

CIENCIA BROMATOLÓGICA

Principios generales de los alimentos

JOSÉ BELLO GUTIÉRREZ



booksmedicos.org

CIENCIA BROMATOLÓGICA

Principios generales
de los alimentos

booksmedicos.org

JOSÉ BELLO GUTIÉRREZ
Catedrático de Universidad
Departamento de Bromatología,
Tecnología de Alimentos y Toxicología
Profesor Ordinario de la Universidad de Navarra

CIENCIA BROMATOLÓGICA

Principios generales de los alimentos

booksmedicos.org



© José Bello Gutiérrez, 2000

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos, S. A.
Juan Bravo, 3-A. 28006 Madrid
España

Internet: <http://www.diazdesantos.es>
E-Mail: ediciones@diazdesantos.es

ISBN: 978-84-7978-447-8
Depósito legal: M. 22.214-2000

Diseño de cubierta: Ángel Calvete
Fotocomposición: Fer, S. A.
Impresión: Edigrafos

*A la Universidad de Navarra
que ha inculcado en mi vida
un espíritu universitario pleno de sentido:
se aprende para mejorar personalmente,
se enseña para servir a los demás.*

Presentación

El presente libro ha sido escrito con la pretensión de poner remedio a una carencia detectada en mis prolongados años de docencia como profesor de Bromatología. Después de más de treinta años de explicar la asignatura a los alumnos de la licenciatura de Farmacia, a los que en los últimos años se han sumado los de la licenciatura de Ciencias Químicas, he tenido ocasión de advertir la dificultad con la que se encontraban tales alumnos para profundizar en lo que se les explicaba en las clases teóricas sin un texto que les guiara en la comprensión de los conocimientos recibidos.

Es decir, pude notar la necesidad apremiante de una publicación que tuviera el acierto de reunir, en un solo volumen, todo un conjunto de conocimientos que facultara el logro de dos objetivos esenciales desde mi punto de vista: exponer, de una parte, el desarrollo de los principios generales que rigen los fundamentos de la ciencia bromatológica; proporcionar, de otra, una visión global de todos sus fundamentos científicos.

Como una consecuencia de todo ello, ha surgido este libro, cuya génesis no ha dejado de ser laboriosa, aunque su ejecución pudiera parecer en cierto modo sencilla. Desde un principio, la cotidiana preparación de las clases tuvo como actividad obligada confeccionar unos sencillos guiones que, desde un punto de vista didáctico se han visto completado y mejorado con el transcurrir del quehacer académico. La experiencia acumulada durante los muchos años de docencia me iba sugiriendo la exclusión de aquellos planteamientos que podían resultar algo confusos e incluir otros que aportaban una mayor claridad a las cotidianas exposiciones.

La reflexión personal sobre la utilidad de esos guiones, acentuó como algo responsable e ineludible mi deber de proporcionar a los alumnos la conveniente ayuda para comprender los conocimientos recibidos con las clases teóricas y que, además, les permitiera una precisa preparación de sus exámenes.

Es bien sabido cómo la última reforma universitaria ha recargado tanto los nuevos planes de estudio que prácticamente impide a los alumnos disponer del tiempo suficiente para completar su formación con la consulta de una bibliografía, que en este ámbito de los alimentos resulta amplia y numerosa. Además, la dispersión de cada tema por los abundantes escritos de referencia es un obstáculo para que el alumno pueda obtener una visión unitaria y global del comportamiento de los alimentos.

Por otra parte, no hay que olvidar el fin para el que se elaboran los alimentos: integrar las dietas que caracterizan los hábitos alimentarios de cada población. Por consiguiente, cualquiera que sea el producto alimenticio que se elabore, debe cumplir con los tres requisitos determinantes de su capacidad para mantener a una población dentro de un buen estado de salud: han de ser apetecibles; deben aportar los nutrientes necesarios para responder a las necesidades personales de cada estado fisiológico; han de garantizar la seguridad sobre lo inocuo de su consumo.

Como resultado de estas consideraciones, tomé la decisión de redactar el presente libro, con el que he pretendido reunir todos los conocimientos necesarios para aplicar de modo correcto los principios científicos que fundamentan las características generales de los productos alimenticios. Sin duda, el dominio de la práctica de tales principios va a servir de base para interpretar de modo adecuado las propiedades específicas de cada uno de ellos.

De acuerdo con la imagen integral que se pretende ofrecer de la ciencia bromatológica, la materia ha sido distribuida en seis partes, cuyo conjunto debe proporcionar una visión global de lo que son las propiedades de los alimentos y los fundamentos para conocer cómo deben ser conseguidas, evaluadas, controladas y salvaguardadas.

Una *primera parte* introductoria versa sobre el concepto y evolución histórica de la Bromatología en cuanto ciencia, así como el desarrollo conceptual del término alimento, su calificación legal y los principales tipos comercializados.

La *segunda parte* expone aquellos aspectos que puedan significar un mayor interés, desde el punto de vista de la ciencia bromatológica, para cada grupo de sustancias químicas, que dentro de la composición de los alimentos pueden aparecer en una proporción mayoritaria: agua, proteínas, carbohidratos y lípidos. Como complemento se aborda el problema del uso de aditivos en la elaboración de los productos alimenticios, las razones que justifican su empleo, los riesgos que pueden implicar y las cautelas que deben ser tenidas en consideración.

En la *tercera parte* se consideran los fundamentos de las propiedades nutricionales, sensoriales, tecnofuncionales y saludables de los sistemas alimentarios, para culminar en la exposición de lo que se debe entender por el concepto calidad aplicado al ámbito de los alimentos, así como su programación y su control.

A continuación, la *parte cuarta* hace referencia a los problemas de la estabilidad de los alimentos, tan importante para estimar su vida útil comercial, abordando el estudio de los posibles tipos de alteraciones que pueden acaecer durante su almacenado: físicas, químicas y biológicas.

Asimismo, la *parte quinta* se dedica a estudiar los métodos de conservación que hoy día pueden ser aplicados, con más o menos eficacia, para prevenir cualquier tipo de alteración del alimento y mantenerlo dentro de la calidad establecida.

Por último, en una *sexta parte* se trata sobre uno de los temas más debatidos en los tiempos actuales y que, posiblemente, sea el asunto más representativo de la ciencia bromatológica en los finales del siglo XX: la seguridad de los alimentos. Para ello se ha procurado situar en su justa perspectiva dentro de su repercusión en la salud pública los correspondientes aspectos toxicológicos e higiénicos, que sin duda tienen un estrecho vínculo con dicha seguridad.

No se ha querido concluir el libro sin relacionar aquella bibliografía que ha parecido de interés para poder ampliar los temas tratados en cada uno de los capítulos.

Como ha sido indicado, este libro ha tenido un proceso de elaboración lento y pausado, puesto que ha sido redactado a compás de las necesidades docentes y académicas, en estrecho contacto con las reacciones y aportaciones de los alumnos a lo largo de tantos años. De ellos han partido las exigencias, que han estimulado mi sentido de responsabilidad y me han conminado a intentar una mayor perfección en las explicaciones de clase, con el positivo resultado de hacer más pedagógico los modos de transmitir los conocimientos.

No es de extrañar que considere un deber de justicia, y de buen hacer, el manifestar mi agradecimiento a todos esos alumnos con los que me siento en deuda por el interés demostrado con su presencia en clase, a veces concretado en peticiones de una mayor elocuencia. Todo ello me ha servido para progresar y mejorar, año tras año, en mi labor docente.

También deseo agradecer a mi entrañable amigo, el doctor Mohino, su constante estímulo para llevar a término la redacción de este libro, así como sus acertadas sugerencias. Por último, expreso mi profundo reconocimiento a Jorge Heredero, que con su saber informático ha facilitado la construcción apropiada de textos y figuras.

JOSÉ BELLO GUTIÉRREZ
Profesor Ordinario
de la Universidad de Navarra

Contenido

Presentación	IX

PARTE I

INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA BROMATOLÓGICA

Cap. 1. La ciencia de los alimentos	3
Concepto de Bromatología	3
Desarrollo histórico de la ciencia bromatológica	4
Problemas actuales en la alimentación humana	10
Objetivos de la ciencia de los alimentos	12
La legislación alimentaria	13
Cap. 2. Los alimentos	21
Desarrollo conceptual del término alimento	21
Calificación legal de los alimentos	25
Principales tipos de alimentos comercializados	26

PARTE II

LOS COMPONENTES QUÍMICOS MAYORITARIOS DE LOS ALIMENTOS

Cap. 3. Estudio bromatológico del agua	41
Introducción	41
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a la estructura de la molécula de agua	44
Concepto de actividad de agua y sus aplicaciones bromatológicas	47
El fenómeno de histéresis en las isotermas de sorción	49
Relación entre isotermas y temperatura	51
Relación entre retención de agua y composición de los alimentos	52
Incidencia de la actividad de agua sobre la estabilidad del alimento	53
Cap. 4. Estudio bromatológico de las proteínas	55
Introducción	55
Reactividad de la molécula proteica	61
Clasificación de las proteínas	61
Tipos de proteínas presentes en los alimentos	62

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los aminoácidos	65
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los péptidos	66
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de las proteínas	67
Modificaciones en las estructuras proteicas con aplicaciones de interés bromatológico	73
Cap. 5. Estudio bromatológico de los carbohidratos	77
Introducción	77
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de carbohidratos de bajo peso molecular	78
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los polisacáridos	83
Uso de polioles derivados de azúcares	103
Cap. 6. Estudio bromatológico de los lípidos	107
Introducción	107
Propiedades de interés bromatológico de los ácidos grasos libres	109
Propiedades de interés bromatológico de acigliceroles	112
Propiedades de interés bromatológico de algunos derivados de ácidos grasos	117
Propiedades de interés bromatológico de los fosfoglicéridos	119
Propiedades de interés bromatológico de esteróles	120
Lípidos modificados no absorbibles	123
Cap. 7. Uso de aditivos químicos en los alimentos	127
Introducción	127
Concepto de aditivo alimentario y clasificación	128
Justificación del uso de aditivos químicos	133
Riesgos sanitarios vinculados al uso de aditivos	136
Evaluación de los riesgos tóxicos consecuentes al uso de aditivos	138
Directivas comunitarias y uso legal de los aditivos	140

PARTE III

PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Cap. 8. Propiedades nutricionales	145
Introducción	145
Aplicaciones de nociones nutricionales: ingestas recomendadas, guías alimentarias	150
Aspectos nutricionales del agua	155
La función plástica de las proteínas alimentarias y su evaluación	157
Funciones nutricionales y dietéticas de los carbohidratos	164

Funciones nutricionales de los lípidos y de los ácidos grasos	166
Aspectos nutricionales de los micronutrientes	170
Cap. 9. Propiedades sensoriales	177
Introducción	177
El color de los alimentos	179
El sabor de los alimentos	186
El olor de los alimentos	193
La textura de los alimentos	195
El flavor de los alimentos	200
Cap. 10. Propiedades tecnológicas de los alimentos	205
Introducción	205
Propiedades de hidratación	206
Propiedades de asociación y de estructuración	211
Propiedades de superficies interfaciales	215
Cap. 11. Propiedades saludables.....	223
Introducción	223
Funcionalidad saludable de proteínas, péptidos y aminoácidos	227
Agentes probióticos	230
Efectos saludables de los ácidos grasos insaturados	233
Propiedades saludables de algunos carbohidratos	237
Beneficios saludables de sustancias con actividad antioxidante	242
Propiedades saludables de algunas sustancias fitoquímicas	244
Cap. 12. La calidad de los alimentos	249
Introducción	249
Tipos de calidad en los alimentos	250
Principales aspectos de la calidad en los alimentos	251
La programación de la calidad en la industria alimentaria: gestión, control, aseguramiento	257
Fases de aplicación del sistema	261
Implantación de un sistema de análisis de riesgos e identificación y control de puntos críticos	264
El análisis como elemento auxiliar del control de calidad: fisicoquímico, enzimático, microbiológico y sensorial	267

PARTE IV

LA ALTERACIÓN DE LOS ALIMENTOS

Cap. 13. Estabilidad de los alimentos y tipos de alteraciones	279
Introducción	279
Tipos de alteraciones en los alimentos	280
Concepto de vida útil aplicado a los alimentos	284
Predicción de la vida útil	286

Cap. 14. Las alteraciones físicas de los alimentos	289
Introducción	289
Pérdidas de contenido acuoso: la desecación	289
Otras consecuencias de la pérdida de agua	293
Otras alteraciones físicas	294
Cap. 15. Las alteraciones de los lípidos de los alimentos	295
Introducción	295
Lipólisis o alteración hidrolítica	296
Autooxidación o enranciamiento oxidativo	298
Oxidación por enzimas lipoxigenasas	314
Enranciamiento cetónico	316
Reversión del flavor en los aceites comestibles	317
Polimerizaciones provocadas por el calor	319
Cap. 16. El pardeamiento enzimático	323
Introducción	323
Sustratos del pardeamiento enzimático	323
Sistemas enzimáticos responsables	324
Mecanismos de reacción	326
Modos de prevenir la alteración	329
Cap. 17. El pardeamiento no enzimático	335
Introducción	335
Reacción de Maillard	336
Caramelización de los azúcares	343
Oxidación del ácido ascórbico	345
Factores que condicionan el pardeamiento no enzimático	347
Medidas de prevención	350
Cap. 18. La alteración de origen microbiano	353
Introducción	353
Factores reguladores intrínsecos	356
Factores reguladores extrínsecos	365
Parámetros implícitos	368
Consecuencias químicas de la alteración microbiana	371
Medidas de prevención	380

PARTE V

LA CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS

Cap. 19. Planteamiento general acerca de la conservación de los alimentos	385
Introducción	385
Principios generales sobre conservación de alimentos	388
Principales tecnologías de conservación de alimentos	390

Cap. 20. Conservación por aplicación de bajas temperaturas	395
Introducción	395
La producción de frío y sistemas de enfriamiento	397
La refrigeración como sistema de conservación de alimentos	399
La ultracongelación como sistema de conservación de alimentos	406
Cap. 21. Conservación mediante aplicación de calor	419
Introducción	419
La transferencia de calor	420
Efectos de las temperaturas elevadas sobre enzimas y microorganismos	422
Efectos de las temperaturas elevadas sobre los componentes químicos de los alimentos	424
Métodos basados en el tratamiento térmico	425
Cap. 22. Conservación por reducción del contenido acuoso	433
Introducción	433
Mecanismos implicados en la separación de agua de un alimento	435
Los procesos de desecación y deshidratación	438
El proceso de la liofilización aplicado a los alimentos	441
Los procesos de concentración	446
Cap. 23. Nuevas tecnologías de conservación con fundamentos físicos	449
Introducción	449
La irradiación de los alimentos	450
La presurización de los alimentos	457
Nuevas tecnologías emergentes	458
Cap. 24. La conservación por métodos químicos	461
Introducción	461
Salazones y curados	464
Ahumados	467
Encurtidos	469
Adobos, marinadas y escabeches	470
Glaseados y grageados	471
Fermentaciones	472
Conservadores químicos	476

PARTE VI

LA SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS

Cap. 25. Factores que determinan la seguridad de los alimentos	493
Introducción	493
Aspectos toxicológicos de la seguridad	496
Aspectos higiénicos de la seguridad	498
Clasificación de los riesgos que afectan a la seguridad de los alimentos	506

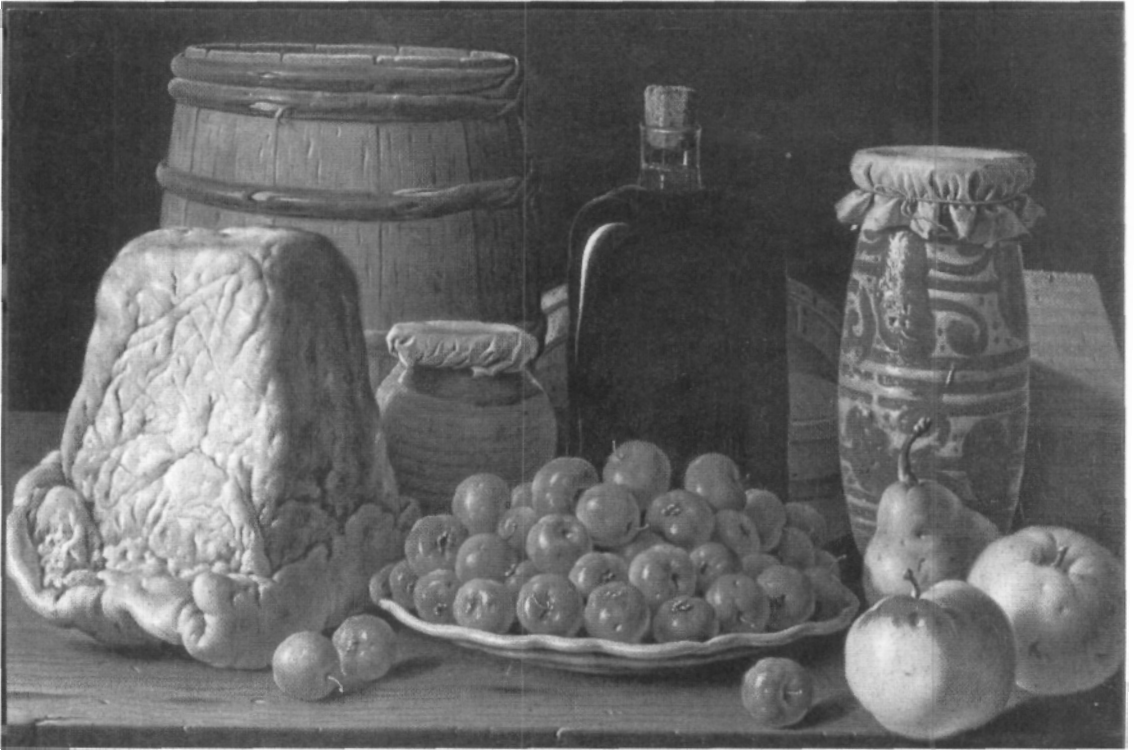
Cap. 26. Enfermedades de origen biótico transmitidas por los alimentos .	509
Introducción	509
Enfermedades provocadas por bacilos gram-negativos no esporulados	511
Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivos no esporulados.....	520
Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivos esporulados	522
Enfermedades provocadas por cocos gram-positivos no esporulados	527
Micotoxicosis	530
Parasitosis	535
Virosis	540
Encefalopatías espongiformes	544
Cap. 27. Efectos tóxicos de algunos componentes alimentarios	545
Introducción	545
Sustancias tóxicas naturales de origen animal	547
Compuestos tóxicos intrínsecos de origen vegetal	552
Sustancias formadas en las operaciones tecnológicas	561
Contaminantes químicos ambientales	564

PARTE VII

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Bibliografía de consulta	571
Índice	573

PARTE I



Melendez, Bodegón, Madrid

INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA BROMATOLÓGICA

La ciencia de los alimentos

- Concepto de bromatología.
- Desarrollo histórico de la ciencia bromatológica.
- Problemas actuales en la alimentación humana.
- Objetivos de la ciencia de los alimentos.
- La legislación alimentaria.

Concepto de bromatología

Desde un punto de vista etimológico, la palabra Bromatología se deriva del griego y significa *Ciencia de los alimentos*. No obstante, definirla como concepto no es tarea fácil porque el sentido de esta ciencia ha ido variando con su desarrollo histórico y, según las épocas, se ha hecho mayor énfasis en los aspectos, o enfoques, que han estado más en consonancia con las preocupaciones de cada momento. En realidad, resulta más fácil describir el concepto de Bromatología que definirlo.

Durante muchos siglos, el ser humano se ha alimentado de un modo rutinario, aunque algunas de sus prácticas empíricas, seguidas desde muy antiguo, pueden considerarse totalmente acertadas. Desde un primer momento, el ser humano se planteó la necesidad de alimentarse y trató, con todos los medios a su alcance, de encontrar soluciones prácticas que permitieran cubrir sus necesidades alimenticias. Por ello, en cada momento fue incorporando nuevos datos y nuevos puntos de vista

a su visión de los alimentos, siempre en consonancia con los avances metodológicos y los conocimientos adquiridos por otras ciencias que, de algún modo, contribuyen a un mejor entendimiento de los alimentos disponibles.

El estudio de los alimentos bajo una consideración científica, en el sentido actual de esta palabra, es un empeño relativamente reciente. Aunque tenga antecedentes desde la época de Hipócrates (siglo V antes de Cristo), sus fundamentos se inician con los trabajos de Lavoisier y adquieren un auténtico auge a raíz de los descubrimientos de Pasteur, momento considerado como el arranque de la Bromatología en cuanto Ciencia, que ha continuado su desarrollo hasta la época actual. Por ello, el concepto de la Bromatología debe ser expresado de un modo

vivo y dinámico, que refleje su evolución a través de la historia y permita, a su vez, sugerir algunas perspectivas acerca de su desarrollo futuro.

En el momento actual debemos entender la Bromatología como una ciencia que responde a un cuerpo coherente de conocimientos sistematizados acerca de la naturaleza de los alimentos, de su composición química y de sus comportamientos bajo diversas condiciones. Por tanto, se puede definir como la ciencia que se centra en el estudio de los alimentos desde todos los puntos de vista posibles, teniendo en cuenta todos los factores involucrados, tanto en la producción de las materias primas, como en su manipulación, elaboración, conservación, distribución, comercialización y consumo.

La diversidad de sustancias químicas integradas en la composición de los alimentos resulta un factor de fundamental importancia para las distintas fases implicadas en los procesos de fabricación, comercialización y consumo de los mismos:

- los cambios que se producen durante la preparación y manipulación de las materias primas;
- los procesos tecnológicos de elaboración de los alimentos;
- la conservación de los ya preparados;
- los procesos culinarios necesarios que se han de aplicar para su consumo.

Así, los fenómenos químicos y enzimáticos que acaecen en los alimentos guardan una relación muy estrecha con los requisitos que deben cumplir para que tales alimentos ofrezcan una buena calidad organoléptica o un excelente valor nutritivo.

En definitiva, la Bromatología debe ser considerada como una ciencia aplicada, estrechamente relacionada con la industria alimentaria y las leyes de la alimentación, dentro de una perfecta compenetración entre la ciencia y la práctica. Es una ciencia multidisciplinar cuya estructura interna abarca numerosos aspectos (Tabla 1.1).

Desarrollo histórico de la ciencia bromatológica

Desde la época de Hipócrates hasta nuestros días, la ciencia de los alimentos ha experimentado un desarrollo que puede ser considerado dentro del marco de tres etapas históricas bien diferenciadas:

1. Una etapa *naturalista* en la que predomina una visión terapéutica del alimento, que abarca desde los escritos de Hipócrates en el siglo V antes de Cristo hasta el siglo XVIII de nuestra era, cuando aparecen los trabajos de Lavoisier.

2. Una etapa *químico-analista*, que alcanza poco más de un siglo, caracteriza por la consideración del alimento como un simple aporte de nutrientes, dentro de una visión nutricional del mismo. En ella, cabe distinguir dos periodos claramente diferenciados en el tiempo y en los objetivos:

- un primero, cuya principal preocupación radica en el aspecto cuantitativo del aporte calórico de los alimentos de la dieta;
- un segundo, centrado en la identificación de las numerosas especies químicas que integran la composición química del alimento y que suelen desem-

Tabla 1.1**Aspectos disciplinares involucrados en la ciencia de los alimentos**

Química y bioquímica de los alimentos. Se ocupa de la composición básica, estructura y propiedades de los mismos, así como de los cambios y reacciones que se producen entre sus componentes químicos.

Análisis de los alimentos. Aplica los principios, métodos y técnicas analíticas necesarias para las determinaciones cualitativa y cuantitativa de los componentes, especialmente en relación con el control de la calidad y la detección de falsificaciones, adulteraciones y fraudes.

Microbiología de los alimentos. Estudia la presencia y actividad de microorganismos, tanto en sus aspectos positivos de contribuir a la elaboración de ciertos tipos de alimentos, como en sus aspectos negativos de una actividad deletérea que conduce a la alteración de los alimentos, o incluso provocar un efecto patógeno en el organismo humano que los consume, teniendo en cuenta los principios relacionados con la higiene alimentaria.

Tecnología de los alimentos. Establece los procesos adecuados para su elaboración dentro de unos niveles de calidad previamente establecidos.

Toxicología de los alimentos. Investiga la posible toxicidad de algunas de las sustancias presentes en los alimentos, bien por integrar la composición de las materias primas, bien por estar en ellas a causa de una contaminación o por haberse formados como consecuencia de las tecnologías aplicadas.

Dietética. Se ocupa de la elaboración de los menús capaces de suministrar los nutrientes requeridos para la correcta alimentación de los diferentes grupos de población o de personas específicas. Para ello, combina de modo adecuado los alimentos, atendiendo a sus composiciones químicas y teniendo en cuenta los posibles efectos provocados por los tratamientos culinarios que vayan a ser aplicados.

penar diversas funciones, unas relacionadas con su valor nutritivo, otras con sus características organolépticas.

3. La etapa *tecnológico-legal*, que ocupa todo el siglo xx, en la que se pone de manifiesto la gran incidencia de los avances tecnológicos en la elaboración y conservación de los alimentos, así como la preocupación por establecer leyes que permitan un mejor control del fraude alimentario y la defensa sanitaria del consumidor.

A) Etapa naturalista

Hay que remontarse a los comienzos de la medicina griega para detectar los primeros indicios que ponen de manifiesto un interés científico por las propiedades de los alimentos que se usan. No obstante, las ideas que se tenían de tales propiedades eran muy limitadas, orientadas casi siempre hacia un valor medicinal de los alimentos. En algunos de sus libros —*Corpus Hippocraticum* y *De Dieta*— escribió Hipócrates (460-377 a.C.) que los hombres aprendieron el uso de las dietas a partir de la experiencia y en ellos describe unas prácticas dietéticas fundamentadas sobre

unas bases totalmente empíricas, muy lejos de cualquier consideración científica. Lo más relevante de su pensamiento en su concepto de la existencia en todo alimento de un único nutriente universal, porque esta idea ha sido mantenida durante muchos siglos en los trabajos planteados para el estudio de los alimentos.

A lo largo de toda esta primera etapa fueron llevadas a cabo numerosas experiencias planificadas de un modo totalmente correcto, aunque la ausencia de unos adecuados conocimientos químicos y biológicos no permitió un mejor aprovechamiento de sus resultados.

Ya en los albores de la era cristiana, Celsus (53 a.C.-7 d.C.) escribió un gran trabajo en ocho libros —*De Re Médica*— en el que discute la naturaleza de los alimentos, los clasifica en fuertes, medianos y débiles, a la vez que establece calidades de acuerdo con sus efectos: flatulentos, diuréticos, etc.

El médico griego Galeno (170-200) puede ser conceptuado como el tercero de los grandes maestros de la era antigua. Escribió sobre las propiedades de los alimentos, de los que ofrece una relación numerosa: cereales, legumbres, frutas, etc., considerando que además actuaban como drogas. En conjunto, sus escritos resultan mucho más modernos que los de sus predecesores.

Dentro de la Edad Media, la medicina árabe tiene poco que añadir en este campo y sólo merece ser citado Rhazes (850-923), considerado como el Galeno de la ciencia árabe. Era partidario de no acudir a otros remedios siempre que fuera posible curar con una dieta apropiada.

Contemporáneo suyo fue Joannitius (809-873), autor de un libro clásico en toda la Edad Media, *Isagoge*, que clasifica a los alimentos dentro de dos tipos: «buenos», en cuanto originan en el organismo buenos humores; «dañinos», en tanto que producen un efecto contrario. Esta teoría humoral alcanza hasta los finales de la Edad Media, como se puede apreciar en el contenido de un libro de la escuela de Salerno, titulado *Régimen Sanitatis*, donde consta que las frutas hacen daño porque hacen más acuosa la sangre del organismo que las ingiere.

En el siglo XVI y dentro todavía de la línea marcada por Galeno, se puede citar a Paracelsus (1493-1591) que considera la existencia conjunta en todo alimento de nutriente y veneno, usado el primero por el organismo mientras que el segundo se elimina por las excretas. Poco después, Sanctorius (1561-1636), profesor en Padua, publicó en 1614 su libro *De Medicina Statica Aphorismi* en el que se trata ya del uso y efectos de carnes y bebidas.

En esta época, aparece en 1633 el libro escrito por Hart, *The Diet of the Diseases*, que puede ser considerado como de mayor interés. En él se describen las características y propiedades de algunos alimentos, con alguna alusión satírica hacia el consumo de patatas, cuyo uso comenzaba a ser introducido en Europa. Además, se señalan las diferencias dietéticas que el autor había observado entre unos pueblos y otros.

En toda esta prolongada primera etapa del desarrollo de la Bromatología prevalece, como una base esencial, la consideración hipocrática de la existencia de un nutriente único dentro de cada alimento. Esta idea fue aceptada sin reparos en todos estos siglos de etapa naturalista, hasta el punto de estar de acuerdo con ella los trabajos de Beaumont acerca de la digestión, escritos en el siglo XIX. Ni siquiera el descubrimiento de Lind sobre la capacidad de los frutos cítricos para curar el escorbuto por aportar vitamina C, fue motivo suficiente para que la teoría fuera abandonada.

B) Etapa químico-analista

Tiene su inicio en el siglo XVIII con las geniales concepciones del químico francés Lavoisier (1743-1794) acerca de la química de la combustión, aunque con los antecedentes del aislamiento del oxígeno por Scheele y Priestly, del hidrógeno por Cavendish, de los estudios de Black sobre el anhídrido carbónico y el aislamiento del nitrógeno por su discípulo Rutherford. Se corresponde con el desarrollo de la nutrición como ciencia y marca una nueva faceta en la consideración de los alimentos.

Fue Lavoisier quien, con sus descubrimientos acerca de la combustión y sus trabajos sobre el metabolismo basal, permitió el avance de los estudios sobre la composición de los alimentos, así como sus funciones en el mantenimiento de la salud o su contribución al crecimiento corporal. Se pudo elucidar el valor energético aportado por la combustión de los alimentos, trabajo que realizó el mismo científico francés con gran precisión; después se esclarecieron sus principales componentes y finalmente se aclaró el papel desempeñado por cada uno de ellos en el metabolismo corporal. Como resultado de todo ello, fueron reconocidos tres componentes principales: proteínas, grasas e hidratos de carbono, todos ellos sustancias orgánicas, diferentes unas de otras, fáciles de distinguir de otros componentes inorgánicos (Ca, Fe, etc.) mediante una sencilla manipulación química.

El desarrollo de la Química con los trabajos de Berthollet (1748-1822), Gay-Lussac (1778-1850) y Dumas (1800-1884), condujo a los estudios de Magendie (1783-1855) sobre la importancia de los compuestos nitrogenados en la dieta. Así, se pudo establecer que el nitrógeno corporal procede exclusivamente del suministrado por los alimentos, a la vez que se determinó el contenido nitrogenado del arroz, el maíz, las patatas y otros alimentos de uso común.

La determinación cuantitativa del nitrógeno orgánico original del danés Kjeldahl (1849-1900), todavía no superada, supuso un avance considerable en el estudio de los alimentos, dejando en desuso el método establecido en 1831 por Dumas, más complejo y difícil.

Un discípulo de Gay-Lussac, el alemán Liebig (1803-1873), aplicó la nueva metodología del análisis orgánico al estudio de los materiales biológicos. En 1840 publicó *La Química en sus aplicaciones a la Agricultura y la Fisiología*, libro en el que se trata de la circulación general de la materia en la naturaleza, la producción de sustancias orgánicas por las plantas y su degradación por los animales o por el hombre; tuvo una notable repercusión y, a pesar de contener algunos errores de interpretación, supuso un fuerte impulso para la ciencia de los alimentos.

Siguiendo la metodología apoyada en el análisis orgánico, Boussingault (1802-1887) contribuyó al estudio de las necesidades del mantenimiento corporal y confirmó la importancia de los minerales en la dieta, como ya había anunciado Liebig. Por otra parte, fue el primero, junto con Le Bel, en llevar a cabo un análisis completo de los componentes químicos de la leche de vaca.

Hacia finales de este siglo XVIII, ya habían podido ser aisladas de los alimentos diversas sustancias orgánicas: ácido láctico en la leche agria, ácido cítrico en el zumo de limón, ácido málico en el zumo de manzana, etc. Pero fue en el siglo XIX cuando se descubrió la composición aminoacídica de las proteínas y se aíslan algunos de esos aminoácidos a partir de proteínas alimenticias. No obstante, hay que esperar hasta 1906 para que Willcock y Hopkins establecieran de modo definitivo

la relación entre la composición de una proteína en aminoácidos y su valor nutritivo. Con estas experiencias se puso de manifiesto la importancia de algunas especies químicas para la eficiencia de una dieta, así como supuso la primera demostración de un requerimiento nutricional para un compuesto orgánico específico: el triptófano.

En 1912, demostró Hopkins (1861-1957) que todos los animales necesitaban, tanto para su crecimiento normal, como para mantener su estado de salud, de unos «factores alimenticios accesorios», aunque de presencia necesaria, que más tarde Funk (1884-1967) denominó vitaminas, cuyo papel fisiológico fue desentrañado por los estudios de numerosos investigadores.

Poco a poco, la atención fue pasando desde el estudio de las cantidades de los componentes requeridos para alcanzar una alimentación satisfactoria, hacia la determinación de todas las especies químicas que integran la composición de un alimento.

C) Etapa tecnológico-legal

En el siglo xx el desarrollo de la ciencia de los alimentos ha tenido un desarrollo paralelo a la evolución de la sociedad, cuyos avances han planteado unas mayores exigencias alimenticias, imponiéndose la necesidad de buscar nuevas fuentes de alimentos y de conservar mejor, y durante más tiempo, los ya existentes. En épocas anteriores, los alimentos disponibles solían ser de producción local, determinada por las características de cada zona geográfica. Durante lustros, las poblaciones —tanto rurales como urbanas— consumían, generalmente con un mínimo de transformación, los productos agrícolas y ganaderos obtenidos en su entorno. Sin embargo, el incremento demográfico y, sobre todo, el desorbitado crecimiento de algunas zonas urbanas han exigido unos planteamientos más racionales de los suministros alimenticios, particularmente en lo que concierne a los productos perecederos.

El importante avance tecnológico, iniciado ya en el siglo XIX, ha influido de modo especial en la evolución de la ciencia de los alimentos. En esta línea, surge en 1871 la primera fábrica de margarina en París, una vez que el francés Mege Mouries (1817-1880) obtuviera el premio ofrecido por Napoleón III en 1867 para un producto artificial sustituto de la mantequilla. Por la misma época, el suizo Nestlé (1814-1890) obtuvo la harina lacteada, la leche desecada y la leche condensada; su fabricación a nivel industrial establece las bases para la actual tecnología alimentaria. Puede asegurarse que la industria alimentaria, promocionada por los cambios en la sociedad, ha influido de modo muy significativo en las características de la alimentación actual, al ir transformando cada día grandes cantidades de materias primas procedentes de los lugares más diversos.

Hasta el comienzo del siglo XIX el hombre venía utilizando para la conservación de sus alimentos los métodos ancestrales de la *dsecación*, la *salazón* y el *ahumado*. Fue al inicio de ese siglo, cuando el francés Appert (1749-1841), confitero y antiguo fabricante de cerveza, descubrió de un modo empírico el método actual del enlatado, basado en un tratamiento térmico de los alimentos en recipiente cerrado. No obstante, tuvieron que pasar casi cincuenta años para que se pudiera proceder a su explotación industrial, cuando los trabajos llevados a cabo por Pasteur (1822-1895) permitieron encontrar su verdadera interpretación científica y además,

se pudo disponer de unos envases adecuados, en principio de hojalata. La *aplicación del calor* constituye el método más simple para conseguir la destrucción de los microorganismos presentes en los alimentos, capaces de resultar nocivos o inconvenientes. Su innovación tecnológica supuso un paso muy importante para posibilitar, en cualquier época del año, la oferta de productos que se recolectaban, o se producían, de un modo estacional. Actualmente se aplica con diversas variantes y alternativas.

Otro hito importante en la conservación de alimentos fue el uso de la *producción de frío*, que se pudo desarrollar como tecnología alimentaria cuando aparecieron las máquinas frigoríficas, que permitieron la preparación de los productos alimenticios congelados.

La combinación del frío y del calor condujo a la tecnología denominada *liofiliación* que, a pesar de ofrecer alimentos conservados con una gran calidad, los inconvenientes de su costo reduce su campo de aplicación al tratamiento de productos de pequeño volumen y, en cierto modo, de lujo.

Otra tecnología, que se complementa con la del uso del frío, se basa en situar al alimento bajo una *atmósfera controlada*, que incorpora porcentajes variables de nitrógeno o de anhídrido carbónico.

Finalmente, como un último hito dentro de las tecnologías de conservación de alimentos, cabe citar el tratamiento de tubérculos, especias, verduras, carnes, pescados, etc. con *radiaciones ionizantes* (electrones acelerados, fotones gammas, rayos X), aprovechando tanto sus efectos nocivos sobre los microorganismos como su capacidad frenadora de los procesos de maduración, que permite prolongar la vida media de verduras y frutas.

Fuera ya del ámbito de los procesos de conservación de alimentos, se puede hacer referencia a otros hitos tecnológicos, relacionados con la transformación de las materias primas en productos con características diferentes, que también han resultado transcendentales para la Bromatología:

- La *fermentación*, empleada de modo empírico desde los tiempos más remotos para conseguir derivados menos perecederos de importantes fuentes de alimentos, como la leche, figura en los tiempos actuales dentro de las posibilidades de la biotecnología. Con posterioridad, la sustitución de los cultivos microbianos por sus sistemas enzimáticos específicos constituye un objetivo tecnológico prometedor, con vistas a ganar en calidad y ahorrar tiempos y costos de fabricación.
- En los últimos años se ha desarrollado la tecnología de la *ultracentrifugación* que, en cierto modo, ha revolucionado la industria de los derivados lácteos. Con ella, se pueden conseguir diversos objetivos: enriquecer la leche en algunos de sus componentes o eliminar otros; normalizar el empleo de ingredientes; preparar en cadenas automatizadas de producción una gran variedad de productos lácteos, comercializados hoy día bajo el calificativo de alimentos «frescos», etc.
- Los procesos de *texturización* aplicados a la industria alimentaria permite aprovechar ciertas proteínas, extraídas de fuentes de alimentos anteriormente desechadas, que resultan de gran interés para elaborar nuevos tipos de alimentos, especialmente incluidos en la calificación de «análogos» o «simulados».

Es evidente que todo el desarrollo industrial operado a lo largo de este siglo xx ha proporcionado una nueva dimensión a la oferta de alimentos. En los tiempos actuales, las materias primas se encuentran integradas en preparaciones complejas, bajo unos aspectos que son bien diferentes a los que tenían originalmente. La elaboración de la mayoría de los alimentos que se consumen ha pasado de doméstica o artesanal a ser industrial, aun cuando se mantengan los mismos principios básicos; los nuevos sistemas de conservación y distribución ha conducido a una diversificación de los alimentos, tanto en la forma de ser presentados como en sus modos comerciales.

En los momentos actuales, la ciencia de los alimentos ha adquirido tales implicaciones de tipo social, no vislumbradas en etapas anteriores, que no puede soslayar en sus planteamientos tomar en consideración cada uno de los tres aspectos siguientes:

- a) *Económicos*, cuyas soluciones están relacionadas con la agricultura, la ganadería, la pesca, la industria y los transportes.
- b) *Sanitarios*, que exigen establecer de modo científico las manipulaciones apropiadas de los alimentos que se fabrican, comercializan y consumen.
- c) *Legislativos*, con el fin de ordenar unas normas de represión de fraudes, con métodos analíticos apropiados para su control.

Problemas actuales en la alimentación humana

Actualmente, la alimentación humana se encuentra aquejada por problemas diversos y complejos, que afectan a grupos sociales muy diferentes. Tales problemas reclaman de la ciencia de los alimentos soluciones oportunas, teniendo en cuenta que, desde sus mismos comienzos, la Bromatología se ha perfilado con un marcado carácter social y se ha proyectado siempre hacia una correcta contribución al estado de salud de la población.

En abril de 1992 se aprueba en la ciudad de Barcelona los *Derechos Alimentarios del Hombre*, cuyo punto primero precisa que «Todo ser humano tiene derecho a una alimentación suficiente y saludable».

Y en esta línea, los científicos y tecnólogos de los alimentos se han preocupado por buscar nuevas fuentes alimenticias y mejorar los métodos aplicados para la conservación de los que se produce, además de procurar que tales alimentos sean sanos y apetecibles.

Gracias a los avances científicos, en los finales del siglo xx se ha vivido una revolución biológica —equivalente a la revolución física que tuvo lugar en los comienzos del mismo— donde las nuevas técnicas de ingeniería genética abren un amplio abanico de posibilidades, aplicables a la producción de alimentos. Hoy día, resulta factible conseguir cereales más nutritivos, variedades de trigo con mejores propiedades tecnológicas, explotaciones lecheras diez veces más rentables, etc.

Sin embargo, existen en el mundo actual situaciones de hambre y desnutrición: zonas del globo donde niños, jóvenes, adultos y ancianos carecen de alimentos y no disponen de los medios, o de la capacidad, para conseguirlos. Históricamente, el

hambre ha sido un azote para la humanidad y en diversas ocasiones ha resultado un factor determinante del destino de algunos pueblos. Por lo general, estos episodios históricos han sido provocados por causas muy diversas: catástrofes climatológicas, plagas, epidemias, malas cosechas sucesivas, guerras que han impedido la siembra o la recolección, etc.

Sin embargo, las calamidades actuales relacionadas con el hambre que afectan a numerosos grupos de poblaciones responden a causas bien diferentes, de tal modo que los citados *Derechos Alimentarios del Hombre* establecen en su punto quinto que «La erradicación del hambre exige la cooperación y la solidaridad internacionales y el intercambio eficaz y equitativo de los recursos humanos, naturales, tecnológicos y financieros».

De aquí, que el anticuado binomio *Producción de alimentos versas Población* carezca de validez actual. A nivel científico, se admite que los recursos de la tierra permitirán alimentar en la segunda mitad del siglo XXI el doble de población que en los momentos presentes.

Por otra parte, también resulta evidente que al final del siglo xx la situación alimenticia de muchos países industrializados aparece un tanto compleja, e incluso desconcertante. Así, en la Comunidad Europea, y dentro de países que disponen de buenos recursos económicos, se registran casos de desnutrición que afectan de modo sorprendente a personas de estratos sociales de nivel medio-alto, poniéndose de manifiesto que no siempre un adecuado nivel adquisitivo puede ser considerado como una garantía de hábitos alimenticios más saludables.

El estudio profundo de estos problemas socioalimentarios ha permitido encontrar algunas razones que argumentan el por qué de esas situaciones precarias, entre las que cabe destacar las siguientes:

a) Las características demográficas de la población en los países occidentales, con un predominio de personas ancianas, que suelen adolecer de una pérdida de apetito. Se espera que al inicio del tercer milenio el 20 % de la población esté integrado por personas mayores de 65 años; además, este grupo se distinguirá por su gran heterogeneidad en cuanto a edades y vitalidad personal. Se confía que una alimentación adecuada contribuya a mantener, dentro de unos niveles aceptables, tanto la actividad fisiológica como la mental de esas personas.

b) Existe un elevado número de personas que se someten a regímenes de adelgazamiento sin un control clínico apropiado. Algunos de los regímenes propuestos con una ingesta inferior a las 1.600 kcal/día no satisfacen de modo correcto las necesidades del organismo en hierro, tiamina y vitamina A.

c) Consumo de modo habitual de un cierto tipo de fármacos, como tranquilizantes y anticonceptivos, que entre sus efectos secundarios se encuentra el posible bloqueo de la actividad catalítica de algunas vitaminas sobre reacciones enzimáticas esenciales para el organismo humano.

d) Los modos de vida que adoptan ciertos grupos de población les lleva a una alimentación que abusa del consumo de productos *snacks* y de las denominadas «calorías vacías». Como una consecuencia pueden aparecer dos tipos de malnutrición:

- una ingestión abundante, pero desequilibrada de nutrientes;
- un predominio de alimentos que, convertidos en energía, no dejan en el organismo ningún otro tipo de nutrientes.

En resumen, la Bromatología actual se enfrenta con una serie de problemas en la alimentación humana que conllevan importantes connotaciones sanitarias y sociales, a los que intenta poner el remedio adecuado. Es verdad que la mejora en la alimentación humana ha impactado de modo favorable sobre la salud y la esperanza de vida en las sociedades industrializadas; pero también es cierto que el mal uso y abuso de los alimentos realizado en muchas ocasiones ha entrañado problemas clínicos, a veces graves.

Objetivos de la ciencia de los alimentos

Los *Derechos Alimentarios del Hombre* afirman en su cuarto punto el principio siguiente: «Cada generación tiene el derecho de usar los recursos naturales para su alimentación y el deber de administrarlos y transmitirlos a las generaciones venideras».

En esta línea de actuación, hace años que la ciencia de los alimentos se ha marcado dos tareas primordiales: la producción de alimentos y su utilización de modo adecuado. Por ello, se puede afirmar que en, la actualidad, la Bromatología intenta alcanzar tres objetivos prioritarios:

- Procurar la cantidad de alimentos necesaria para sostener una alimentación destinada a núcleos de población cada vez más densos.
- Aumentar, o al menos mantener, el valor nutritivo de los alimentos que produce.
- Conseguir que los productos alimenticios elaborados sean siempre apetecibles y nunca perjudiciales para la salud.

No obstante, los cambios ocurridos en la sociedad occidental en los últimos años han incidido en los modos de alimentarse, hasta el punto que estos objetivos prioritarios necesitan ser matizados y puntualizados. El fenómeno social de la urbanización, la formación de núcleos de población muy densos, las distancias entre el hogar y el puesto de trabajo, la absorción del tiempo libre por el desarrollo profesional, etc., ha desembocado en una profunda alteración de los hábitos alimentarios, con un desplazamiento de la comida hogareña hacia el comedor colectivo, en especial hacia los restaurantes de comidas rápidas (*Fast Foods*).

Ante todas estas circunstancias, se puede resumir en cinco puntos claves lo que se espera de la ciencia de los alimentos en el comienzo de un nuevo milenio:

1. Alcanzar un mejor conocimiento de las recomendaciones dietéticas que deban ser establecidas para los grupos de población más vulnerables.
2. Profundizar en las tecnologías culinarias implicadas en los sistemas de restauración colectiva, con el fin de mejorar las posibles repercusiones sobre el valor nutritivo y la calidad higiénico-sanitaria de lo que se suministra.
3. Investigar a fondo los aspectos toxicológicos que se relacionan con las nuevas tecnologías de elaboración de alimentos, dentro de la actual preocupación por la calidad sanitaria de todo lo que se produce y consume.
4. Acometer un necesario estudio de las asociaciones de alimentos más adecuadas, circunstancia que representa un punto crucial para alcanzar un mejor cono-

cimiento del papel real que la dieta desempeña en la alimentación humana, en cuanto aporte de energía y de nutrientes. Toda dieta debe ser estudiada desde un punto de vista global, porque toda evaluación riesgo-beneficio que se establezca para cada alimento integrado en ella, debe ser referida al papel desempeñado dentro de todo el conjunto. De este modo, se evita que un alimento especialmente diseñado para un fin dietético concreto, pueda ser mal aplicado y provocar un desequilibrio nutricional no esperado.

5. Desempeñar un papel educador de la sociedad en temas alimentarios, colaborando con los organismos públicos y las instituciones privadas, dentro de la responsabilidad que se pone de relieve en el punto doce de los *Derechos Alimentarios del Hombre*: «La comunidad internacional, los organismos internacionales, los gobiernos y los poderes públicos, deben impulsar una política alimentaria basada en la educación desde las primeras edades sobre temas alimentarios y nutricionales, así como fomentar la formación de personal experto en nutrición, higiene y calidad de los alimentos».

Queda claro que garantizar una producción de alimentos suficiente y cualificada debe ser un objetivo fundamental para la ciencia de los alimentos, pero también es cierto que importa mucho el enseñar a usarlos de modo adecuado.

La legislación alimentaria

Con el avance de los conocimientos sobre los componentes químicos de los alimentos y las funciones que desempeñan en su calidad, particularmente sensorial, aumentaron las posibilidades de manipulación sobre los mismos, a veces en perjuicio de la salud del consumidor. De ahí que pronto surgiera entre los responsables de la Administración Pública de algunos países europeos una gran preocupación por la existencia de falsificaciones y fraudes alimenticios. Como una primera consecuencia, cabe citar el Sexto Congreso Internacional de Farmacia, celebrado en 1885 en Bruselas, donde se propuso la creación de unos servicios estatales que tuvieran por finalidad la represión del fraude alimentario.

También por esta época, se publica en Francia el *Diccionario de las alteraciones y las falsificaciones de las sustancias alimenticias, medicinales y comerciales*, obra que tuvo una gran difusión, escrita con una doble intención por Chevalier y Baudrimont: dar a conocer el valor de las sustancias alimenticias y sugerir diversos modos de evitar, o de controlar, los fraudes.

Una consecuencia del desarrollo adquirido por la ciencia de los alimentos ha sido la gran preocupación surgida en la sociedad occidental por la salud del consumidor y por los fraudes detectados de vez en cuando en los alimentos comercializados. Dicha situación ha dado lugar, desde los finales del siglo XIX y primer cuarto del siglo XX, a la aparición de leyes sobre los alimentos, que se podrían considerar como la primera base para la formación de un Derecho alimentario, una especialidad dentro del Derecho administrativo.

Siguiendo esta línea, la Organización Mundial para la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establecieron en 1962 una Comisión Mixta con el objeto de elaborar el *Codex Alimentarias*.

Pretende ser una legislación orientada a fomentar el comercio internacional de los alimentos bajo unas normas, que deberían ser de obligado cumplimiento por todos los países, como un medio de asegurar un control acerca de la veracidad de los alimentos comercializados y de proteger la salud de la población. Deberá ser considerada como una Ley básica y fundamental que contemple de una forma general todos los aspectos relacionados con los alimentos, incluidos la inspección y el control. Sin embargo, debido a las dificultades presentadas para armonizar todas y cada una de las legislaciones alimentarias particulares, el citado Comité no ha podido contar todavía, después de tanto tiempo, con la posibilidad de llegar a un acuerdo que faculte la culminación de su empeño inicial.

No obstante, cada país ha desarrollado su propia normativa legal para luchar contra el fraude alimentario. En relación con España, esta Ordenación Alimentaria entendida como un conjunto de criterios, medidas y actuaciones se concreta en varios hitos legales importantes:

- a) La promulgación del Código Alimentario Español (CAE).
- b) El desarrollo posterior de sus artículos bajo la forma de Reglamentaciones Técnico-Sanitarias y Normas de Calidad.
- c) La Norma General de Etiquetado, Presentación y Publicidad de los Productos Alimenticios, complementada con la Norma sobre propiedades nutritivas de los productos alimenticios.
- d) Definición de los conceptos sobre Denominaciones de Origen.

A) Código Alimentario Español (CAE)

Se promulga en 1967 y puede ser considerado como el pilar básico sobre el que se apoya toda la legislación alimentaria española vigente. Se trata de un texto que incluye principios básicos, con conceptos generales y breves, que se define a sí mismo como «un cuerpo orgánico de normas básicas y sistematizadas, relativas a los alimentos, condimentos, estimulantes y bebidas, sus primeras materias correspondientes y, por extensión, a los productos, materias, utensilios y enseres de uso y consumo doméstico».

Sus objetivos pueden ser resumidos en tres puntos esenciales:

1. Definir lo que ha de entenderse por alimentos, condimentos, estimulantes, bebidas y demás productos o materias a las que alcanza el Código.
2. Determinar cuáles son las condiciones mínimas que han de reunir todos los productos anteriores.
3. Establecer cuáles son las condiciones básicas de los distintos procedimientos de preparación, conservación, envasado, distribución, transporte, publicidad y consumo de los alimentos.

El CAE se estructura en cinco partes integradas por treinta y ocho capítulos, cuyos contenidos se expresan en la Tabla 1.2.

B) Reglamentaciones técnico-sanitarias y normas de calidad

A pesar de todo, el fraude surgido con la pretención de unos beneficios económicos ilícitos y nada éticos se sigue detectando en muchos países comunitarios.

Tabla 1.2
Contenido del Código Alimentario Español

-
- 1.^a **parte.** Incluye 3 capítulos sobre Principios Generales
 - 2.^a **parte.** Incluye 6 capítulos sobre las condiciones generales que deben ser cumplidas por materiales, tratamientos y personal relacionados con los alimentos, establecimientos e industrias de la alimentación.
 - 3.^a **parte.** Incluye 21 capítulos dónde se desarrolla todo lo correspondiente a los distintos grupos de Alimentos y Bebidas.
 - 4.^a **parte.** Incluye 5 capítulos, que complementan los contenidos de la parte tercera, dedicados a los Aditivos y las posibles impurezas contenidas en los alimentos.
 - 5.^a **parte.** Incluye 3 capítulos que tratan de otros tipos de productos relacionados de cierta manera con los alimentos.
-

Tales circunstancias han obligado a que la Unión Europea disponga de Directivas y Recomendaciones orientadas a facilitar su control.

Así, se pueden citar ejemplos de los principales fraudes alimenticios que se detectan en la actualidad: mezclar diversas especies animales en productos que son genuinos de una sola (carnes picadas, patés de hígado, quesos, etc.); ofrecer como alimento fresco piezas de pescados que proceden de una descongelación previa o vender como pescados capturados en su medio natural de vida (piezas de salmón que han sido criadas en piscifactorías); adicionar lactosueros, caseínas o leche en polvo a ciertos productos lácteos, que deben ser elaborados con leche natural; vender como simple aceite de oliva productos que llevan mezclas de otros aceites de semillas; elaborar chocolates con manteca de cacao mezclada con otras mantecas vegetales, o incluso emplear la adición de féculas; etc.

Todo ello ha conducido a la necesidad de promulgar toda una serie de disposiciones legales que ayuden a una mejor aplicación práctica de los artículos del CAE. Estas disposiciones pueden ser agrupadas en dos tipos, que se diferencian tanto en su concepto como en la sistemática de su elaboración y promulgación:

- a) Las de carácter horizontal, que corresponden a las denominadas *Reglamentaciones Técnico-Sanitarias*.
- b) Las de carácter vertical, que corresponden a las denominadas *Normas de Calidad*.

Las primeras son disposiciones legislativas encaminadas a determinar, con carácter obligatorio, las condiciones de obtención, elaboración, industrialización y comercialización de un sector alimenticio, o buena parte de él. Su contenido regula los aspectos técnicos, sanitarios y comerciales de un sector de alimentos.

Todas estas reglamentaciones técnico sanitarias se estructuran de un modo semejante, aunque ofrezcan variaciones propias del sector alimentario que regulan. Obligan a todas las personas, tanto naturales como jurídicas, que se dedican a la elaboración, envasado, circulación y comercio de alimentos y bebidas. La legislación alimentaria española incluye unas de carácter general (Tabla 1.3) y otras de carácter particular (Tabla 1.4).

Las segundas son disposiciones legislativas que definen cada producto de un modo pormenorizado, señalando las condiciones y características que debe reunir

Tabla 1.3**Reglamentaciones técnico-sanitarias de carácter general**

-
- Norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimentarios.
 - Norma general para el control del contenido efectivo de los productos alimenticios envasados.
 - Condiciones generales de almacenamiento no frigorífico.
 - Aditivos alimentarios.
 - Agentes aromáticos para alimentación.
 - Materiales poliméricos para envases de plástico.
 - Manipuladores de alimentos.
 - Represión de fraudes alimentarios.
 - Comedores colectivos.
 - Transporte de alimentos.
-

para su comercialización. Asimismo, determina los factores que deben ser tenidos en cuenta a efectos de clasificación en categorías para la venta del producto tratado.

Estas normas de calidad también se estructuran con bastante semejanza de unas a otras, aunque con las diferencias específicas y propias de cada tipo de alimento. En primer lugar, definen o describen el producto objeto de la norma y después establecen las características mínimas a las que deben ajustarse los factores esenciales de composición sobre los que se basa la categorización comercial de los productos. Todos estos requisitos deben ser cumplidos por aquellos productos que se elaboran para la venta. Existen normas que tienen un carácter general y otras que son específicas de un grupo de alimentos o de un producto concreto (Tabla 1.5).

De acuerdo con ella, merecen especial atención los requisitos a los que debe ajustarse el contenido de toda etiqueta que acompañe a un alimento comercializado: la exigencia de figurar en lugar bien visible de la etiqueta las especificaciones requeridas (Tabla 1.6); claridad y veracidad, tanto en el texto, como en cualquier dibujo publicitario que haga referencia al contenido para que no pueda suscitar confusiones en el consumidor. Asimismo, los datos exigidos deben estar impresos de tal modo que no puedan ser borradas.

Tabla 1.4**Reglamentaciones técnico-sanitarias de carácter particular**

-
- Productos lácteos.
 - Zumos de frutas.
 - Bebidas refrescantes.
 - Pescados.
 - Platos preparados.
 - Mataderos, salas de despiece, centros de contratación, almacenamiento, distribución de carnes y despojos.
 - Etcétera.
-

Tabla 1.5
Normas de calidad

A) De carácter general

- Etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios.
- Recipientes que contengan productos alimenticios frescos de carácter perecedero.

B) De carácter específico

- 26 sobre carne y productos cárnicos.
- 26 sobre leche y productos lácteos.
- 4 sobre pescados y derivados.
- 43 sobre conservas vegetales, zumos y derivados, platos preparados.
- 2 sobre aceites y grasas.
- 1 sobre edulcorantes naturales y derivados.
- 1 sobre legumbres.

C) Normas sobre etiquetado

En 1988 nuestro país aprueba la norma general dirigida al etiquetado de productos alimenticios envasados, que recoge lo establecido por la correspondiente Directiva de la CEE. Posteriormente, en 1992, una nueva norma general la hace extensiva a todos los productos alimenticios comercializados.

Entre todas las especificaciones tienen especial interés las que hacen referencia a las fechas de *consumo preferente* o de *caducidad*, que varían según se trate de un producto perecedero o no perecedero, de acuerdo con lo definido en el capítulo segundo del CAE.

Quando se trate de alimentos perecederos es obligatorio que se exprese la denominada *fecha de caducidad*: «fecha a partir de la cual, el producto alimenticio no es apto para el consumo humano y por tanto no podrá comercializarse como tal».

Tabla 1.6
Información obligatoria del etiquetado

- Descripción del producto alimenticio y, si fuera necesario, su utilización, lo suficientemente precisa para permitir al comprador conocer su naturaleza real.
- Lista de ingredientes, incluidos los aditivos alimentarios, en orden decreciente a sus masas en el momento de su incorporación al proceso de fabricación del producto.
- Los ingredientes se designarán por su nombre específico, y en el caso de aditivos por la categoría funcional a la que pertenecen.
- La cantidad neta del producto envasado, expresada en unidades de volumen cuando el producto sea líquido y en unidades de masa para los demás.
- La fecha de duración mínima o, en su caso, la fecha de caducidad.
- Las condiciones especiales de conservación y de utilización.
- Nombre, razón social o denominación del fabricante, del envasador o del vendedor establecido dentro de la Unión Europea, con sus domicilios en todos los casos.
- Indicación del lote de fabricación.
- Dentro de la Unión Europea se indicará el lugar de origen o procedencia cuando su omisión pueda inducir a error al consumidor.

Se expresará mediante la leyenda *fecha de caducidad* seguida de la fecha o de una referencia al lugar de la etiqueta donde esté indicada. Dicha información se ha de completar con una descripción de aquellas condiciones de conservación, que deberán ser respetadas.

En cambio, para los alimentos que no tienen la calificación de perecederos, debe figurar la *fecha de duración mínima*: «fecha hasta la cual el producto alimenticio mantiene sus propiedades específicas, siempre que se den las condiciones de conservación apropiadas».

Este requisito tiene que ser expresado con la leyenda *consumir preferentemente antes del...*, cuando la fecha deba incluir la indicación del día. En los demás casos, la leyenda deberá ser *consumir preferentemente antes del fin de...* Para una duración inferior a tres meses bastará indicar el día y el mes. En aquellos casos que se superen los tres meses sin alcanzar los dieciocho se indicará el mes y año. Cuando su duración del producto supere los dieciocho meses sólo se requiere indicar el año.

Quedan exentos de este requisito los alimentos siguientes: frutas y hortalizas frescas, vinos, bebidas refrescantes sin alcohol, vinagres, sal de cocina, azúcares en estado sólido, productos de confitería y porciones individuales de helados alimenticios.

Cuando de algún modo se exprese que el producto posee propiedades nutritivas, bien por el valor energético que aporta, bien por los nutrientes que contiene, es obligatorio que su etiqueta se ajuste a las especificaciones establecidas por la norma de etiquetado sobre propiedades nutritivas. Esta obligación abarca a todos los productos alimenticios, citados anteriormente, que tengan la consideración de «*listos para su entrega*» al consumidor final y a los destinados a restaurantes, hospitales, comedores y otras colectividades similares.

La etiqueta nutricional deberá informar en relación con:

- a) Valor energético.
- b) Contenido en los nutrientes enumerados a continuación: proteínas, hidratos de carbono, grasas, fibra alimentaria, sodio, vitaminas y minerales (estos dos últimos cuando estén presentes en cantidades significativas).

C) Normas sobre denominación de origen

La creciente mejora de los productos agroalimentarios españoles ofertados en los mercados, tanto nacionales como internacionales, así como la exigencia de la sociedad por una mayor presencia de alimentos de calidad en sus hábitos de consumo, ha planteado la necesidad de una normativa básica que permita la promoción de productos alimenticios por una parte y la defensa del consumidor por otra.

En tal sentido aparece un nuevo concepto legal, que se conoce como *denominación de origen*, ya incluido en la Ley del Estatuto del Vino promulgada en 1970. Se entiende como tal «el nombre geográfico de la región, comarca, lugar o localidad que se aplica para designar un producto procedente de la vid, del vino o los alcoholes de la respectivas zonas, que tenga cualidades y caracteres diferenciales debido de modo principal al medio natural y la tecnología de elaboración y crianza».

Con posterioridad, una reglamentación de 1988 extiende su aplicación a todos los alimentos aunque no sean vínicos, y en ella se contemplan varios aspectos con relación a cada producto: definición; prácticas de producción de la materia prima, así como sus variedades o razas; características y condiciones para las materias primas; prácticas de elaboración, curación o maduración (en su caso); características del producto final; etc.

La diversidad de productos con características geográficas peculiares, o con otros caracteres diferenciales, ha obligado a la Administración Pública a llevar a cabo una política reguladora de la calidad y establecer las definiciones precisas de los que se debe entender como denominaciones genéricas y denominaciones específicas.

Se entiende por *denominación genérica* la calificación aplicable a los productos que tienen *caracteres comunes y especiales* debidos a su naturaleza, a los sistemas de producción empleados o a los procedimientos de transformación, elaboración y fabricación.

Se aplicará a los grupos de productos que, pudiendo ser producidos en todo el territorio nacional, tienen naturaleza común, pero se diferencian de otros semejantes por su calidad. Esta denominación genérica podrá hacer referencia a una de las tres circunstancias siguientes:

- La naturaleza de los productos.
- Los sistemas de producción.
- Los métodos de elaboración y transformación.

Se entiende por *denominación específica* la calificación aplicable a un producto que tiene *cualidades diferenciales* entre los de su misma naturaleza debidas a la materia prima base de su elaboración, al medio natural o a los medios de elaboración.

Este nombre puede hacer referencia a uno de los tres factores siguientes:

- Al lugar geográfico de procedencia.
- A la raza o la variedad productora de la materia prima.
- Al método de elaboración, transformación o maduración.

Los alimentos

• Desarrollo conceptual del término alimento. • Calificación legal de los alimentos.	• Principales tipos de alimentos comercializados.

Desarrollo conceptual del término alimento

Considerado desde un punto de vista nutricional, un *alimento* es «todo producto que, por sus componentes químicos y por sus características organolépticas, puede formar parte de una dieta con el objeto de calmar el hambre, satisfacer el apetito y aportar los nutrientes que resultan necesarios para mantener al organismo en un estado de salud».

Es decir, un alimento es un producto, natural o transformado, capaz de suministrar al organismo que lo ingiere la energía y las estructuras químicas necesarias para que pueda desarrollar sin problemas sus procesos biológicos.

No obstante, existen productos que se ingieren para satisfacer un deseo apetecido sin una finalidad nutricional y por ello carecen de la consideración de sustancia nutritiva, aunque tomen parte de una dieta: café y té se consumen por su acción estimulante; las bebidas carbonatadas son ingeridas por su efecto refrescante; los condimentos y especias se incluyen en la elaboración de los alimentos por la función organoléptica que desempeñan; etc.

De aquí que en el segundo capítulo del Código Alimentario Español (1.02.01) se defina el alimento como «sustancias o productos de cualquier naturaleza, sólidos o líquidos, naturales o transformados, que por sus características, aplicaciones, componentes, preparación y estado de conservación, sean susceptibles de ser habitual e idóneamente utilizados para alguno de los fines siguientes:

- a) Para la normal nutrición humana o como fruitivos.
- b) Como productos dietéticos, en casos especiales de alimentación humana.»

Dentro de un desarrollo conceptual del término, el Código Alimentario Español establece distintas denominaciones para diferenciar entre unos u otros alimentos, según su naturaleza o de acuerdo con su empleo dentro de la alimentación humana.

Es decir, el CAE distingue entre unos alimentos, a los que llama fundamentales, y otros, a los que considera productos dietéticos y de régimen.

Se entiende como *alimentos fundamentales* (1.02.05) «los que constituyen una proporción importante de la ración alimenticia habitual en las distintas regiones españolas».

Deben ser considerados como *productos dietéticos y de régimen* (1.02.03) «los alimentos elaborados según fórmulas autorizadas, adecuados para satisfacer necesidades nutritivas específicas del hombre».

Al lado de estas dos definiciones el CAE establece otra distinción, que resulta muy útil y necesaria dentro del ámbito actual de los alimentos comercializados.

De acuerdo con ella, tendrán la consideración de *productos sucedáneos* (1.02.04) «todo producto que, sin fines engañosos ni fraudulentos, y con expresa declaración de la finalidad perseguida, pretenda sustituir en todo, o en parte, a un alimento».

Asimismo, el CAE considera que en la elaboración y comercialización de los productos alimenticios, se emplean sustancias que carecen de los requisitos necesarios para que se las pueda considerar como alimentos y, por ello, deben ser denominadas *productos alimentarios* (1.02.13): «Todas las materias no nocivas, en sentido absoluto o relativo, que sin valor nutritivo puedan ser utilizadas en la alimentación».

A estas consideraciones se une el concepto de *útiles alimentarios* (1.02.14): «Los vehículos de transporte, maquinaria, utillajes, recipientes, envases, embalajes, etiquetas y precintos de todas clases en cuanto usualmente se utilicen para la elaboración, fraccionamiento, conservación, transporte, rotulación, precintado y exposición de alimentos o de productos alimentarios. Tendrán la misma consideración los productos, materias, utensilios y enseres de uso y consumo doméstico».

En la práctica, todo alimento puede ser considerado como un *Sistema Alimentario*, es decir, un sistema, más o menos complejo de naturaleza fisicoquímica, integrado por sustancias químicas que van a desempeñar funciones concretas y específicas, mediante las cuales contribuyen a las propiedades de ese alimento. No obstante, solamente cuatro especies químicas van a ser mayoritarias desde el punto de vista de su presencia y concentración en el alimento: agua, proteínas, carbohidratos y lípidos.

Puede afirmarse que en la actualidad son bien conocidas las funciones desempeñadas por cada una de las estructuras químicas que participan en el conjunto global del alimento. Algunas de ellas resultan esenciales para la vida de los organismos vivos y necesitan ser suministradas a través de la alimentación. Por ello, no cabe duda que la principal función vinculada a los componentes de los alimentos es la nutricional. Es evidente que todo ser vivo necesita ingerir alimentos para subsistir y que a través de su alimentación recibe los nutrientes necesarios para atender al mantenimiento y desarrollo de su organismo.

Sin embargo, un alimento no sólo debe ser un producto que nutra, sino también ha de ser algo que apetezca ser comido, que estimule el apetito a través de sus características sensoriales. Por tanto, desde un punto de vista dietético ha de ser valorado en virtud del grado de aceptación o de posible rechazo que provoque.

En cierto modo el alimento se evalúa en función de lo que se entiende como *palatabilidad*: «conjunto de factores por los que un alimento es apetecido o aceptado».

Uno de los principales objetivos de la ciencia de los alimentos ha sido llegar al conocimiento de las funciones desempeñadas por cada uno de los componentes quí-

micos que integran los sistemas alimentarios. Hoy día se conocen cuáles son las estructuras químicas responsables del color, sabor, olor, flavor, textura, etc. de los alimentos; incluso se ha podido vincular algunas estructuras con determinadas actividades tecnológicas, esenciales para la específica elaboración de un alimento (Tabla 2.1). De este modo, cabe relacionar las funciones específicas de cada componente químico con las diferentes propiedades que presentan los sistemas alimentarios.

Modernamente, se habla de dos tipos de propiedades atribuidas a los alimentos que manejamos:

- Propiedades nutricionales.
- Propiedades funcionales.

Se entiende por *propiedades nutricionales* aquellas que se relacionan con la capacidad que tenga el alimento de contribuir a la dieta alimenticia con las estruc-

Tabla 2.1

Principales funciones vinculadas a las especies químicas que integran la composición de un alimento

Función de nutriente

Proteínas.	Elementos minerales.
Hidratos de carbono.	Vitaminas
Lípidos.	Agua.

Función sensorial

<i>Color</i> ,	betalaínas y derivados benzopirenos, isoprenos y tetrapirrólicos.
<i>Sabor</i> ,	ácidos orgánicos, azúcares y taninos.
<i>Flavor</i> ,	aminoácidos, nucleótidos y terpenos.
<i>Textura</i> :	lípidos, polisacáridos y proteínas.

Función tecnológica

Azúcares.	Proteínas.
Polisacáridos.	Lípidos.

Función saludable

Ácidos grasos poliinsaturados omega.
Ácido ascórbico.
Ácido fólico.
Aminoácidos.
Catequinas.
Ditioltionas.
Fructo y galacto-oligosacáridos.
Isoflavonas.
Péptidos de caseína.
Tioalilos.
Tocoferoles.
Etcétera.

turas químicas o nutrientes, necesarios para que el organismo desempeñe las funciones fisiológicas y bioquímicas propias de sus procesos vitales.

De todos los componentes de los alimentos, seis son los grupos de especies químicas que pueden ser calificados como nutrientes: agua, proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas y elementos minerales.

Se considera como *propiedades funcionales* aquellas que, al margen del valor nutritivo, presentan los ingredientes o las especies químicas y determinan el comportamiento del sistema alimentario. La mayoría de las estructuras químicas presentes en un alimento son capaces de desempeñar diversas funciones vinculadas a las propiedades de los alimentos, distintas a la función de nutriente.

De hecho, estas propiedades funcionales pueden abarcar tres ámbitos importantes, en relación con el uso y consumo de los alimentos:

- *Propiedades organolépticas o sensoriales.* Son las que hacen referencia a la capacidad de hacer apetecible o atractivo un alimento, en virtud de las cualidades que son percibidas por los órganos de los sentidos: color, sabor, olor, flavor, textura, jugosidad, apariencia, etc.
- *Propiedades tecnológicas.* Son las que permiten contribuir, o al menos facilitar, los procesos vinculados a la tecnología de fabricación industrial, o a las operaciones culinarias, siempre orientados a proporcionar aquellas condiciones que resultan más aptas para su consumo.
- *Propiedades saludables.* Son las que contribuyen para que el consumo del alimento no resulte perjudicial desde un punto de vista higiénico-sanitario.

Todas ellas son propiedades que cada vez tienen mayor incidencia en la demanda de alimentos por parte del consumidor actual, como respuesta al hecho de que los conceptos entorno al uso del alimento han entrado en un ámbito de nuevos reconocimientos científicos. En consecuencia, se admite casi sin discusión que los alimentos han de ser productos que no sólo deben ser nutritivos, sino también apetecibles, además de proporcionar en la medida de lo posible sustancias que tengan capacidad para ofrecer al organismo humano algún efecto que le resulte beneficioso para mantener un estado de buena salud.

Esta preocupación de la sociedad actual por el binomio *Alimentos - Salud* ha conducido a la necesidad de establecer nuevos atributos con los que calificar los alimentos que hoy día se comercializan:

- *Alimento sano.* Cuando su composición carece de sustancias tóxicas, o de microorganismos patógenos, que puedan ocasionar alguna intoxicación o enfermedad en el que lo consume. Es un requisito que debe ser cumplido por todo alimento en uso, para que desde un punto de vista higiénico-sanitario pueda ser calificado como seguro.
- *Alimento saludable.* Cuando carece de sustancias, o al menos no las contiene en cantidades importantes, cuyo frecuente consumo pueda significar algún riesgo de padecer una enfermedad crónica.
- *Alimento para la salud.* Cuando en su composición participa algún tipo de estructura química, cuya ingestión tenga acreditada actividades preventivas frente a ciertas enfermedades de tipo crónico.

Calificación legal de los alimentos

En el segundo capítulo del Código Alimentario Español se incluyen diversos calificativos para los alimentos, que van a tener después su repercusión tanto en lo que puede afectar al cumplimiento de las exigencias establecidas por la legislación alimentaria de desarrollo posterior, como en lo que pueda hacer referencia a la represión de fraudes. En dicho capítulo se hace la distinción entre alimentos que deben ser considerados como perecederos; adulterados o falsificados; alterados, contaminados o nocivos.

Las normas exigidas para el etiquetado varían en el marcado de fechas, según se trate o no de un alimento perecedero. Se entiende por *alimento perecedero* (CAE, 1.02.06) «aquel que, por sus características, exige condiciones especiales de conservación en sus periodos de almacenamiento y transporte».

En relación con la represión de fraudes, el segundo capítulo del Código Alimentario Español distingue entre producto adulterado y producto falsificado:

Se considera *alimento adulterado* (CAE, 1.02.08) «todo alimento al que se le haya adicionado, o sustraído, cualquier sustancia para variar su composición, peso o volumen, con fines fraudulentos, o para encubrir o corregir cualquier defecto debido a ser de inferior calidad, o tenerla alterada».

Se entenderá como *alimento falsificado* (1.02.09) «todo alimento en el que se haya concurrir alguna de las siguientes circunstancias:

- a) Que haya sido preparado, o rotulado, para simular otro conocido.
- b) Que su composición real no corresponda a la declarada y comercialmente anunciada.
- c) Cualquier otra, capaz de inducir a error al consumidor».

Finalmente, para afinar en las exigencias que salvaguardan la seguridad sanitaria de los alimentos, el Código distingue entre alimentos alterados, contaminados y nocivos:

Tendrá la consideración de *alimento alterado* (CAE, 1.02.10) «todo aquel que durante su obtención, preparación, manipulación, transporte, almacenamiento o tenencia, y por causas no provocadas deliberadamente, haya sufrido tales variaciones en sus caracteres organolépticos, composición química o valor nutritivo, que su aptitud para la alimentación haya quedado anulada o sensiblemente disminuida, aunque se mantenga inocuo».

Debe entenderse como *alimento contaminado* (CAE, 1.02.11) «todo aquel que contenga gérmenes patógenos, sustancias químicas o radiactivas, toxinas o parásitos capaces de producir, o transmitir, enfermedades al hombre o a los animales. No será obstáculo, a tal consideración, la circunstancia de que la ingestión de tales alimentos no provoque trastornos orgánicos en quienes los hubieran consumido».

Se calificará de *alimento nocivo* (CAE, 1.02.12) «a todo alimento que incurra en alguna de las siguientes circunstancias:

- a) Cuando utilizado con criterio de normal prudencia, y conforme a las prescripciones de su preparación y empleo, o en cualquier forma que se ajuste a prácticas de elemental previsión, produzca efectos perjudiciales en el consumidor.

- b) Cuando aun no siendo perjudicial a su inmediato consumo, se pueda prever que su ingestión repetida entraña peligro para la salud, sin que ello obedezca a uso inmoderado o inoportuno, o a un consumo irreflexivo del mismo.
- c) Cuando su contenido en microorganismos o materias extrañas sea superior a los límites permitidos para las diferentes clases de alimentos.
- d) Cuando aun no siendo nocivo para el consumidor medio, lo es o pueda serlo para un grupo determinado de consumidores al que va específicamente destinado: lactantes, diabéticos, mujeres gestantes, etc.»

Asimismo, en la Reglamentación por la que en 1997 el Ministerio de Sanidad y Consumo aprueba la lista positiva de aditivos distintos de colorantes y edulcorantes que pueden ser usados en la elaboración de productos alimenticios, así como las condiciones para su utilización, se establece la definición de lo que legalmente debe entenderse por *alimento no elaborado*: «aquellos que no han sido sometidos a ningún tratamiento que haya alterado sustancialmente su estado inicial».

De acuerdo con esta definición legal, se pueden calificar de alimentos no elaborados, entre otros, los siguientes:

- La miel.
- Los aceites y grasas no emulsionados.
- La nata y la leche.
- Los productos lácteos, sin aromatizantes y fermentados por la acción de microorganismos vivos.
- El agua mineral natural y el agua de manantial.
- El café, excluido el instantáneo aromatizado y los extractos de café.
- El té en hojas, sin aromatizantes.
- El azúcar.

No obstante, sí podrán haber sido objeto de operaciones tales como división, partición, troceado, deshuesado, picado, pelado, mondado, despellejado, molido, cortado, lavado, cepillado, ultracongelado, refrigerado, triturado, descascarado y envasado.

Principales tipos de alimentos comercializados

Los cambios, más o menos profundos, que durante años vienen afectando a la dinámica de la sociedad occidental (modos de vida, costumbres sociales, estructuras familiares, etc.), han marcado una impronta en los actuales hábitos de alimentación. La incorporación de la mujer al trabajo profesional fuera de su hogar ha conferido a la célula familiar una característica peculiar: una mayor capacidad de poder adquisitivo, a la vez que el tiempo disponible para atender las tareas culinarias resulta escaso.

Todo ello ha conformado la necesidad de introducir ciertas modificaciones en la selección de los menús, así como buscar otras alternativas a las formas de consumo. El mercado alimentario actual demanda unos alimentos que, manteniendo las características organolépticas y nutritivas de los productos convencionales, incor-

poren algún tipo de tecnología que facilite las manipulaciones relacionadas con su consumo.

La alimentación humana está fundamentada sobre la base de planificar unos menús, cuya realización implica adquirir unas materias primas, unos ingredientes de base, que se han de complementar con otros productos para desembocar en el plato cocinado. Para estos fines, los pueblos han utilizado a lo largo de las distintas épocas históricas aquellas materias alimenticias que estaban a su alcance. Productos, tanto de origen animal como vegetal, que podían ofrecer variaciones en función de muchos factores: condiciones naturales del terreno, orografía, clima, suelo, costumbres, niveles de cultura, etc.

Durante siglos, el ser humano ha usado para su alimentación las materias primas de producción local, supeditadas a las características de cada zona geográfica. Sin embargo, cuando se acentuaba la escasez en algunos de los recursos alimenticios esenciales, acometía su búsqueda por otros lugares, dando lugar a una mayor comunicación entre los distintos pueblos. Estos intercambios comerciales proporcionaron una mayor variedad a la dieta alimenticia, a la vez que posibilitaron unas influencias recíprocas entre los hábitos alimentarios de unos y otros pueblos.

En la práctica, esta situación se ha mantenido hasta la segunda mitad del siglo xx, tiempos en los que la sociedad occidental experimenta unos cambios tan importantes como para marcar una impronta en los modos de su alimentación: vida social, costumbres cotidianas, estructuras familiares, etc.

La producción industrial de alimentos, así como los métodos aplicables para la transformación culinaria de los ingredientes, han evolucionado a impulso del desarrollo tecnológico y científico. En consecuencia, las instalaciones, los equipos y los utillajes de trabajo han sufrido notables modificaciones en función de las nuevas fuentes de energía térmica y los materiales innovados. Así, el uso de gas, de electricidad, de ondas electromagnéticas, etc. han producido alteraciones relevantes dentro del trabajo culinario.

También, la mejora de las técnicas de almacenado, que facilita la buena conservación de alimentos, tales como refrigeración, ultracongelación, pasteurización, esterilización, empaquetado a vacío, etc., ha permitido incrementar la vida media de lo fabricado, o incluso cocinado, mejorando su calidad sanitaria y reduciendo las incidencias de alteraciones y pérdidas. De este modo se ha alcanzado una mayor disponibilidad de materias alimenticias, que ya no quedan relegadas a lo que se produce en el entorno, sino que se extiende a lo producido en lugares lejanos.

En resumen, aparecen importantes modificaciones en la cesta de la compra: varía la selección de alimentos y los productos más tradicionales dan paso a otros de más fácil manipulación, que aportan una mayor comodidad culinaria.

Lo mismo ha sucedido durante estos últimos treinta años en las empresas de restauración. Hoy día, tales empresas utilizan muchos ingredientes que ya han recibido algún modo de procesado; incluso adquieren productos en condiciones de ser servidos de modo inmediato, porque exigen tiempos de preparación muy escasos.

Todo ello ha supuesto una auténtica revolución en las industrias agroalimentarias, consideradas como las más antiguas, puesto que ya eran conocidas en el Neolítico. Uno de los fenómenos más significativos de su evolución con el correr de los tiempos y su adaptación a las necesidades actuales ha sido la aparición de los denominados *productos alimenticios intermediarios* (PAI). La asimilación de las

nuevas tecnologías y su adaptación a las demandas actuales, da lugar a una primera transformación de las materias tradicionalmente disponibles para obtener nuevos productos, que van a servir de materias primas para otras industrias, que con una segunda transformación elaboran unos alimentos específicos.

En definitiva, con una primera transformación se aíslan fracciones que, por sus propiedades funcionales y nutritivas, van a ser adecuadas para ser aplicadas en la elaboración de otros alimentos. Incluso, llevada la evolución tecnológica hasta sus últimas consecuencias, el empleo de estos PAIs se extiende hasta la restauración colectiva, que hace uso de ellos a través de la denominada *cocina de ensamblaje*.

Por definición, los PAIs corresponden a productos elaborados que ofrecen unas características funcionales bien establecidas y que pueden conservar hasta su empleo, siempre que se les almacene de modo adecuado. Cada fracción, aislada y purificada, de las materias tradicionales pueden ser considerada como PAI de primera generación. Pero tales materias han de ser asociadas de modo conveniente con otros ingredientes para que resulten mezclas equilibradas (PAIs de segunda generación), capaces de ser transformadas en productos que gocen de unas características concretas y específicas.

Pueden citarse numerosos ejemplos de ellos: aceites muy estables para frituras; materias grasas emulsificables (*shortenings*) para la elaboración de galletas; alimentos cuya grasa está enriquecida con determinados ácidos grasos, destinadas para usos dietéticos concretos (araquidónico, en alimentos para personas de la tercera edad, incapaces de obtenerlos a partir del linoleico); etc. Un esquema del proceso puede ser el indicado en la Figura 2.1.

En definitiva, un PAI es un producto «normalizado», que goza de una composición química y de unas propiedades funcionales constantes, que permiten una aplicación industrial bastante polivalente. Precisamente en estas características radica su importancia para sus principales aplicaciones: sus características normalizadas permite llegar a la obtención de alimentos con una calidad constante, evitando con su empleo las variaciones propias de cualquier producto biológico, como son los alimentos de origen vegetal y animal, que se recolectan o se crían.

Además, el PAI no sólo permite la uniformidad del alimento acabado, sino que también permite modificar las formulaciones para conseguir unas características concretas de textura, aroma, conservación, etc. Con ello, la industria alimentaria ha

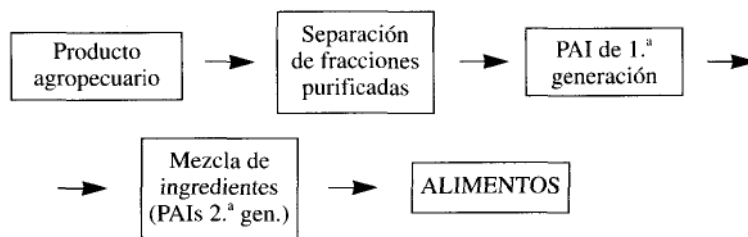


Figura 2.1. Fases en el proceso de elaboración de productos alimenticios.

conseguido una producción enormemente variada, que trata de satisfacer las necesidades demandadas por los consumidores. En la actualidad, muchas materias primas alimenticias se presentan bajo aspectos que son diferentes a los convencionales, o bien se integran en preparaciones más complejas. A este hecho se une la aplicación de nuevos planteamientos para conservar y distribuir alimentos, que permiten una mayor diversificación en las ofertas comerciales.

En resumen, puede hablarse de grupos de productos bien definidos desde el punto de vista comercial:

- a) Alimentos de base, no transformados: carnes, pescados, leches, huevos, legumbres, grasas, verduras, frutas.
- b) Productos transformados, derivados de los alimentos de base: quesos, pan, charcutería, pastas, galletas, conservas.
- c) Amplia variedad de productos obtenidos a partir de los nuevos productos alimenticios intermediarios.
- d) Platos semielaborados, o incluso cocinados, que exigen escasa dedicación culinaria.

Sin embargo, una visión más completa de sus peculiares características se obtiene si esas materias primas se agrupan de acuerdo con criterios tecnológicos más modernizados, es decir, más en consonancia con las ofertas disponibles en los mercados alimenticios actuales:

- Productos frescos.
- Productos appertizados.
- Productos congelados.
- Productos envasados en atmósferas modificadas.
- Productos tratados con calor y con vacío.
- Productos texturizados.
- Platos preparados.

Productos frescos (primera gama de alimentos)

Corresponden a los productos alimenticios que pueden ser considerados como tecnológicamente no procesados; es decir, desde su recolección o su producción, sólo han podido recibir la acción protectora del frío, mediante el empleo de cámaras refrigeradas, situadas siempre entre 0 y 10 °C. Lógicamente representan los de uso más antiguo y cotidiano, bastante perecederos en muchas ocasiones y que se corresponden con los diferentes grupos incluidos en el Código Alimentario: carnes y derivados, pescados y mariscos, nuevos y derivados, leches y derivados, grasas comestibles, harinas y derivados, legumbres, verduras, hortalizas y frutas.

Desde un punto de vista de las empresas de restauración, es importante establecer normas de conducta para seleccionar bien los productos frescos durante su compra, porque la calidad aportada por las materias adquiridas puede ser una clara garantía para los resultados finales. Resultará muy valioso el disponer de especificaciones sobre cada uno de esos productos; referencias de las características de los mercados locales más relevantes; los requerimientos más convenientes para el almacenado de cada producto; etc.

Productos appertizados (segunda gama de alimentos)

Conciernen a las denominadas conservas alimenticias, definidas en el Código Alimentario Español (CAE, 3.26.01): «Productos obtenidos a partir de alimentos perecederos de origen animal o vegetal, con o sin adición de otras sustancias autorizadas, contenidos en envases apropiados, herméticamente cerrados, tratados exclusivamente por el calor, en forma que asegure su conservación».

Es decir, son alimentos que han sido sometidos a lo que suele denominarse una esterilización comercial, que se realiza dentro de envases cerrados. Responden a una tecnología aparecida en el siglo XIX, pero que sólo ha alcanzado un nivel industrial en la segunda mitad del siglo XX. Mientras los envases permanezcan cerrados no necesitan de cuidados especiales para su almacenamiento.

De acuerdo con la intensidad del tratamiento térmico, caben considerar las llamadas semiconservas, también definidas en el Código Alimentario Español (CAE, 3.26.01): «Productos establecidos para un tiempo determinado, por un tratamiento apropiado, y mantenidos en recipientes impermeables al agua a presión normal».

Son productos que necesitan de la acción complementaria del frío para prolongar su vida útil comercial y por ello se deben almacenar bajo refrigeración.

En la actualidad, esta metodología se aplica también para poner en el mercado una cierta variedad de platos precocinados, a los que se les aplica el correspondiente tratamiento térmico para reducir su carga microbiana.

Los métodos clásicos de esterilización comercial suelen llevar a cabo el tratamiento térmico de los productos envasados mediante el uso de vapor de agua en cubas o tanques, bajo sistemas que en un principio trabajaban en discontinuo. Como esta tecnología exige tiempos prolongados, plantea el riesgo de sobrecocciones en el producto envasado; para evitar tales inconvenientes, se han introducido los sistemas en continuo, que no han conseguido eliminar del todo los riesgos de sobrecocción, ni una heterogénea penetración del calor cuando el medio es más o menos viscoso.

Para estos casos, como puede ser el de trozos de carne en salsa, se ensayan nuevos sistemas de tratamientos térmicos, que aplican el denominado calentamiento óhmico directo. Su fundamento tiene como base la utilización del calor generado en el mismo alimento como consecuencia del denominado «efecto Joule», provocado por el paso de una corriente eléctrica a través del mismo.

Productos congelados (tercera gama de alimentos)

Una preocupación histórica en la alimentación humana ha sido la de prolongar la vida útil de los alimentos perecederos, sin que se modifiquen de modo significativo sus cualidades más relevantes. De los métodos aplicados, o ensayados, puede señalarse a la congelación como el más eficiente. Sólo importa disponer de una buena tecnología de ultracongelación y una adecuada cadena de frío. De aquí que en este grupo se puedan reunir en la actualidad una gran variedad de alimentos que se comercializan bajo el estado congelado. Aunque eran conocidos desde hace un siglo, su difusión en los mercados alimentarios puede ser considerado como un hecho relativamente reciente.

La congelación aporta la ventaja de prolongar la vida útil comercial de muchos alimentos y ha permitido que los mercados hayan incrementado bastante su oferta

de productos congelados. No obstante, ha sido necesario disponer de la tecnología propia de la ultracongelación para que ese tipo de alimento pudiera superar las implicaciones negativas sobre la calidad inferidas por una deficiente aplicación tecnológica del frío.

También esta modalidad de conservación ha adquirido un gran interés en el ámbito de la restauración colectiva, que en su dinámica de trabajo está introduciendo el consumo de platos cocinados congelados. Representa una modalidad de distribución que mejora los ritmos de producción y permite ampliar el radio de acción de las cocinas centrales.

Sin duda alguna, también estos tipos de productos alimenticios, bajo las formas más diversas de croquetas, empanadillas, arroces variados, etc., van penetrando con cierta fuerza en la cocina de hogar, debido al ahorro de tiempo que conllevan.

Productos envasados bajo vacío o en atmósferas modificadas (cuarta gama de alimentos)

Desde hace algunos años, la industria agroalimentaria ha puesto en el mercado una serie de productos que ha modificado de modo importante la naturaleza de las materias primas utilizadas para la preparación de los platos cocinados. Son productos que se adaptan muy bien a los imperativos de gestión de la cocina colectiva y a los exigentes modos de vida del consumidor actual. Conocidos como alimentos de la cuarta gama, incluyen una nueva generación de formas comercializadas de vegetales frescos, que cortados y preparados se envasan bajo vacío, o en atmósferas modificadas, y quedan listos para ser consumidos en cualquier momento.

Su correcta elaboración implica una serie de operaciones:

- a) Eliminación de las piezas imperfectas y cortado de las elegidas, para conferirles las formas definitivas, así como facilitar las fases siguientes.
- b) Lavado y desinfección, con el fin de reducir la carga microbiana inicial.
- c) Aclarado y escurrido, para eliminar los residuos de los desinfectantes y secar el producto.
- d) Envasado y cerrado bajo las condiciones adecuadas, etapa conocida también como *acondicionamiento*, que suele ser realizada de modo automático mediante una tecnología bastante sofisticada.

Todas estas operaciones deben ser realizadas en frío y una vez concluidas, los vegetales deben ser conservados siempre bajo temperaturas de refrigeración ($+3/4^{\circ}\text{C}$) para que mantengan lo mejor posible todas sus cualidades de productos frescos. No obstante, la fecha límite para su consumo depende tanto de la tecnología del proceso, como de la aplicación de la cadena de frío durante su almacenamiento y distribución.

Son productos alimenticios que aparecieron en EE UU para cubrir una necesidad de ahorro de tiempos de trabajo en los restaurantes de comida rápida y pronto se extendieron por Europa. Su oferta comercial ha permitido que los menús de los servicios rápidos de comidas puedan incluir una mayor variedad de verduras y hortalizas, que de por sí suelen exigir un cierto tiempo de preparación: lechugas, escarolas, achicorias, endivias, espinacas, acelgas, apios, coles, puerros, zanahorias, etc.

Las verduras de la cuarta gama han demostrado conservar sus niveles vitamínicos, sin que se afecten por el tratamiento que reciben ni por el almacenado, de modo especial el betacaroteno y los folatos. Sólo se reduce el contenido en vitamina C, circunstancia que debe ser tenida en cuenta para el cálculo de su aporte a la ración alimenticia.

Esta tecnología también se ha extendido a la conservación de otros productos no cocinados, que se envasan dentro de materiales que impidan el intercambio gaseoso con el exterior, cuya naturaleza dependerá del tipo de alimento a conservar. Según los casos, se aplica vacío, total o parcial, o atmósferas modificadas.

Estas nuevas formas comerciales permite obtener ciertos tipos de beneficios: conservar porciones exactas, preservar las características específicas de un alimento durante un mayor periodo de tiempo, racionalizar las compras, aprovechar oportunidades, etc.

La tecnología de las atmósferas modificadas consiste en sustituir la atmósfera natural por otra formada por un gas, o por una mezcla de gases. De este modo se consigue casi duplicar la vida útil comercial de muchos productos, porque se retrasan los fenómenos de degradación o de alteración.

Son de obligada aplicación a los alimentos de origen vegetal, siempre activos en su metabolismo: su envasado exige disponer de algo de oxígeno para que su actividad metabólica se pueda mantener dentro de un nivel mínimo.

En los demás alimentos, metabólicamente inactivos, basta con sustituir el aire del envase por una atmósfera modificada para defenderle de una alteración.

Los gases a emplear suelen ser tres, aunque pueden ser aplicados bajos diversas combinaciones:

- *Nitrógeno*. Gas inerte, con escasa solubilidad en agua y en grasas, que no interviene en procesos de oxidación.
- *Anhidrido carbónico*. Gas inerte, algo soluble en agua y grasas, con efectos bacteriostático, fungistático e insecticida.
- *Oxígeno*. Usado para mantener un mínimo de respiración en los vegetales o el color en las carnes.

El uso del envasado bajo atmósferas modificadas suelen ofrecer algunas ventajas comerciales:

- a) Proporcionar una mayor higiene.
- b) Facilitar la venta de alimentos fileteados o troceados (carnes, pescados, embutidos, etc.).
- c) Posibilitar la venta en pequeñas porciones (bollería, quesos, etc.).

Productos tratados con calor y con vacío (quinta gama de alimentos)

En los últimos años ha surgido un nuevo modo de comercialización de productos alimenticios, la quinta gama, que se puede considerar formada por aquellos alimentos cuyas formas comerciales implica haber recibido dos modos diferentes de manipulación tecnológica: algún tipo de tratamiento térmico y el envasado a vacío. En muchos casos, necesitan del complemento del frío para su buena conservación.

De modo principal, se trata de productos envasados a vacío o en atmósferas modificadas, que unas veces responden a platos ya cocinados y otras a verduras simplemente cocidas. Su presencia en los mercados alimenticios ha experimentado un notable progreso en los finales del siglo xx. Se diferencian de los productos de la cuarta gama en que lo sometido a vacío es una materia que ha recibido algún tipo de tratamiento térmico.

Dentro de esta quinta gama se pueden distinguir dos tipos de formas comercializadas:

1. Los platos *esterilizados*, integrados en su mayor parte por verduras, que dentro de envases herméticamente cerrados han sufrido un tratamiento térmico, conforme a los haremos propios de una esterilización (temperatura superior a los 100 °C) con el fin de inhibir, o destruir de modo prácticamente total, las bacterias presentes y la formación de toxinas.

En la práctica, se distinguen de las *conservas* en la permeabilidad a los gases, que caracteriza al material de sus envases. Bajo esta forma comercial pueden conservarse varios meses a la temperatura ambiente, aunque siempre cabe la posibilidad de modificaciones eventuales en sus propiedades sensoriales, debido al intercambio gaseoso con el medio ambiente.

2. Los platos *pasteurizados*, que comprenden productos de origen animal y vegetal, aunque de modo particular abarca a las preparaciones culinarias cuyo color y textura no soportan los rigores de una esterilización. En este caso, reciben un tratamiento térmico comprendido entre los 65 °C y los 85 °C, con el fin de asegurar una conservación que alcance desde los 21 hasta los 42 días, en función del tratamiento recibido. Acondicionados a vacío, es decir, bajo un ambiente de anerobiosis, resulta aconsejable para su buena conservación el complemento del frío (< 3 °C), para evitar el posible desarrollo de esporas de anaerobios patógenos y algún otro microorganismo psicrofílico.

Para evitar el riesgo de un posterior desarrollo de esporas, algunas empresas someten al producto a una metodología que implica dos pasteurizaciones: Una vez realizada la primera, el producto se somete durante un día a una incubación a 25-30 °C para inducir el desarrollo de los gérmenes esporulados, que serán destruidos en una segunda pasteurización, mediante un rápido calentamiento hasta los 80 °C.

Algunos autores incluyen en esta quinta gama productos que, en la práctica, corresponden a lo que se podría denominar «cocina a vacío», basada en el efecto conservador de la ausencia de oxígeno, que evita la multiplicación de los microorganismos aerobios alterantes de los productos alimenticios.

Para soslayar posibles confusiones, conviene aclarar que dentro de esta «cocina a vacío» caben distinguir varios tipos, muy diferentes unos de otros:

- a) Preparaciones de carnes, de pescados o de verduras, limpias y troceadas, que de este modo quedan listas para su uso, con gran ahorro de tiempo durante el proceso culinario correspondiente, y una buena conservación que puede llegar hasta las dos semanas.
- b) Cocinado tradicional y envasado a vacío, siempre que se pueda aplicar un enfriamiento rápido del plato cocinado. Este envasado a vacío puede ampliar su conservación hasta los 12 días.

- c) Cocinado a vacío: mezcla de ingredientes crudos, envasado en bolsas especiales apropiadas, con cierre hermético de las bolsas y posterior tratamiento térmico suave. De este modo se desarrolla un proceso culinario de cocción a temperaturas suaves, que conserva todas las características organolépticas de los ingredientes empleados. Como contrapartida hay que señalar el ambiente de anaerobiosis existente, que exige la garantía de emplear unos productos iniciales carentes de microorganismos anaerobios.

En resumen podemos afirmar que la quinta gama incluye unos productos que ya han sido cocinados y se encuentran listos para ser servidos; y otros productos que, en estado precocinados, permiten una rápida regeneración y pueden ser servidos en un tiempo inferior a los 30 minutos.

Productos texturizados

Además de estas cinco gamas tecnológicas, existe otro grupo de productos que, con una tecnología especializada y bastante novedosa, ocupan en la actualidad un lugar importante en el mercado alimenticio: son los productos *texturizados*.

La texturización representa un buen ejemplo de transferencia de tecnología, trasladada desde la industria de plástico al mundo alimentario. Su aplicación ha permitido aprovechar ciertas proteínas de buena calidad nutritiva, extraídas de algunas fuentes anteriormente desechadas. Suelen ser la base de muchos alimentos, que son *simulados* o *análogos* de los convencionales. Dentro de este ámbito, caben señalar las proteínas aisladas de soja o las pastas de proteínas de abadejo, que los japoneses denominan *surimi*. A partir de las primeras se consiguen análogos de carnes, pescados o mariscos, según la aromatización que se aplique a la fibra vegetal texturizada; de las segundas, se comercializan análogos de patas de cangrejo, vieiras, gambas o angulas.

Las nuevas técnicas de cocción-extrusión ha permitido poner en el mercado un conjunto muy complejo de productos innovadores extruidos. La *extrusión* consiste en el moldeado o conformación de una sustancia blanda, o plástica, mediante aplicación de calor y fuerzas de fricción mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio, cuya forma especial proporciona al producto final una textura y unas características determinadas.

La cocción-extrusión se suele aplicar en gran medida a la transformación de materias con elevado contenido en proteínas o en almidón: harinas, sémolas, salvado, soja, surimi, caseínas, etc. De este modo han aparecido en el mercado de la alimentación humana nuevos productos: *snacks* aperitivos, cereales para el desayuno, galletas, arroz inflado, papillas infantiles, análogos o simulados de alimentos convencionales, mezclas ricas en fibra a base de cereales y almendras, bolas de cereales al chocolate, etc.

El hábito de tomar algunas cantidades de alimentos en cualquier momento del día ha dado lugar a la introducción en el mercado de un grupo de productos alimenticios que se conocen con el nombre genérico de *snacks foods*. El término *snack* tiene una correspondencia en castellano muy difícil de definir, aunque siempre hace referencia a lo que se toma en cantidades pequeñas y de modo informal. Se consideran *snack de primera generación* a los productos de este tipo que han sufrido una extrusión.

La extrusión es un tratamiento tecnológico que, además de ser ventajosa en costos, energía, tiempo, diseño, versatilidad y flexibilidad, ha permitido la elaboración de una gran cantidad de productos innovadores. A éstos le han seguido los de *segunda generación*, que son los que actualmente más se comercializan y responden a la aplicación de dos tecnologías: extrusión y expansión. Son muy comunes los elaborados a base de harinas, o de sémola, de cereal (maíz o arroz) y sometidos a procesos de horneado o de fritura.

Platos preparados

Como se ha indicado anteriormente, los cambios producidos en los hábitos de vida en la segunda mitad del siglo xx han traído varias consecuencias de interés para el ámbito alimentario: mayor número de alimentos para consumir, más diversificación de las formas de consumo, clara tendencia a consumir comidas preparadas fuera del hogar.

De aquí que entre las fuentes de productos alimenticios usados por la restauración actual haya que incluir como colofón los productos denominados por la legislación alimentaria española como *platos preparados*. En concreto, el Código Alimentario Español (CAE, 3.26.01) los define de la siguiente manera: «productos obtenidos por mezcla y condimentación de alimentos animales y vegetales, con o sin adición de otras sustancias autorizadas, contenidas en envases apropiados, herméticamente cerrados, y tratados por el calor u otro procedimiento que asegure su conservación, prestos para ser consumidos después de un simple calentamiento».

Los platos preparados pueden corresponder a tres tipos diferentes de acuerdo con el tratamiento culinario recibido, que determina las manipulaciones necesarias para su adecuado consumo:

- a) *Platos cocinados de consumo inmediato*, cocinados siempre dentro del mismo día de preparación y mantenidos inmediatamente después a temperaturas de 65 °C, o superiores.
- b) *Platos cocinados*, con un tratamiento culinario completo y sometidos a procesos de conservación, en condiciones de ser consumidos cuando convenga, con o sin calentamiento previo.
- c) *Platos precocinados*, que por las manipulaciones recibidas, tanto culinarias como de conservación, pueden ser consumidos cuando convenga, pero siempre después de un proceso culinario adicional.

Hay que destacar la buena aceptación que han tenido los *platos precocinados*, que en la práctica comercial se presentan bajo la forma de congelados. Son fuentes alimenticias que se han introducido con cierta fuerza, tanto en la restauración colectiva como en el mercado destinado al hogar, debido al ahorro de tiempo que supone su presencia en la elaboración de cualquier menú.

El CAE establece el concepto de *plato precocinado congelado* (3.26.09), «productos resultantes de una preparación culinaria no completada, envasados y sometidos a un procedimiento de conservación por el frío. Para su consumo precisan tratamiento doméstico adicional».

Unos elementos se congelan crudos; otros, una vez cocidos de modo parcial, y algunos de modo total. De este modo se consigue que todos los ingredientes pue-

dan adquirir su punto culinario adecuado tras el calentamiento final, normalmente necesario antes de su consumo.

La elaboración industrial de los platos precocinados ultracongelados sigue una sistemática muy parecida a la usada en la cocina del hogar o de una restauración colectiva:

- a) Preparación de ingredientes, una vez que se ha comprobado que responden a las características de calidad establecidas.
- b) Cocinado de acuerdo con la receta del plato elegido.
- c) Disposición del producto de la forma más adecuada para efectuar su congelación.
- d) Paso por el túnel de ultracongelado bajo una condiciones tales, que en menos de quince minutos haya rebasado la zona de máxima cristalización del hielo y se consiga una estabilización térmica por debajo de los -18°C .
- e) Envasado inmediato en bolsas de plástico o en estuches de cartón, preferiblemente de modo automático para evitar contaminaciones.
- f) Almacenado hasta su venta en cámaras a -18°C , de acuerdo con lo exigido por la legislación alimentaria para los alimentos congelados.

Alimentos cómodos

En la práctica, se comercializan bastantes alimentos que aparecen bajo diversas denominaciones genéricas, que vienen determinadas por las modalidades dietéticas de su empleo. Son los denominados alimentos cómodos (*convenience foods* en el mundo anglosajón), que se caracterizan de modo específico por la facilidad de su preparación y consumo, respondiendo a la definición oficial dada en 1983 por la Administración Pública de los Estados Unidos de América: «alimentos, total o parcialmente preparados, que implican un traslado de energía, destreza culinaria y tiempo significativo desde la cocina doméstica a los procesadores y distribuidores comerciales de alimentos».

En la actualidad, este grupo representa un porcentaje muy importante dentro del total de alimentos comercializados en las denominadas grandes superficies, incluyendo alimentos muy diversos: desde unos productos que son totalmente elaborados y sólo necesitan del complemento del microondas para poder ser consumidos, hasta otros elaborados parcialmente, que exigen para su consumo la adición de algún ingrediente (leche, huevos, agua, etc.) antes de proceder a su calentamiento.

Relacionados con los dos grupos anteriores están los denominados *alimentos para llevar* (*take-away foods*). De modo amplio, corresponden a productos muy diversos, que se comercializan ya preparados y empaquetados de modo individual, para ser consumidos de modo inmediato, aunque siempre fuera de sus puntos de venta.

Alimentos con fines o características peculiares

Otros productos novedosos que en un principio tuvieron buena aceptación, corresponden a la categoría de alimentos que se comercializan bajo el calificativo de *saludables* (*health foods*).

Son alimentos que han sido desarrollados como respuesta de la industria alimentaria a una viva preocupación de la sociedad actual, sensibilizada por la repercusión del alimento en su salud. Aparecieron como alimentos adecuados para la elaboración de dietas ajustadas a requisitos dietéticos muy estrictos: exentos de gluten, bajos en sodio, pobre en calorías, etc.

Entre los primeros que fueron comercializados caben destacar los productos elaborados con un menor contenido en sodio, aunque no siempre respondan a las reducidas exigencias para la alimentación de personas hipertensas. Suelen ser alimentos cuya tecnología de elaboración plantea problemas difíciles de resolver, sobre todo en cuanto a su aceptación organoléptica.

También, a comienzos de los años ochenta se registra un gran desarrollo comercial de alimentos con un aporte energético inferior a lo tradicional y que, algunas veces, llevan en su etiquetado la calificación de *producto light*.

En este sentido, pueden citarse diversos tipos que, en sus formulaciones, introducen cambios cuantitativos y cualitativos con el fin de reducir su oferta energética: productos de panadería, bebidas no alcohólicas, caramelos y chicles, derivados lácteos, postres helados, frutas rellenas, salsas mayonesas, sopas, cubiertas, extendedores grasos, etc.

Conviene aclarar que esta cualificación puede significar simplemente que el producto aporta menos calorías que el convencional: se habla de una mermelada *light* por el hecho simple de contener un 50 % de azúcar, en vez del 60 % habitual; de un embutido *light* porque su contenido graso resulta ser del 10 % en lugar del 30 %; etc.

En 1984, Wolkstein propuso en el *75th Annual Meeting de la American OH Chemist's Society*, celebrada en Texas, la designación de *producto CALO* para los alimentos que respondían a las características de ser bajos en calorías y pobres en colesterol. Suelen ser alimentos grasos cuyos componentes no se metabolizan en el organismo o, si lo hacen, proporcionan menos calorías que sus análogos convencionales.

Así, por ejemplo, se incluyen unas pseudograsas elaboradas a base de poliésteres de sacarosa —o de otros azúcares— con ácidos grasos parcialmente metabolizables. Estos poliésteres son considerados como poderosos agentes atenuadores del colesterol sanguíneo, en tanto que sus ácidos grasos de cadena corta ofrecen menor capacidad para originar depósitos grasos en el sistema circulatorio humano.

En años más recientes aparecen los alimentos desarrollados y comercializados bajo el concepto de *alimentos para la salud*, también denominados funcionales, nutracéuticos, de diseño, etc. En general, pueden ser definidos como aquellos alimentos capaces de provocar un impacto positivo sobre la salud de las personas que los consumen, sobre su desarrollo físico o su salud mental, además de contribuir al aporte dietético de nutrientes.

En los momentos actuales, los alimentos que ofrecen beneficios para la salud del consumidor están adquiriendo nuevas dimensiones, extraordinariamente interesantes. Se admite sin discusión la fuerte relación que existe entre los alimentos ingeridos y el estado de salud de la población. Es más, cada vez son más abundantes los datos en favor del papel beneficioso que ofrecen diversos ingredientes alimenticios para la prevención, o para el tratamiento, de enfermedades específicas. Desde los años setenta se viene insistiendo en el impacto positivo de ciertos sus-

tancias, presentes en los alimentos, sobre la salud de las personas e incluso sobre su bienestar físico y mental.

En resumen, como consecuencia de las exigencias formuladas por los consumidores, la industria alimentaria ha reajustado sus estrategias de producción y ha puesto en el mercado unos productos alimenticios que pueden ser agrupados en tres categorías, teniendo como referencia los beneficios saludables que dicen ofrecer:

- a) *Productos sin:* grasa, colesterol, sodio, aditivos, etc.
- b) *Productos con:* minerales, vitaminas, proteínas, bacterias lácticas, etc.
- c) *Productos sustituidos:* edulcorantes artificiales en lugar de sacarosa, grasas vegetales en lugar de grasas animales, etc.

PARTE II



Dalí, Cesta de pan, Florida

LOS COMPONENTES QUÍMICOS MAYORITARIOS DE LOS ALIMENTOS

Estudio bromatológico del agua

- Introducción.
- Propiedades de interés bromatológico vinculadas a la estructura de la molécula del agua.
- Concepto de actividad de agua y sus aplicaciones bromatológicas.
- El fenómeno de histéresis en las isothermas de sorción.
- Relación entre isothermas y temperatura.
- Relación entre retención de agua y composición de los alimentos.
- Incidencia de la actividad de agua sobre la estabilidad del alimento.

Introducción

El agua es el único componente químico de los alimentos que se puede considerar presente en todos ellos. Su ubicuidad en los productos alimenticios es una consecuencia de su carácter indispensable para la vida de los organismos vivos, de los cuales proceden los alimentos: suministra el medio físico ambiental para que se puedan desarrollar las reacciones bioquímicas más esenciales; sirve como medio de transporte para los nutrientes celulares y sus metabolitos de desecho; facilita el transporte de los gases implicados en la respiración celular (CO_2 y O_2); etc.

El conocimiento de su presencia en los alimentos, tanto naturales como procesados o transformados, resulta fundamental para entender las características singulares de los mismos, e incluso los principios aplicables a la tecnología de producción y de conservación. Su cantidad, su forma molecular, su localización dentro del producto alimenticio, son factores que afectan de modo significativo a sus características específicas: apariencia, textura, color, etc. La calidad del agua, evaluada en función de las sustancias químicas que aporta, tiene una influencia trascendental sobre las propiedades de muchos alimentos comerciales, en los cuales toma parte como ingrediente. Sus reacciones químicas y sus interacciones con otras sustancias, pueden ser determinantes de cambios, que resultan muy significativos dentro de la tecnología de elaboración de algunos alimentos.

Así, por ejemplo, ligeras variaciones en el contenido acuoso de un alimento pueden ocasionar importantes modificaciones sobre su textura, e incluso sobre su estabilidad o su aceptación. Dentro de ciertos límites, ligeros cambios en la humedad del alimento pueden ser motivo para que sea más o menos aceptable. Desde siempre se ha sabido que el contenido en humedad de un alimento tiene una marcada influencia sobre su estabilidad y buena conservación, hasta el punto que ha sido un uso frecuente el ajuste del contenido acuoso como una técnica de conservación. Hoy día se conoce que todo ello se debe al comportamiento de esta especie química, omnipresente en cualquier tipo de alimento.

El agua que toma parte en la composición de un alimento puede estar ampliamente distribuida a través del mismo y actuar como sistema disolvente de una gran cantidad de estructuras moleculares específicas: azúcares, sales, ácidos orgánicos, polisacáridos hidrofílicos o incluso proteínas, dando lugar a diversos tipos de sistemas coloidales. Las propiedades que puedan ofrecer tales sistemas dependen en gran parte de las interacciones de esos componentes entre sí, pero a su vez dichas interacciones están subordinadas a las propiedades de hidratación de cada componente individual.

Los efectos de la humedad sobre la textura del alimento puede tener repercusiones diferentes:

- a) Con la masticación del alimento escapa un flujo de fase acuosa libre, cuyas variaciones en cantidad y viscosidad conduce a percepciones diversas que marcan los distintos grados de jugosidad.
- b) Según sus condiciones, se detectan superficies pegajosas, como las de los caramelos.
- c) Cuando el agua interacciona con las macromoléculas responsables de la estructura del alimento, pueden ocurrir modificaciones en las apreciaciones del grado de elasticidad o de la sapidez.

Diversos ejemplos pueden ser traídos a colación:

- En los vegetales y frutas, la textura está estrechamente relacionada con la turgencia, que es función de la presión osmótica dentro de la célula vegetal.
- El contenido acuoso puede ser un índice del grado de maduración de producto vegetal y un criterio de calidad para juzgar acerca de su textura.
- Alimentos como los embutidos cárnicos pueden ser calificados de secos o acuosos, de acuerdo con la cantidad de agua que retienen, variable según la tecnología de elaboración.
- Alimentos cuyo sistema básico es la emulsión, el porcentaje en agua puede resultar crítico y marcar la estabilidad del sistema: las salsas mayonesas resultan inestables y separan sus fases cuando el porcentaje de agua supera el 15%.

Los efectos del contenido acuoso de un alimento sobre su textura se percibe a través de algunos parámetros fisicoquímicos, tales como viscosidad, elasticidad, etc., que pueden ser evaluados mediante técnicas objetivas.

En definitiva, el contenido acuoso de los alimentos, bien sean naturales, procesados o transformados, puede ser determinante de sus normas legales de identidad, aceptabilidad, conservación, calidad, etc.

Hasta el último tercio del siglo xx no ha sido posible explicar el compor-

tamiento de este componente químico, omnipresente en todos los alimentos, después que se consiguió relacionar sus peculiares propiedades con las capacidades de hidratación de otras estructuras moleculares, una vez que ha interactuado con ellas.

El agua en estado de vapor es un monómero en forma de dipolo, donde los enlaces del átomo de oxígeno con los otros dos átomos de hidrógeno forma un ángulo de $104,5^\circ$. Con ello, aparece en la molécula una diferencia de electronegatividades debido al gran poder de atracción que el átomo de O tiene por los electrones de cada átomo de H. En consecuencia, los átomos de hidrógeno desarrollan unas cargas parciales positivas ($d+$), mientras que el átomo de oxígeno presenta una doble carga parcial negativa ($d-$), de tal modo que la distribución final proporciona a la molécula de agua una elevada polaridad (Figura 3.1).

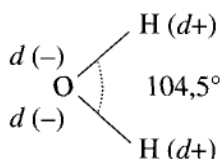


Figura 3.1. Estructura bipolar de la molécula de agua.

Esta naturaleza dipolar de las moléculas de agua permite, a través de estas cargas parciales, que su estructura tenga la capacidad de formar enlaces de hidrógeno con otras moléculas de agua, o con otros componentes de los alimentos, tales como proteínas o carbohidratos. Tales interacciones en las que interviene el agua, influyen en las propiedades Teológicas y texturales de los alimentos.

Los puentes de hidrógeno se producen cuando dos átomos cargados muy electronegativamente (O, N, F, ...) se unen a través de un átomo de hidrógeno. Un puente de hidrógeno no constituye en realidad un enlace químico propiamente dicho, sino solamente una fuerza de unión debida a una atracción electrostática entre dos átomos provenientes de moléculas polares. Comparados con la fuerza del enlace covalente entre el átomo de O y el átomo de H (110 kcal/mol), los puentes de hidrógeno formados entre las moléculas de agua resultan extraordinariamente débiles y por tanto lábiles (4,5 kcal/mol).

Debido a sus cargas parciales, cada molécula de agua tiene dos lugares que actúan como receptores y dos lugares que ejercen como donadores, por lo que las interacciones entre cuatro moléculas de agua pueden originar estructuras tridimensionales de orientación tetraédrica (Fig. 3.2) y desarrollar grandes agregados moleculares.

Se ha comprobado que la estructura del agua líquida resulta extraordinariamente dinámica, puesto que de modo continuo se forman y destruyen puentes de hidrógeno con un promedio de vida de 10^{-12} segundos. Así, por ejemplo, a la temperatura de 0°C cada molécula de agua líquida forma interacciones a través de puentes de hidrógeno con un promedio de 3,6 moléculas de agua.

La diferencia básica entre la estructura física del agua líquida y la del hielo radica en la cantidad de enlaces de hidrógenos existentes y en la estabilidad de los mis-

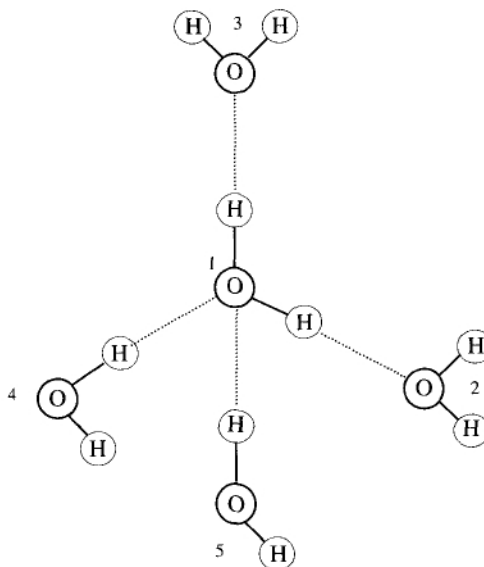


Figura 3.2. Disposición tridimensional de los agregados de agua. Las líneas de puntos representan los enlaces de hidrógenos. Las moléculas 1, 2 y 3 están situadas en un mismo plano, mientras que la molécula 4 se encuentra por detrás del mismo y la molécula 5 por delante.

mos. El número de coordinación y las distancias entre sus átomos moleculares y los vecinos más próximos justifican los cambios de densidad que se observan en el agua, dentro de sus estados sólidos y líquidos.

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a la estructura de la molécula de agua

El agua es, por excelencia, el disolvente universal, y debido a esta propiedad tiene infinidad de aplicaciones. Su carácter de buen disolvente se debe a que posee una constante dieléctrica muy elevada, lo que permite a las moléculas de agua oponerse fuertemente a las fuerzas electrostáticas de atracción entre los iones de carga opuestas. Por ello, la presencia de moléculas de agua favorece la disolución de los electrolitos, como sucede con la sal común, al evitar que se unan los iones Cl^- y Na^+ .

Las propiedades del agua como disolvente no se restringe a una solvatación de las sustancias cristalinas a niveles iónicos; también la dipolaridad de sus moléculas

le permite participar en enlaces de hidrógeno con la mayoría de las moléculas o los grupos funcionales polares. Esta circunstancia le permite disolver moléculas orgánicas no iónicas, siempre que tengan carácter polar, como los azúcares, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, etc.

El agua también actúa como un medio dispersante cuando se trata de las denominadas moléculas *anfipáticas*, que se caracterizan por la presencia de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos en la misma molécula: sales de ácidos grasos, lípidos polares, proteolípidos, glucolípidos, ácidos nucleicos, etc. La aparente *solubilización* de estas moléculas se debe a la asociación de las moléculas de agua con la zona hidrofílica (grupos carboxilo, fosfato, hidroxilo, carbonilo, nitrogenado, etc.). De este modo, estos tipos de compuestos forman en el ambiente acuoso unos agregados macromoleculares que se conocen con el nombre de *micelas*.

La mayor parte de los alimentos están integrados por mezclas de polímeros acuosos bastante complejos, formados por proteínas, hidratos de carbono y lípidos, acompañados por componentes de peso molecular más pequeño. Las propiedades que tales mezclas puedan ofrecer relativas a su conservación, o a su textura, dependen de modo muy estrecho de las interacciones de los componentes entre sí, a su vez vinculadas a las propiedades de hidratación de cada componente individual.

Se puede señalar cómo el peso molecular de los carbohidratos ejerce una gran influencia sobre sus interacciones con el agua, porque tales interacciones no sólo van a depender del número de grupos presentes en la estructura que son factibles de enlazar con el agua (OH, O, CH, CH₂), sino también de la configuración espacial adoptada por las macromoléculas, puesto que esta última marca la pauta para que existan unas zonas hidrófilas y otras hidrófobas.

En general, al hablar del contenido en humedad de un alimento se suele hacer referencia a toda el agua contenida en el mismo de un modo global; sin embargo, no se considera que en la mayoría de los alimentos pueden existir zonas, cuyo carácter hidrofóbico no permite la presencia de moléculas de agua, obligando a que éstas queden distribuidas de modo heterogéneo por todo el producto.

La capacidad de las moléculas de agua para formar grandes agregados moleculares explica los peculiares valores, por lo general elevados, que caracterizan a sus constantes físicas más características:

- Calor específico.
- Calor de fusión.
- Calor de vaporización.
- Tensión superficial.
- Punto de fusión.
- Punto de ebullición (de acuerdo con su estructura química le correspondería hervir a la temperatura de -100 °C, en lugar de los +100 °C reales).
- Constante dieléctrica (anormalmente elevada si se le compara con otros hidruros: NH₃, C₁H, SH₂, CH₄, ...), porque se requiere una energía mayor para romper los innumerables puentes de hidrógeno intermoleculares existentes.
- Viscosidad (el agua en estado líquido se comporta como un monómero).

Las fuerzas de enlace de hidrógeno y la acción de la capilaridad marcan algunas de las peculiares características de la presencia de agua en los alimentos.

Ambos factores son responsables de la posible existencia de capas mono y polimoleculares de agua sobre diversas zonas del alimento, tanto externas como internas.

La presencia de algunas especies químicas puede dar lugar a variaciones en aquellas constantes fisicoquímicas que están relacionadas con las propiedades coligativas, es decir, propiedades que dependen del número de moléculas presentes: elevación del punto de ebullición, reducción del punto de fusión o de la tensión superficial, etc.

El comportamiento de muchos alimentos se encuentra en estrecha relación con las propiedades tan peculiares que presenta la molécula química del agua. Algunas de sus propiedades fisicoquímicas, como calor específico, calor latente de fusión, calor latente de vaporización, conductibilidad térmica y viscosidad, inciden de modo especial en los cambios de estado y la transferencia de energía. De aquí su importancia en muchas operaciones implicadas en la tecnología de alimentos, tales como cocción, esterilización, congelación o deshidratación. Los cambios negativos que pueden aparecer en un proceso térmico se aceleran para temperaturas de trabajo elevadas, pero se ralentizan a medida que se reduce el contenido acuoso.

También, la estabilidad bioquímica de los alimentos dependen de tres propiedades de la molécula de agua:

- a) Capacidad para actuar como disolvente.
- b) Interacción con otros componentes del alimento.
- c) Capacidad de actuar como medio para la difusión de componentes y facilitar las reacciones de tales componentes.

Hay que señalar cómo estas propiedades incluyen la tensión superficial, la viscosidad, el momento dipolar, la constante dieléctrica, etc. La presencia de otros componentes, bien en solución o en suspensión coloidal, imparte al sistema ciertas propiedades coligativas que pueden afectar a otros parámetros fisicoquímicos: unas veces reduciendo su valor, como ocurre con la presión de vapor, la tensión superficial y el punto de congelación; otras veces incrementándolo, como tiene lugar con la viscosidad o el punto de ebullición.

En consecuencia, el agua presente en un alimento no ofrece unas características que puedan considerarse homogéneas y uniformes en todo el alimento. En cambio, se puede distinguir entre sus moléculas, aunque de modo arbitrario o convencional, al menos tres formas diferentes de estar presentes:

- Una cierta cantidad puede encontrarse como agua libre, localizada dentro de los poros del material alimenticio y en los espacios intergranulares. Es un agua que conserva sus propiedades fisicoquímicas a los niveles normales y sirve como agente dispersante para las sustancias coloidales y como disolvente para los componentes que cristalizan.
- Otra parte se encuentra absorbida sobre las superficies macromoleculares de los coloides de almidones, pectinas, celulosa o proteínas, de una manera fuertemente enlazada a ellas mediante enlaces de hidrógeno o por fuerzas de Van der Waals.
- Una última fracción que debe ser considerada como un agua de cristalización, es decir, fuertemente combinada con otros componentes del alimento.

Los intentos para la determinación cuantitativa de cada fracción han fracasado,

pues los valores obtenidos dependen del método experimental aplicado. No obstante, esta distinción entre moléculas de agua libres y moléculas de agua enlazadas permite explicar las diferencias en su disponibilidad para tomar parte en reacciones de tipo químico o para contribuir al desarrollo de una población microbiana.

Concepto de actividad de agua y sus aplicaciones bromatológicas

Para disponer de un criterio valorativo de la disponibilidad del conjunto de moléculas de agua contenidas en un alimento se ha introducido un nuevo concepto, que ha resultado muy eficaz en el campo de la tecnología de alimentos. A raíz de una observación realizada por el microbiólogo Scott en 1953, que relacionó el desarrollo microbiano en las carnes con la humedad relativa de las cámaras donde se almacenaban, se estableció el concepto de *actividad de agua* (a_w). En la práctica viene a significar una medida indirecta del agua que hay disponible en un determinado alimento para intervenir en posibles reacciones químicas, bioquímicas o microbiológicas.

La obtención de las curvas isotermas de sorción han resultado una manera muy útil de enfocar el estudio de la hidratación de los alimentos sólidos. Una isoterma de sorción es una curva que describe, para una temperatura dada, la relación de equilibrio entre la cantidad de agua absorbida por los componentes del alimento y la presión de vapor o humedad relativa. Para los rangos de baja humedad, la isoterma resulta cóncava en relación con el eje de abscisa; tiene un punto de inflexión en el rango intermedio, con un desarrollo casi lineal; y se vuelve cóncava en relación con el eje de ordenadas, para humedades elevadas.

Su aplicación se basa en un hecho esencial: para una temperatura dada, el agua tiene siempre la misma presión de vapor. Pero la interacción de las moléculas de agua con los compuestos solutos, sean o no electrolitos, origina siempre una disminución de la presión de vapor del agua y una alteración de sus propiedades coligativas. La influencia de los solutos sobre el comportamiento del agua ha sido ampliamente investigado. Cuando las moléculas de agua pierden su libertad de acción al quedar enlazadas a otros componentes del alimento, se reduce el valor de la presión de vapor de esas moléculas.

Esta pérdida de libertad, o de disponibilidad, es lo que se mide a través del concepto de *actividad de agua*. En un sistema alimentario, la actividad de agua está íntimamente relacionada a la humedad relativa del espacio fisicoquímico que rodea al alimento. La humedad relativa hace referencia a la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen específico de aire, comparado con la cantidad máxima de vapor de agua alcanzado por un aire enfriado a una temperatura específica. En realidad, la actividad de agua es igual al valor alcanzado por la humedad relativa de equilibrio del alimento, punto en el que no se gana ni se pierde agua.

La *actividad de agua* (a_w) se ha definido como el cociente entre la presión parcial de vapor de agua contenida en el alimento (P_a) y la presión parcial de vapor del

agua pura (P_o) a una temperatura determinada. En sentido estricto, la definición correcta desde un punto de vista termodinámico sería considerarla como la relación entre la presión de vapor del agua en equilibrio con la solución (P_{equi}) frente a la presión de vapor del agua pura (P_o), a la misma temperatura y presión que la solución. Si además se tiene en cuenta por la ley de Raoult que dicha relación depende del número de moles de soluto (n_1) y de solvente (n_2) se puede escribir.

$$a_w = \frac{P_a}{P_o} = \frac{P_{equi}}{P_o} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

Puede observarse cómo este parámetro viene dado por una relación entre dos magnitudes semejantes y por tanto está representada por un número sin dimensiones. Por consiguiente, esta medida sólo tendrá sentido práctico cuando se le relacione con una situación patrón, que en este caso es la del agua pura, cuya presión de vapor se fija por conveniencia en la unidad. Por consiguiente, la actividad representada por el agua contenida en un alimento siempre será igual, o inferior, a uno.

Esta pérdida de disponibilidad se puede interpretar como una consecuencia de la inmovilización parcial que los componentes químicos del alimento ejercen sobre las moléculas de agua. Esta situación provoca una reducción tanto en su capacidad de vaporizarse como en su reactividad química. La mayor parte de las especies químicas rebajan la actividad del agua, hasta el punto que esta magnitud llega a ser una función de la cantidad de sustancias disueltas y de la estructura química del soluto.

En consecuencia, el tipo de influencia observada va a depender de las sustancias presentes: así, electrolitos como los cationes Na^+ o K^+ suelen estar hidratados en solución y, de este modo, reducen el número de enlaces de hidrógeno que pueda haber entre las moléculas de agua y otros componentes del alimento; sustancias como los carbohidratos o los grupos polares de las proteínas también tienen tendencia a fijar moléculas de agua. De este modo, se modifican de modo muy profundo las propiedades del agua, según la composición química del alimento.

Para una temperatura dada, y siempre en estado de equilibrio, se puede representar de modo gráfico la relación entre el contenido acuoso de un alimento (expresado en g de agua por g de materia seca) y la actividad de agua o contenido de humedad en equilibrio (Fig. 3.3). Esta relación entre el agua adsorbida por un alimento frente a la humedad relativa del medio que le rodea a una temperatura determinada se describe como una isoterma y en ella cabe distinguir tres zonas perfectamente diferenciadas: las zonas A, B y C, que corresponden a los diferentes tipos de interacciones entre las moléculas de agua y los demás componentes. Los límites entre ellas dependen de la naturaleza del alimento.

La zona A responde a las actividades comprendidas entre 0 y 0,2. En esta zona se encuentra el agua que forma una capa monomolecular, que se desarrolla cuando una fracción del agua presente interacciona directamente con las superficies polares que existen en el alimento, como pueden ser los grupos ionizados de proteínas, carboxilos y aminos, así como los grupos hidroxilos de los almidones.

Este tipo de agua enlazada, suele representar entre un 3 y un 5 % del contenido acuoso y es muy difícil de separar en los procesos térmicos comerciales de secado; solamente se elimina en algunos casos durante la deshidratación, pero nunca congela. En esta zona se produce con cierta facilidad la oxidación de los lípidos; por el contrario la naturaleza de estas moléculas acuosas no resulta útil para otros tipos de funciones: disolvente, difusión, participación en reacciones, etc.

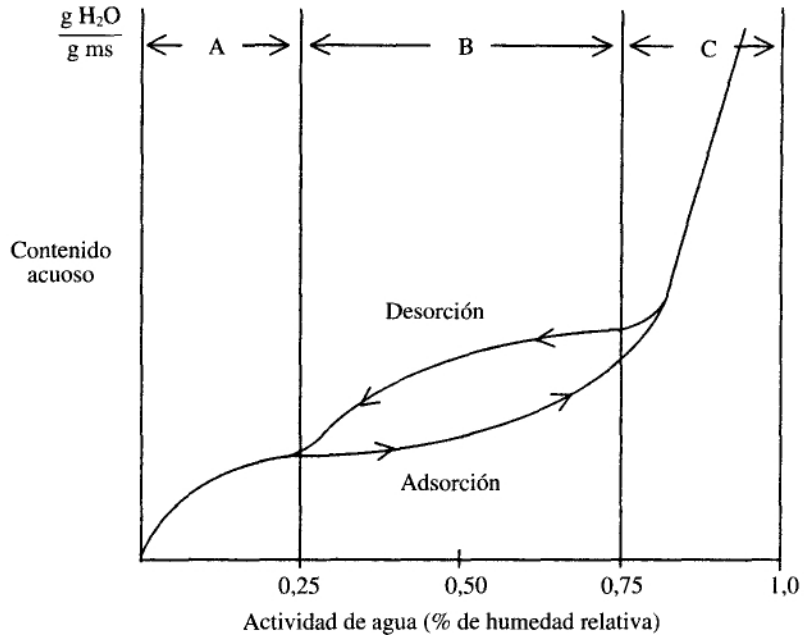


Figura 3.3. Isotermas de adsorción y desorción para un alimento.

En la zona C el agua del alimento presenta actividades bastante próximas a la del agua pura. Es la más abundante en la mayoría de los alimentos y está disponible para cualquier tipo de reacción o para el desarrollo microbiano. Se elimina con facilidad por calentamiento, quedando situada su actividad en valores muy próximos a 0,8, con ligeras variaciones según la naturaleza del alimento. Es un agua libre, condensada en los poros y capilares del alimento, que forma parte de soluciones que llevan disueltas sales, azúcares y otras sustancias de bajo peso molecular. Para que la actividad del alimento se modifique ligeramente hace falta cambios notables en su contenido acuoso.

Sin embargo, la zona intermedia B es la más interesante: corresponde a multicapas de agua y presenta unas características muy particulares. Es una zona en la que un pequeño cambio en el contenido acuoso se traduce en grandes variaciones de los valores de su actividad. En esta zona la isoterma adopta configuraciones diversas de acuerdo con las propiedades y naturaleza higroscópica del alimento en particular.

El fenómeno de histéresis en las isotermas de sorción

Como se aprecia en la Figura 3.3, muy raras veces las isotermas de un proceso de hidratación (fenómenos de adsorción) coinciden en su representación gráfica con

las isothermas de los procesos de desecación (fenómenos de desorción). Esto significa que uno y otro proceso siguen caminos diferentes en los alimentos. Es decir, en esta zona de la isoterma, ambos procesos no son reversibles y a este fenómeno tan particular se le conoce con el nombre de *histéresis*, debido a su comportamiento *no lógico*. Estas curvas de histéresis pueden variar ampliamente para los diversos alimentos y, a menudo, alimentos idénticos pueden presentar patrones de isothermas diferentes cuando cambia la temperatura. Esta diversidad puede ser interpretada como una consecuencia de la variabilidad que acompaña a la concentración de los componentes químicos del alimento, así como a la incidencia de algunos cambios producidos en los factores de porosidad capilar, que caracterizan a cada alimento.

Como consecuencia de estos fenómenos de histéresis puede ocurrir que para un mismo contenido acuoso del alimento, su actividad de agua sea muy diferente, según se esté considerando la hidratación del producto o la desecación del mismo, pues en la zona intermedia de actividades las isothermas siguen caminos diferentes. De aquí su importancia en la repercusión de la tecnología de alimentos, donde este fenómeno alcanza un gran interés de tipo práctico. Así, una vez conocidas las isothermas que caracterizan los procesos de hidratación y desecación para la elaboración de un alimento concreto, es posible hacer predicciones acerca de su comportamiento, tanto en el tratamiento tecnológico como en su conservación (Fig. 3.4).

Cuando un alimento se ha deshidratado hasta un contenido acuoso de H_0 , su situación en la isoterma corresponde al punto A_1 , con una actividad de agua a_{w1} . Si

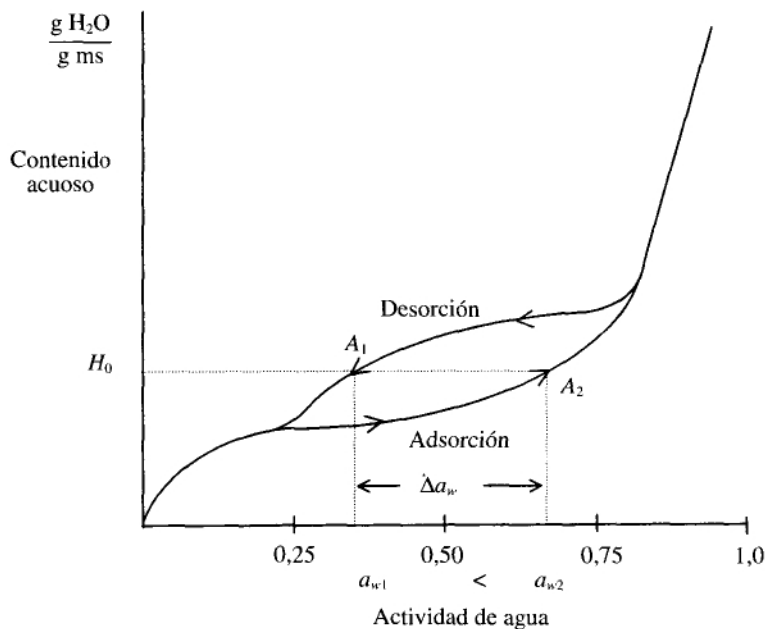


Figura 3.4. Predicción del comportamiento de un alimento en función de sus procesos de hidratación y desecación.

por diferentes causas pierde agua, como puede ocurrir en un mal almacenamiento o un control incorrecto de su proceso de desecación, al hidratarlo de nuevo para que alcance el contenido acuoso adecuado para su comercialización (H_0), en este caso su situación sobre la isoterma corresponde al punto A_2 , que tiene una actividad de agua, a_{w2} , que resulta mayor que la del punto A_1 . Por consiguiente, debido al fenómeno de la histéresis, un alimento que ha tenido que ser rehidratado después de una desecación, contiene para un mismo nivel acuoso una disponibilidad de ese agua bastante superior, que implica graves inconvenientes porque significa una mayor facilidad para que se pueda alterar.

Relación entre isotermas y temperatura

Como las curvas isotermas son un fiel reflejo de la higroscopicidad del producto, conocer las que corresponden a varias temperaturas pueden ser de gran utilidad para prever la influencia de las variaciones de temperatura durante el almacenamiento de los alimentos no envasados (Fig. 3.5). Los calentamientos bruscos ($T+t$) provocarán deshidratación y expulsión de agua, mientras que los enfriamientos ($T-t$) darán lugar a una absorción de la humedad del aire por parte del alimento para mantener el mismo valor de a_w .

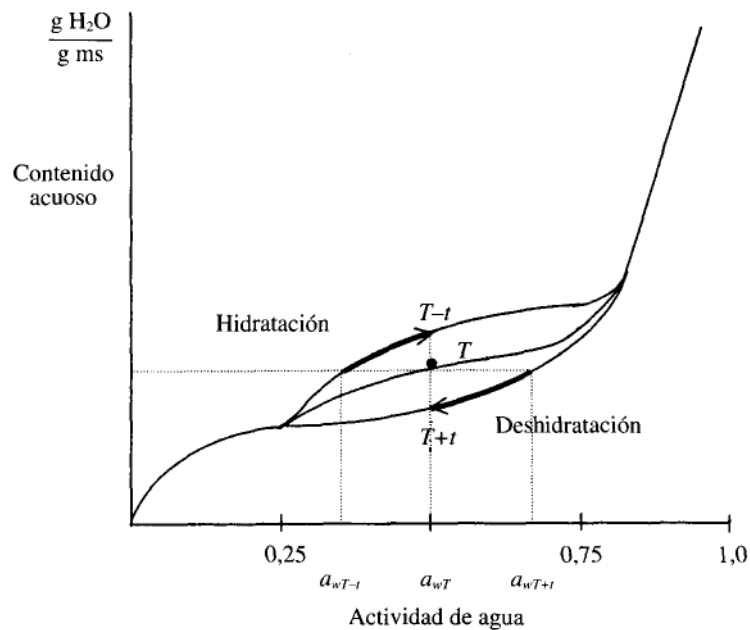


Figura 3.5. Isotermas de sorción de un alimento en función de la temperatura.

Relación entre retención de agua y composición de los alimentos

Tanto el recorrido de las isotermas de hidratación y desecación, como la fijación de agua en los alimentos varían de modo considerable en función del comportamiento de los distintos componentes químicos frente a las moléculas de agua. Así, por ejemplo, en las zonas inferiores de las isotermas las proteínas y los almidones retienen el agua con más fuerza que los lípidos y los azúcares cristalizados. Las frutas ricas en azúcares son particularmente higroscópicas en estado deshidratado, pero solamente por encima de una cierta actividad de agua.

La retención de agua es un proceso notablemente influido por el estado físico, cristalino o amorfo, bajo el que se encuentran las redes moleculares, que por otra parte va a depender de los tratamientos tecnológicos a los que se someten los alimentos: operaciones de deshidratación, liofilización, etc. Así, el pretratamiento que suelen recibir los almidones modificados influye de modo intenso en la adsorción de agua, pues el fenómeno de gelatinización transforma la red cristalina, que en estado amorfo suele ser bastante impermeable al agua.

También los cambios de pH y la fuerza iónica pueden modificar la retención de moléculas de agua en los alimentos proteicos. Las interacciones electrostáticas entre las cadenas de las proteínas permiten la formación de geles hinchados acuosos. Pero cuando se modifican estos puntos de enlaces, el agua retenida resulta expulsada y acaba por evaporarse. Este fenómeno tiene particular relevancia cuando se alcanza el pH correspondiente al punto isoeléctrico de las proteínas.

Los azúcares también pueden ser responsables de alteraciones tecnológicas en la textura de los alimentos, porque el paso de las formas amorfas, generalmente higroscópicas, a las formas cristalinas da lugar a una situación con menor capacidad de enlazar agua. En estos casos, el agua expulsada puede ser fijada por otros componentes, dando lugar a problemas de conservación difíciles de solucionar, ya que suelen formar una masa pegajosa poco soluble, como ocurre con los cafés deshidratados, los zumos de naranja pulverizados, la leche en polvo, etc.

El proceso de transformación cristalina puede ocupar periodos de tiempo variables, cuya duración dependerá de dos factores: la temperatura y el equilibrio con la humedad ambiental. Así, para un 16 % de humedad relativa, la conversión de la sacarosa amorfa puede durar unos 380 días, mientras que se reduce hasta 17 días cuando la humedad relativa se sitúa en el 28 %.

En relación con su contenido acuoso, los alimentos que se manejan pueden corresponder a tres tipos con características y consecuencias bien diferentes:

- a) Alimentos con un contenido acuoso superior al 40 %. Pueden ser tanto naturales como transformados.
- b) Alimentos cuyos contenidos en humedad son bastante bajos. En su mayor parte son industriales y sólo unos pocos naturales.
- c) Alimentos en los que sus contenidos acuosos oscilan entre 10 y 40 % y que de modo convencional son considerados como alimentos de humedades intermedias. A este grupo corresponden los quesos de masa dura, los frutos secos, algunos derivados cárnicos, productos de pastelerías, etc. En la práctica se fabrican pocos alimentos con humedades intermedias por la difícil-

tad que entraña su estabilidad, que depende más de la disponibilidad de su agua que de su nivel acuoso.

A pesar de mostrar tales inconvenientes, los productos de humedad intermedia ofrecen ciertas ventajas: no producen sed en el consumidor ni exigen una especial tecnología para su conservación, como ocurre con los de elevado contenido acuoso. Por ello, para que puedan ser comercializados sin problemas se acude a la práctica de una buena solución: emplear sustancias humectantes, es decir, moléculas poseedoras de numerosos grupos hidroxilos capaces de fijar gran parte del agua, para limitar la disponibilidad de la misma. Suelen ser sustancias con estructuras de polialcoholes, como glicol o glicerina, que están desprovistas de sabor propio y son solubles en agua, o al menos mezclables con ella.

Incidencia de la actividad de agua sobre la estabilidad del alimento

En la práctica, los valores de la actividad de agua afectan con fuerza a la tendencia de un alimento a sufrir alteraciones de origen microbiano, enzimático o químico. Los niveles de a_w que contribuyen a la alteración del alimento varían de acuerdo con el tipo de alimento, la concentración de solutos, temperatura, pH, presencia de aditivos humectantes y otros muchos factores.

Se ha observado que los alimentos desecados, cuyo contenido acuoso se sitúa entre el 5 y el 10 %, tienen actividades de agua situadas en la zona más bajas de las isotermas, que se suponen corresponden al agua enlazada como monocapas y multicapas. En este rango de actividades ($< 0,2$), los alimentos requieren un mínimo de procesado o de conservación para ofrecer una buena estabilidad durante su conservación.

Sin embargo, dentro de esta zona de muy baja a_w , se puede presentar la oxidación de lípidos, conocida como enranciamiento de las grasas. Se trata de una alteración que se comporta de modo diferente según sean los valores de la disponibilidad para las moléculas de agua, como se ha podido comprobar en la estabilidad de cereales y derivados:

- Cuando los valores de la actividad son muy débiles, el agua presente en las interfases lipídicas queda fijada a los peróxidos formados mediante enlaces de hidrógeno, por lo que se retrasa la actividad y descomposición de estos compuestos.
- En cambio, la acción de las moléculas de agua sobre los radicales libres comienza cuando la a_w alcanza valores de 0,5, momento en el que facilita la reacción entre ellos, que al ser muy reactivos reducen su número.
- También dentro de esta zona de a_w , las moléculas de agua pueden ejercer una acción frente a los vestigios de metales catalizadores de la oxidación, aunque de acuerdo con dos mecanismos posibles diferentes:
 - Una hidratación del metal con reducción de su actividad catalítica.
 - La formación de un hidróxido soluble, que desaparece de la fase de reacción.

Como consecuencia de todo ello, los valores bajos de actividad de agua manifiestan una cierta acción antioxidante del agua, capaz de reducir la velocidad de enranciamiento, pero para valores superiores a 0,5 la reacción comienza de nuevo a ser acelerada y la alteración puede alcanzar toda su magnitud.

En esta zona, además de la oxidación de los lípidos puede ocurrir el pardeamiento no enzimático o las alteraciones debidas a la acción de enzimas. El primero tiene lugar entre grupos aminos y grupos carbonilos, con una velocidad que aumenta de modo rápido con la a_w y alcanza sus valores máximos entre 0,5 y 0,7. Sin embargo, por encima de este nivel la reacción se hace cada vez más lenta, sin que se le haya encontrado una clara explicación.

Igualmente, la a_w tiene su efecto positivo sobre la actividad de los enzimas presentes, de tal modo que la mayor parte de las reacciones enzimáticas están condicionadas por la actividad de agua. En diversos casos de hidrólisis, la actividad enzimática ya comienza a manifestarse por encima de 0,1 y se incrementa de modo considerable cuando la actividad alcanza el valor de 0,7. Parece que el agua resulta necesaria porque además de disolvente, el agua actúa como medio de difusión para las sustancias reaccionantes.

Por último, los alimentos cuya actividad de agua queda por encima de 0,65 reúnen las condiciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos, aunque en la zona entre 0,65 y 0,75 sólo crecen los microorganismos halófilos y osmófilos.

En la práctica el comportamiento de cada tipo de microorganismo frente a la actividad de agua presenta variaciones, que dependen de las condiciones ambientales en las que se encuentre.

La desecación de un alimento suele realizarse con la finalidad de aumentar su conservación al reducir la disponibilidad de sus moléculas de agua. Con ello, se limita la probabilidad de que las bacterias puedan desarrollarse y crecer, porque para poder vivir necesitan de agua disponible, es decir, de a_w elevadas.

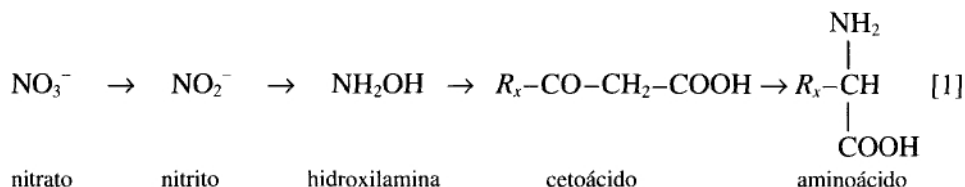
Estudio bromatológico de las proteínas

- Introducción.
- Reactividad de la molécula proteica.
- Clasificación de las proteínas.
- Tipos de proteínas presentes en los alimentos.
- Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los aminoácidos.
- Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los péptidos.
- Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de las proteínas.
- Modificaciones en las estructuras proteicas con aplicaciones de interés bromatológico.

Introducción

Las proteínas forman parte de la composición química de casi todos los alimentos, aunque en la mayoría de ellos se encuentren en proporciones reducidas. Las tres funciones esenciales de la materia viva (nutrición, crecimiento y reproducción) están vinculadas a las moléculas proteicas y a las estructuras que las integran: péptidos y aminoácidos. Su carácter de componente indispensable para la materia viviente, convierte en fundamental su presencia en la dieta del ser humano porque, al igual que los animales superiores, necesita de unas fuentes de aminoácidos con las que elaborar sus propias proteínas y esas fuentes han de proceder de las proteínas suministradas por la dieta.

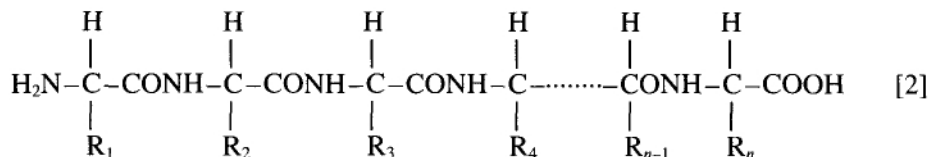
Sin embargo, no ocurre lo mismo con los vegetales, que tienen la capacidad de sintetizar los aminoácidos a partir de los nitratos, dentro de los procesos de fotosíntesis [1], donde R_x representa una estructura alifática o aromática, lineal o ramificada, más o menos compleja, que incorpora funciones orgánicas de diverso tipo (alcohol, amina, tiol, tioéter, etc.), responsables de las propiedades biológicas específicas de cada aminoácido:



Bajo determinadas condiciones, dos aminoácidos pueden reaccionar entre sí para dar lugar a un enlace péptido (-CONH-) a través del grupo carboxílico de uno con el grupo alfa amino del otro y de este modo se forma un dipéptido. Asimismo se pueden unir varios aminoácidos para dar lugar a compuestos que se conocen bajo diversas denominaciones según la cantidad de aminoácidos que intervienen en sus estructuras: oligopéptidos (hasta unos 20 aminoácidos), polipéptidos (de 20 hasta 100 aminoácidos) o proteínas (varias centenas).

Los enzimas digestivos degradan las proteínas ingeridas con la dieta alimenticia y separan, en primer lugar, grandes polipéptidos, que para ser absorbidos por la mucosa intestinal necesitan ser hidrolizados de modo progresivo hasta tripéptidos, dipéptidos y aminoácidos individuales.

En definitiva, desde un punto de vista químico, las proteínas son polímeros de elevado peso molecular, formados por cadenas, más o menos largas, de alfa-aminoácidos unidos a través de enlaces peptídicos (-CONH-) en las más variadas secuencias y proporciones, quedando fuera de la cadena los grupos R_x , que son los restos de sus estructuras orgánicas, variables para cada aminoácido ($R_1, \dots, R_n$). Un esquema representativo de una cadena polipéptida puede ser el indicado en [2].



En los productos naturales se pueden reconocer hasta 22 estructuras aminoácidas diferentes, que dan lugar a una gran variedad de proteínas posibles, cada una con sus singulares características.

El enlace peptídico participa del carácter de doble enlace, debido a la resonancia entre el átomo de oxígeno y el de nitrógeno, y por ello resulta plano con disposición trans. De este modo, sólo permite dos rotaciones libres en torno a los ejes de los enlaces C-N y C-C. En cada proteína específica, las cadenas polipeptídicas se plegan, adoptando dos tipos de estructuras secundarias: helicoidal (alfa) y hoja plegada (beta). Con ello consigue una disposición tridimensional definida, que es necesaria para ejercer sus actividades y funciones específicas.

Cada proteína está bioquímicamente caracterizada por cuatro categorías estructurales:

- Estructura primaria: orden secuencial de los aminoácidos en las cadenas polipéptidas.
- Estructura secundaria: plegamientos de segmentos de estructura primaria, estabilizados por enlaces de hidrógeno.
- Estructura terciaria: disposición espacial de las estructuras secundarias, for-

mando una molécula más o menos compacta, que se estabiliza a través de enlaces disulfuro y de otras fuerzas no covalentes (enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, enlaces hidrofóbicos, interacciones electrostáticas, etc.)-

- Estructura cuaternaria: agregación de «subunidades» de estructuras secundarias y terciarias para formar unidades oligoméricas.

En consecuencia, la molécula proteica queda bien definida y caracterizada por varios factores que determina su estructura espacial de la cual depende su fisicoquímica molecular, responsable de la mayoría de sus propiedades:

- composición aminoacídica;
- secuencia primaria y conformación, que da lugar a la forma y tamaño molecular;
- distribución de cargas;
- enlaces intra e intermolecular, etc.

Con referencia a la estructura de una proteína cabe distinguir dos conceptos:

- La *configuración* u ordenación en el espacio de los grupos sustituyentes en un estereoisómero, cuya estructura sólo puede ser modificada por ruptura de enlaces covalentes.
- La *conformación*, también referida a la ordenación espacial de grupos sustituyentes, pero que resultan ser libres para adoptar diferentes posiciones, sin que por ello se rompan enlaces covalentes. No obstante, en condiciones normales de pH y temperatura, cada proteína presenta prácticamente un solo tipo de conformación, que determina sus propiedades.

El resto molecular (grupo R_x) de cada aminoácido que no toma parte en el enlace péptido, aporta sus características particulares cuando, al plegarse las cadenas, tales restos son responsables de la formación de diversas zonas específicas, unas hidrófilas y otras hidrófobas.

Cada uno de estos grupos R_x , se pueden clasificar de acuerdo con su polaridad:

- a) No polares: alanina, valina, leucina, isoleucina, prolina, fenilalanina, triptófano y metionina (Tabla 4.1).
- b) Polares, neutros: glicina, serina, treonina, cisteína, tirosina, asparragina y glutamina (Tabla 4.2).
- c) Polares, con carga positiva: Usina, arginina e histidina (Tabla 4.3).
- d) Polares con carga negativa: aspártico y glutámico (Tabla 4.4).

Los grupos R_x no polares de los aminoácidos suelen orientarse hacia el interior de la molécula proteica. Se sabe que el plegamiento terciario de la conformación proteica está determinado por interacciones hidrofóbicas entre estas estructuras no polares, posiblemente por la formación de un núcleo hidrofóbico dentro de la molécula proteica. Una excepción dentro de este grupo lo constituye la metionina que, por el átomo azufrado de su función tioéter, posee una mayor capacidad de orientación y aporta cierta flexibilidad a la cadena.

Tabla 4.1
Relación de aminoácidos no polares

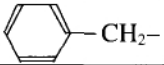
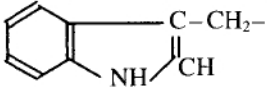
Aminoácido	N.º de átomos de C	Fórmula de R_x
Alanina (Ala) Pm: 89	3	H_3C-
Valina (Val) Pm: 117	5	$\begin{array}{c} H_3C \\ \diagup \\ H_3C-CH- \end{array}$
Leucina (Leu) PM: 131	6	$\begin{array}{c} H_3C \\ \diagup \\ H_3C-CH-CH_2- \end{array}$
Isoleucina (Ile) Pm: 131	6	$\begin{array}{c} H_3C-CH_2 \\ \diagup \\ H_3C-CH- \end{array}$
Prolina (Pro) Pm: 115	5	$\begin{array}{c} H_2C-CH_2 \\ \quad \\ H_2C-CH- \\ \\ N \\ \\ H \end{array}$
Fenilalanina (Phe) Pm: 165	9	
Triptófano (Trp) Pm: 204	11	
Metionina (Met) Pm: 149	5	$H_3C-S-CH_2-CH_2-$

Tabla 4.2
Relación de aminoácidos polares, sin carga

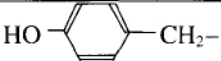
Aminoácido	N.º de átomos de C	Fórmula de R_x
Glicina (Gly) Pm: 75	1	$H-$
Serina (Ser) Pm: 105	3	$HO-CH_2-$
Treonina (Thr) Pm: 119	4	$\begin{array}{c} H_3C-CH- \\ \\ OH \end{array}$
Cisteína (Cys) Pm: 121	3	$HS-H_2C-$
Tirosina (Tyr) Pm: 181	9	
Asparagina (Asn) Pm: 132	4	$\begin{array}{c} H_2N \\ \diagdown \\ O=C-CH_2- \end{array}$
Glutamina (Gln) Pm: 146	5	$\begin{array}{c} H_2N \\ \diagdown \\ O=C-CH_2-CH_2- \end{array}$

Tabla 4.3
Relación de aminoácidos polares, con cargas positivas

Aminoácido	N.º de átomos de C	Fórmula de R_x
Lisina (Lys) Pm: 146	6	$H_2N-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-$
Arginina (Arg) Pm: 174	6	$H_2N-C-NH-CH_2-CH_2-CH_2-$ $\parallel$ NH_2
Histidina (His) Pm: 155	6	$H-C=C-CH_2$ $\mid \quad \mid$ $N \quad NH$ $\diagup \quad \diagdown$ C $\mid$ H

Tabla 4.4
Relación de aminoácidos polares, con negativas

Aminoácido	N.º de átomos de C	Fórmula de R_x
Ácido aspártico (Asp) Pm: 133	4	$-O-C-CH_2-$ $\parallel$ O
Ácido glutámico (Glu) Pm: 147	5	$-O-C-CH_2-CH_2-$ $\parallel$ O

El aminoácido más simple es la glicina, cuyo grupo R_x está constituido solamente por un H . Se puede considerar como un aminoácido excepcional que algunas veces es conceptuado como no polar, porque su grupo R_x resulta demasiado pequeño para que pueda influir en la acusada polaridad de los grupos alfa-carboxilos y alfa-aminos. Como no presenta asimetría en el carbono alfa, no ofrece obstáculos para que adopte ángulos diédricos poco usuales, que facilitan el plegamiento de la cadena polipeptídica.

En realidad, el grupo no polar más pequeño lo aporta la alanina, limitado a un grupo metilo ($-CH_3$), sin preferencias para ocupar un lugar en las zonas internas o externas de la conformación proteica. A pesar de que la glicina sea más fácil de sintetizar, el papel de aminoácido proteico más abundante corresponde a la alanina, tal vez por razones de tipo práctico: una gran proporción de glicina daría demasiada flexibilidad a la cadena.

Los aminoácidos con grupos R_x ramificados (como ocurre con la valina, leucina e isoleucina), aportan una mayor rigidez a la cadena porque sólo permiten una flexibilidad bastante limitada, de modo especial el primero de ellos.

Los grupos polares neutros podemos encontrarlos orientados hacia todos los

espacios moleculares, tanto internos como externos. Son grupos que participan en los enlaces de hidrógeno que intervienen en la formación de las estructuras de alfa-hélice y de beta-hoja plegada. Un caso especial corresponde a la cisterna, motivado por su capacidad de oxidarse a cistina y formar puentes disulfuro cruzados entre dos de sus moléculas, aunque estén localizadas en partes lejanas de la cadena polipéptida.

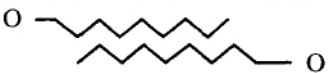
Los grupos R_x con cargas se encuentran, por lo general, localizados en la superficie molecular, desde donde enaltecen las interacciones electrostáticas y participan en el desarrollo de una doble e importante función: la estabilización de las proteínas globulares y la capacidad de enlazar agua.

Algunos aminoácidos, como histidina, triptófano y tirosina, tienen grupos R_x formados por anillos aromáticos unidos a la cadena principal mediante un grupo metilénico, que en estos casos corresponde al lugar del C-beta. Esta circunstancia resulta muy importante, porque de este modo la flexibilidad sólo queda parcialmente restringida. Si el anillo estuviera enlazado directamente al carbono-alfa aparecería un gran impedimento estérico, que proporcionaría una enorme rigidez a la cadena. Realmente, esto es lo que ocurre con el aminoácido no polar prolina.

Las cadenas polipeptídicas que forman la estructura molecular de una proteína se encuentran estabilizadas por una serie de interacciones, que les proporcionan la disposición espacial específica y les permite ofrecer unas propiedades características. Estas interacciones pueden ser de cuatro tipos y en ellas intervienen grupos como los indicados en la Tabla 4.5: interacción electrostática, enlace de hidrógeno, interacción hidrofóbica y enlace covalente.

Las interacciones electrostáticas, que pueden ser atractivas o repulsivas, según la naturaleza de los iones que intervienen, se dan entre los grupos de las cadenas laterales que disponen de cargas y se rigen por la ley de Coulomb, dependiendo de la constante dieléctrica del medio. Su presencia influye menos en el plegamiento polipéptido que las interacciones ion-dipolo entre los grupos cargados y las moléculas de agua. Todos los enlaces de hidrógeno suelen ser lineales, porque de este modo pueden asumir la energía potencial más baja. Los puentes de hidrógeno suelen presentar una energía intermedia entre las interacciones electrostáticas y los

Tabla 4.5
Tipos de enlace que intervienen en la estabilización
de la estructura molecular proteica

Interacción electrostática	$-\text{COO}^-$ NH_3^+	Puente salino Dipolo-dipolo Ion-dipolo
Enlace de hidrógeno	$ \begin{array}{c} \text{---C=O} \dots \text{H-N} \diagdown \\ \diagup \text{N-H} \dots \text{OH} \text{---} \\ \text{---OH} \dots \text{O=C} \diagup \end{array} $	Carbonilo-amida Amida-hidroxilo Hidroxilo-carbonilo
Interacción hidrofóbica		Grupos apolares
Enlace covalente	$-\text{S}-\text{S}-$	Puente disulfuro

enlaces covalentes. Entre las fuerzas más importantes en la estabilización de las moléculas proteicas caben destacar las interacciones hidrofóbicas. Junto a todas estas fuerzas no covalentes, intervienen otras covalentes: los puentes disulfuro, que son los responsables de la formación de bucles intracatenarios.

Reactividad de la molécula proteica

Como consecuencia de su conformación, las proteínas ofrecen muchas posibilidades para reaccionar con los más diversos tipos de moléculas presentes en los alimentos: azúcares reductores, lípidos, polifenoles, etc. En consecuencia, presentan una gran diversidad de propiedades, que son muy apreciadas en la tecnología de los alimentos, aunque bajo ciertas condiciones puedan resultar negativas desde los puntos de vista nutritivo, sensorial o sanitario.

Caben señalar diversos tipos de factores que determinan o influyen en estas propiedades:

- a) Intrínsecos a la molécula proteica: la composición aminoacídica; la conformación, tamaño y forma; la topografía superficial, sobre todo la relación polaridad / hidrofobicidad.
- b) Vinculados al medio ambiente: la concentración iónica; las especies iónicas y su relación anión / catión; el pH del medio.
- c) Derivados de las operaciones tecnológicas: el tratamiento térmico; la concentración salina; los agentes oxidorreductores; la desecación; las modificaciones físicas o químicas.

La compleja y sutil conformación de la molécula proteica hace que ofrezca en su parte superficial grupos reactivos que le proporcionan una extremada labilidad. Por esta razón, resultan muy sensibles a la acción de diversos tipos de agentes, físicos o químicos, tales como calor, agitación violenta, sales, ácidos, álcalis, etc., cuyos efectos redundan en modificaciones de la disposición espacial. Entre sus consecuencias cabe destacar el fenómeno denominado desnaturalización proteica, caracterizado por una desorganización del orden espacial propio de la estructura proteica en su estado natural.

En el nuevo estado desnaturalizado, las proteínas modifican algunas de sus propiedades y cuando se encuentran en disolución pueden llegar a precipitar. Otros cambios estructurales más drásticos, como los ocasionados por las enzimas, conducen a degradaciones que dan lugar a especies químicas de peso molecular más reducidos: peptonas, polipéptidos, péptidos simples y aminoácidos.

Clasificación de las proteínas

La presencia de estos grupos reactivos superficiales hacen de las proteínas unos compuestos extremadamente lábiles y muy sensibles a la acción del calor, de los ácidos, de los álcalis o de los disolventes orgánicos. De ahí que los métodos de

separación y de purificación que se aplican, tanto para el análisis como para la obtención de compuestos para ser empleados en la tecnología alimentaria, deban ser especialmente adecuados para cada caso.

Por lo general, las proteínas se extraen con determinados disolventes para precipitarlas después bajo unas condiciones normalizadas. Tal es el caso típico de los aislados proteicos de soja. A pesar de las dificultades que plantea aislar una proteína del medio biológico en que se encuentra sin que se altere de algún modo su molécula, se ha podido estudiar un gran número de proteínas contenidas en los alimentos.

Dentro de un estudio sistemático de las proteínas contenidas en los productos naturales, se han llevado a cabo muchos intentos de clasificación de las mismas, aunque ninguno puede ser considerado como enteramente satisfactorio, porque no responden a una verdadera descripción de sus analogías. Así desde un punto de vista de la estructura se suele hablar de proteínas fibrosas y proteínas globulares. No obstante, no deja de ser más que un artificio basado en la concepción bastante simple de moléculas esféricas y moléculas alargadas, pero se ha demostrado que una misma proteína puede adoptar tanto una forma como otra.

Se admite que todas las proteínas organizadas bajo formas globulares contienen regiones localmente compactas, que actúan como unidades independientes, con funciones específicas, conocidas bajo el nombre de «dominios». Con frecuencia, los «puntos activos» de las moléculas proteicas en su forma globular se sitúan en la interfase entre estos dominios.

Dentro del ámbito de la tecnología de los alimentos puede resultar muy útil una clasificación basada en la solubilidad, al ser ésta una propiedad de gran transcendencia para los procesos de elaboración de los mismos y base de muchas de las propiedades presentadas por las proteínas. Dentro de esta sistematización, y de acuerdo con su composición, las distintas proteínas que toman parte de los alimentos se han agrupados bajo diversas denominaciones, que ya se han hecho históricas (Tabla 4.6).

Tipos de proteínas presentes en los alimentos

En los productos naturales se pueden reconocer hasta 22 aminoácidos, que en diversas proporciones toman parte de las estructuras proteicas. La distinta proporción en que intervienen en el complejo molecular, así como las variaciones en su secuencia dentro de la cadena polipéptida, que puede estar formada por varios cientos de unidades aminoácidas, junto a las numerosas posibilidades de configurarse estas cadenas, dan lugar a que las proteínas existentes en los alimentos manifiesten una gran variedad en sus propiedades, con marcadas diferencias de unas a otras.

Desde el punto de vista de la composición de una dieta, no sólo puede tener interés el contenido proteico ofrecido por un alimento determinado, sino también su aporte en aminoácidos, puesto que una dieta se puede considerar completa en lo que se refiere al aporte proteico solamente cuando es capaz de asegurar los requerimientos aminoácidos necesarios para el crecimiento normal y el mantenimiento del organismo vivo.

En la práctica, son muchos los alimentos que contienen proteínas, pero muy

Tabla 4.6

Clasificación de las proteínas en función de la solubilidad

Albúminas. Solubles en agua y precipitables por las soluciones salinas concentradas. A este tipo corresponden numerosas proteínas alimenticias, como la lactoalbúmina o el factor antitripsico de las leguminosas.

Globulinas. Solubles en soluciones salinas. Las de origen animal suelen coagular por el calor. Suelen integrar las reservas proteicas de muchos productos naturales, como clara de huevo, leches, carnes, vegetales.

Glutelinas. Solubles en soluciones salinas muy concentradas. Abundan en los cereales, de modo especial en trigo y maíz.

Prolaminas. Solamente se disuelven en etanol de 70-80 %. Son todas de origen vegetal y abundan en los cereales: gliadina del trigo, hordeína de la cebada, zeína del maíz.

Escleroproteínas. Totalmente insolubles. Suelen desempeñar funciones estructurales o protectoras. En general, son bastante resistentes a la acción de los enzimas proteolíticos. Entre ellas cabe destacar el colágeno del tejido conectivo, caracterizado por un elevado porcentaje de hidroxiprolina, que por ebullición en agua se transforma en una estructura soluble denominada gelatina.

pocos las poseen en cantidades importantes; los de mayor contenido no suelen superar niveles del 30 %, a no ser que se traten de alimentos deshidratados (Tabla 4.7).

En relación con los alimentos, se pueden citar dos grandes grupos de proteínas convencionales, de acuerdo con la fuente de donde proceden:

- Proteínas de origen animal: productos cárnicos, pescados, huevos y productos lácteos.
- Proteínas de origen vegetal: cereales, legumbres, verduras y hortalizas, frutas.

Sin embargo, actualmente también pueden ser incluidas en la elaboración de alimentos otros tipos de proteínas que, por su origen, pueden ser consideradas como *no convencionales*:

Tabla 4.7

Contenido proteico medio de las principales fuentes alimenticias

De origen animal (%)		De origen vegetal (%)	
Carne de vacuno	20,0	Arroz	7,0
Carne de cerdo	17,0	Harina	9,5
Carne de pollo	22,0	Pastas	13,0
Huevo total	12,5	Pan blanco	7,5
Pescado	17-20	Pan integral	8,0
Leche de vaca	3,3	Legumbres	10-23
Queso fresco	15,0	Patatas	2,5
Queso curado	32,0	Verduras	2,7
Yogur	5,0	Frutas	0,5-1,5

- Sustitutos de la leche: soja, cacahuete, coco.
- Aislados de organismos unicelulares: algas, bacterias, levaduras, hongos.
- Materias transformadas: caseinatos, aislados de soja, surimi, etc.

Muchos productos alimenticios de origen animal (carnes pescados, huevos, leches, etc.) han sido tradicionalmente considerados como alimentos proteicos, es decir, materias que representan la fuente principal de proteínas en las dietas que participan. En la mayoría de los casos, son proteínas que ofrecen buenos índices nutricionales y, por consiguiente, corresponden a materias primas alimenticias cuya presencia en la dieta se considera de primer orden. Solamente hay que reseñar la excepción de la gelatina, que por derivar del colágeno del tejido muscular, carece de varios aminoácidos esenciales y, en consecuencia, su aporte proteico es incompleto.

Por el contrario, las fuentes proteicas de origen vegetal suelen carecer de algún aminoácido cuya presencia en la dieta resulta indispensable: Usina, metionina, treonina, etc. Así, por ejemplo, los cereales representan buenas fuentes proteicas de la dieta humana desde un punto de vista cuantitativo, pero en cambio su aporte en aminoácidos esenciales deja mucho que desear. No ocurre lo mismo con las proteínas de las leguminosas, cuya composición aminoacídica ha permitido que, desde siempre, se hayan empleado en la elaboración de los menús familiares como excelente complemento de las proteínas de los cereales.

Entre las no convencionales merecen ser citadas tanto los aislados proteicos de soja como los productos obtenidos a partir de la leche de vaca, definidos por una directiva comunitaria del año 1983 del modo siguiente:

- *Caseínas*. Principal componente proteico de la leche que lavado y secado, resulta insoluble en el agua. Se puede obtener a partir de leche desnatada mediante tres procedimientos diferentes: *a)* por adición de ácido, *b)* por una acidificación microbiana, *c)* por medio de enzimas que coagulen la leche.
- *Caseinatos*. Se considera como tales a los productos obtenidos por secado de caseínas tratadas con agentes neutralizantes.

Hasta fecha muy reciente, el empleo de estas formas proteicas comerciales en la elaboración industrial de alimentos tenía la consideración de aditivos alimentarios, pero hoy día la Unión Europea no las considera así, sino que su inclusión en las formulaciones de los alimentos deben ser conceptuadas como ingredientes.

También caben destacar las que se presentan bajo formas texturizadas. Numerosas proteínas, de origen vegetal o animal, poseen estructuras globulares, que durante años han tenido muy escasa aplicación en la tecnología de los alimentos. Sin embargo, a mediados de este siglo se impuso la idea de convertirlas en proteínas fibrosas a través de un proceso tecnológico de texturización, para el que han resultado muy útiles las proteínas de soja, caseína, cacahuete, girasol, zeína, abadejo (surimi), etc.

De acuerdo con las funciones a que se destinan, así como a las propiedades y características de los péptidos y aminoácidos que liberan, en la práctica las proteínas alimenticias se estudian y consideran bajo intereses muy diversos: nutricional, sensorial, tecnológico, etc.

A veces, para mejorar la calidad nutricional de una proteína se la fortifica mediante la adición de cantidades determinadas del aminoácido limitante, que para la alimentación humana suelen ser usina, metionina, tirosina o triptófano.

El método aplicado suele depender del tipo de alimento, según sea un polvo desecado, un líquido o un granulado. Para los dos primeros casos, el aminoácido se adiciona en forma de polvo, que se mezcla de modo homogéneo o se disuelve en el líquido, mientras que en el tercero se precisa un tratamiento de los granos con una solución del aminoácidos para que pueda ser absorbido.

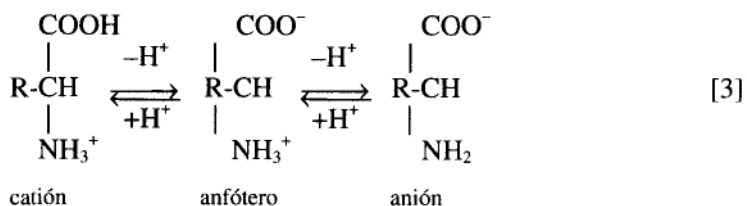
No obstante, hay que señalar cómo la adición de aminoácidos puede significar algún problema de tipo químico, puesto que cabe la posibilidad que con el tratamiento tecnológico de fabricación del alimento tengan lugar reacciones alterantes: pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) o la degradación de Strecker.

Para evitar el bloqueo de la lisina por el primer tipo de alteración, se ha mos-trado bastante eficaz el suplemento con una serie de péptidos derivados de la lisi-na, sobre todo en aquellos alimentos que han de sufrir un fuerte calentamiento en presencia de azúcares reductores. Suelen ser dipéptidos de lisina con glicina, alanina o ácido glutámico, que son absorbibles a nivel intestinal y en cambio no toman parte de la reacción de Maillard.

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los aminoácidos

Como componentes esenciales de las cadenas proteicas, que a veces se encuen-tran en los alimentos en sus formas libres, principalmente como consecuencia de una actividad proteasa, cabe destacar las siguientes propiedades de los aminoácidos:

a) *La disociación.* En solución acuosa, un aminoácido se puede encontrar bajo tres formas moleculares diferentes, según el pH del medio [3]:



b) *La absorción ultravioleta.* Los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano absorben la luz ultravioleta con máximos a 200-230 nm y 250-290 nm. Por ello, pueden ser utilizada la absorción a 280 nm para determinar de modo analítico tanto proteínas como péptidos.

c) *La solubilidad.* La solubilidad en agua de los aminoácidos libres es muy diversa: la prolina es muy soluble, seguida de hidroxiprolina, glicina y alanina, mientras que tirosina y cistina lo son muy pocos. No obstante, cuando se hidroliza totalmente la proteína de un alimento, se obtienen relaciones de solubilidades diferentes, porque la presencia de unos modifica la solubilidad de otros. La solubilidad en disolventes orgánicos es muy baja como consecuencia del carácter polar y sólo cisteína y prolina son algo soluble en etanol.

d) *Propiedades sensoriales*. Los aminoácidos pueden contribuir al flavor de los alimentos proteicos cuando se liberan de las estructuras polipeptídicas. Dentro de esta actividad se pueden citar ejemplos que hacen referencia a todos los tipos de sabores, con intensidades que aumentan con la concentración de aminoácidos:

- Los aminoácidos hidrófobos suelen proporcionar sabor amargo, principalmente las estructuras L de fenilalanina, isoleucina, leucina, tirosina y valina.
- Los aminoácidos hidrófobos correspondientes a las formas D suelen aportar un sabor dulce, incluso superior al de la sacarosa. Parece que la polaridad de la molécula no es esencial para ser responsable de este estímulo gustativo.
- El sabor ácido lo aportan solamente la forma disociada de los aminoácidos aspártico y glutámico, propia de los alimentos con pH bajo.
- En cambio, las sales de sodio de estos dos aminoácidos dicarboxílicos se incluyen entre aquellas sustancias que, según los investigadores japoneses, presentan un sabor *umami*, que ellos incluyen entre los sabores básicos.
- Ningún aminoácido se caracteriza por ofrecer un sabor salado.

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los péptidos

También caben señalar propiedades con interés bromatológico de péptidos que pueden tomar parte de la composición de algunos alimentos, muchas veces como consecuencia de una hidrólisis parcial de las proteínas:

a) *Sensoriales*. A diferencia de los aminoácidos, los péptidos no presentan una clara dependencia entre la calidad gustativa y la configuración molecular. Entre ellos se encuentran estructuras que aportan sabores muy variados, aunque parece que la intensidad gustativa de los péptidos sí depende de la hidrofobicidad de sus cadenas laterales, con independencia de la secuencia aminoacídica.

En general, abundan los péptidos que dan sabores amargos, de modo particular los que contienen fenilalanina, leucina, isoleucina, prolina, tirosina, triptófano o valina, aumentando la intensidad si se encuentran situado en la posición C terminal de la secuencia peptídica. Sin duda, esto puede representar un problema cuando en un alimento puede ocurrir una hidrólisis parcial de sus proteínas. Se conocen cinco péptidos con carácter dulce, aunque suele estar acompañado de cierto amargor, y algunos de ellos (aspartame y alitame) se proponen como aditivos edulcorantes. Los péptidos ácidos contienen siempre uno, o varios, aminoácidos ácidos en sus secuencias.

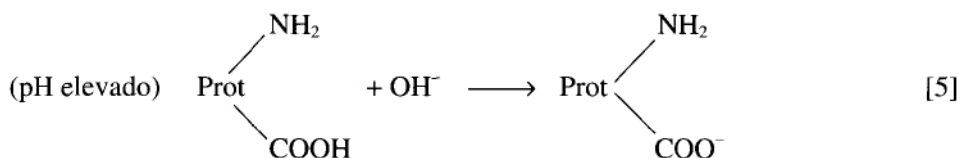
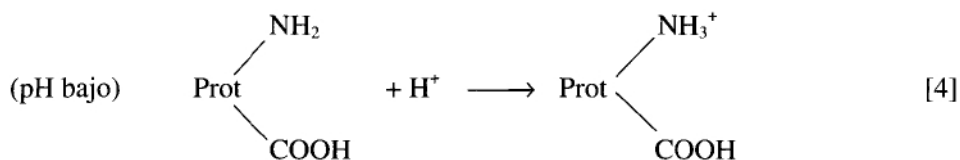
b) *Analíticas*. La carne de vacuno contiene un péptido denominado carnosina, formado por beta-alanina y L-histidina, que sirve precisamente para caracterizar de modo analítico los extractos de carne.

c) *Antibióticos*. La nisina es un péptido producido por algunas cepas del *Streptococcus lactis*, que contiene una serie aminoacídica poco frecuente: dehidro-beta-metilalanina, lantionina y beta-metil-lantionina con cinco puentes tioéter; presenta una actividad antibiótica frente a los gérmes Gram-positivos.

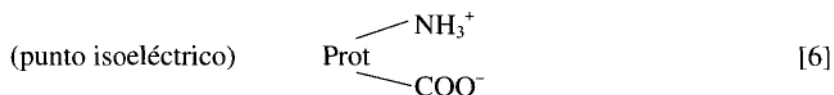
Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de las proteínas

Como todos los compuestos orgánicos, las proteínas gozan de una serie de propiedades física y químicas que tienen una honda repercusión sobre las propiedades de los sistemas alimentarios en los que intervienen. Entre las que tienen mayor relevancia en el ámbito de los alimentos caben destacar las siguientes:

a) *Carácter anfótero*. Como se ha señalado con anterioridad, las proteínas son grandes moléculas de forma variable, que por su conformación en el espacio disponen de grupos reactivos en la superficie molecular, entre los que destacan los grupos aminos y los grupos ácidos carboxílicos. Esta situación les proporciona la posibilidad de reaccionar como un anión o un catión de acuerdo con la concentración protónica del medio en que se encuentre. Así, los pH bajos ionizan los grupos aminos [4], mientras que los pH elevados lo hacen con los grupos carboxílicos [5].



Existe un pH, denominado punto isoelectrico (p.i.), para el cual la molécula proteica equilibra de modo interno todas sus cargas [6], dando lugar a la estructura conocida con el nombre de *zwitterion*. Es decir, por debajo de este pH la molécula proteica global actúa como un catión y es capaz de fijar aniones, mientras que por encima de ese pH la molécula actúa como un anión y es capaz de fijar cationes. Este punto varía para cada proteínas, aunque suele estar situado generalmente en medio ácido, entre 4,5 y 6,0.



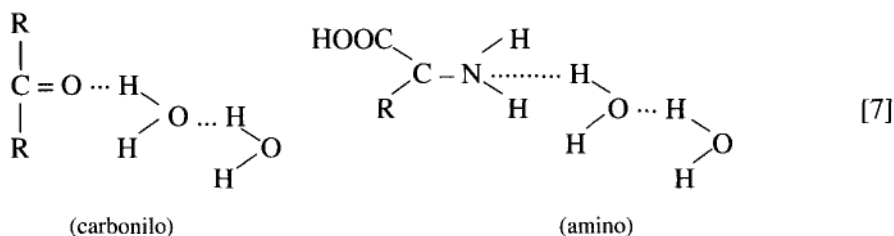
Aunque los grupos carboxilos libres de las proteínas se ionizan de modo muy débil, no obstante son capaces de reaccionar con las bases presentes; sin embargo, los grupos aminos son buenos aceptadores de protones y, por ello, factibles de reaccionar con los ácidos. En algunos casos, la industria alimentaria utiliza derivados proteicos, como el caseinato cálcico, para modificar o neutralizar el pH del alimento que fabrica.

En la práctica, cualquier molécula proteica dispone en su superficie de un número reducido de grupos con capacidad para ser ionizados: los carboxilos laterales de los ácidos aspártico y glutámico, los grupos aminos epsilon de la Usina, así como los grupos amino de la histidina, prolina, hidroxiprolina y triptófano, que también aceptan protones.

La presencia de estos grupos superficiales hacen que las proteínas tengan una gran sensibilidad a la presencia de diversos tipos de electrolitos. De aquí, que algunos iones metálicos tengan la capacidad de precipitar las proteínas de sus soluciones coloidales; en cambio, otros presentan la facultad de formar iones complejos de coordinación, al enlazar con el N de los grupos amidos, aminos e imidazoles de la cadena peptídica.

b) *Formación de hidratos.* Debido a su capacidad de reacción, las proteínas pueden participar en la formación de hidratos con el agua, un tipo de reacción de gran relevancia en la química de los alimentos. Varios de los grupos de las moléculas proteicas tienen átomos de O (grupos carboxilos y carbonilos) y de N (grupos amino libre o el enlace péptido) con pares de electrones desaparejados, capaces de formar enlaces de hidrógeno con la molécula de agua.

Cada molécula de agua fijada tiene un átomo de O con capacidad para formar enlace de hidrógeno con otras moléculas de agua y originar la formación de agregados de agua alrededor de cada punto polar de la molécula proteica. De este modo, se produce el fenómeno de la hidratación, que consiste en que la proteína se rodea de varias capas de moléculas de agua, unidas a ella de modo bastante fuerte [7].



En el pH del punto isoelectrico, cada proteína presenta la mínima capacidad para formar hidratos porque su molécula ofrece el estado de ionización mínima. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la magnitud de la hidratación no sólo depende del pH del medio y de la concentración proteica, sino también de la presencia de otras sustancias capaces de competir con las proteínas por las moléculas de agua, como ocurre con electrolitos, azúcares, alcoholes, etc. De todos modos, como las proteínas suelen corresponder a grandes moléculas de peso molecular elevado y tamaño variable (entre 0,1 y 0,001 mieras) observable con el microscopio electrónico, no forman verdaderas soluciones con el agua, sino soluciones coloidales.

c) *Solubilidad.* Varios de los grupos superficiales de las estructuras proteicas pueden ionizarse de acuerdo con el medio en que se encuentre y las cargas eléctricas que aparecen pueden atraer o rechazar algunos tipos de especies químicas. De todas ellas, las moléculas de agua presentan una especial afinidad, y en consecuen-

cia se enlazan con gran fuerza a las proteínas de tal modo que a veces conduce a su solubilización.

Como consecuencia de su carácter anfótero, la solubilidad de una proteína varía con la concentración protónica del medio, es decir, su pH, capaz de modificar la solubilidad al variar la ionización de los grupos amino o carboxílicos de la superficie molecular. Como consecuencia de su configuración y sus cargas superficiales, no resulta extraño que un gran número de proteínas incrementen bastante su solubilidad con la alcalinidad del medio, aunque sólo aumenten un poco con la acidez. En cambio, en el pH de su punto isoeléctrico (p.i.) las proteínas tienen una carga nula y las fuerzas de enlace con el agua son muy débiles. Por ello, las proteínas presentan en este punto su nivel mínimo de solubilidad y ofrecen las mayores posibilidades para flocular o coagular.

También la adición de sales neutras puede aumentar la solubilidad, como consecuencia del denominado *efecto salino* propio de sustancias poco solubles, que obliga a trabajar con el *producto de solubilidad práctico*. No obstante, las curvas representativas de la solubilidad proteica en función de la concentración salina del medio sólo ponen de manifiesto un pequeño desplazamiento hacia la parte superior, pero su perfil mantiene su carácter dependiente del pH (Fig. 4.1).

El efecto de incrementar la solubilidad con la adición de sales neutras se denomina *efecto salino interno* y es un fenómeno que suele ser aprovechado para solubilizar y extraer mejor algunas proteínas de los alimentos. No obstante, cuando la concentración salina adquiere valores muy elevados, siempre hay que tener presente la posible presencia de fenómenos de precipitación proteica.

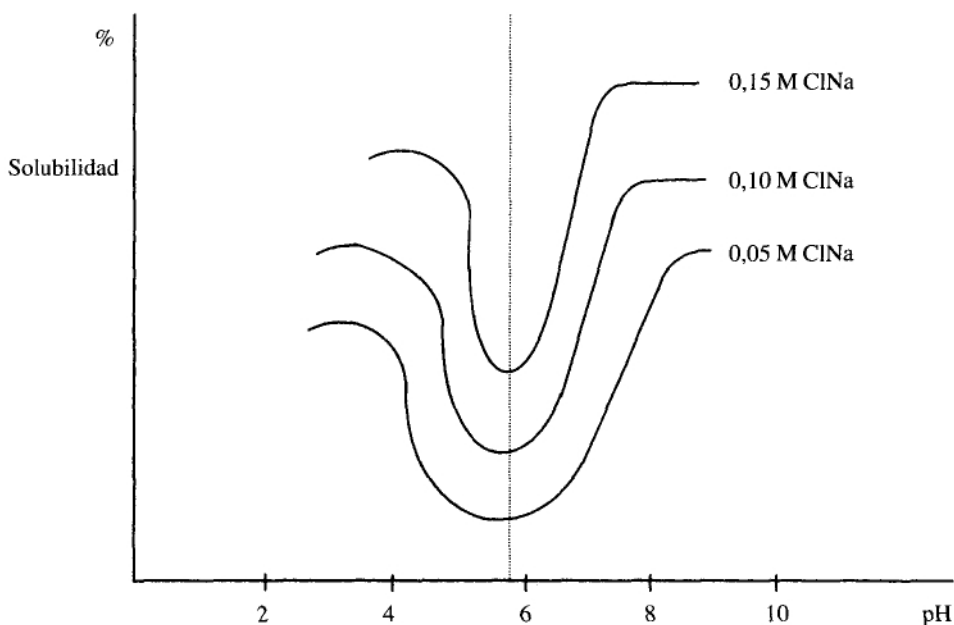


Figura 4.1. Solubilidad de una proteína en función del pH del medio y de la concentración salina del mismo.

La solubilidad de las proteínas alimentarias suele variar entre límites muy amplios: algunas, como las albúminas, se disuelven en agua pura; otras, como la miosina del músculo, lo hacen en soluciones de elevada fuerza iónica; incluso existen en algún caso, en los que sólo se disuelven a expensas de cambios estructurales en su molécula; etc. Como regla general se admite que las proteínas en estado solubilizado son protagonistas de un mayor número de propiedades que cuando se encuentran bajo formas insolubles.

No se ha podido establecer una correlación entre la conformación estructural de una proteína y su solubilidad. Se sabe que los grupos ionizados contribuyen a ella de modo favorable, pero también pueden alterarla cuando algún agente exterior provoca enlaces intermoleculares, que rompen la solución coloidal y origina una floculación, es decir, da lugar a un precipitado que se separa del solvente. Tampoco la solubilidad parece ser un fenómeno que transcurre de modo paralelo a la magnitud de la hidratación molecular: hay proteínas muy insolubles, como el colágeno, que tienen gran capacidad para retener muchas moléculas de agua.

d) *Desnaturalización*. Las proteínas reciben el calificativo de «naturales» cuando su estructura responde a la que poseen cuando se encuentran tomando parte de los tejidos de animales y plantas. Aunque una proteína natural puede presentar variaciones en sus propiedades, sin embargo su gran labilidad frente a muchos agentes físicos y químicos hace que se produzcan modificaciones estructurales en sus moléculas, que llevan a cambios que pueden repercutir en sus propiedades, de un modo más o menos profundo. Esta proteína estructuralmente transformada ha recibido el calificativo de proteína *desnaturalizada*.

Hoy día se considera como desnaturalización al fenómeno que sólo altera las estructuras secundarias y terciarias y por ello se viene usando el concepto de *transconformación* cuando se quiere expresar el cambio que sufren algunas proteínas en su topología, como consecuencia de la acción de agentes como ácidos, álcalis, sales de metales pesados, urea, etanol, ultrasonidos, calor, batido, etc.

Por lo general, el cambio estructural suele estar relacionado con un despliegue, o una distorsión, de la molécula proteica, de difícil reversibilidad, puesto que la cadena polipéptida distendida encuentra grandes dificultades para ser reorganizada de acuerdo con su estructura primitiva. A menudo, las proteínas que han sufrido estos cambios estructurales ofrecen una proporción diferente de grupos sulfhidrilos libres (-SH); también se aprecian variaciones en los grupos fenólicos de la tirosina y en los grupos Índoles del triptófano. Cuando estos grupos quedan en libertad se hacen más reactivos y sensibles para originar reacciones secundarias, que pueden afectar a las propiedades sensoriales del alimento: cambios de sabor en la leche hervida o en la carne guisada. La desnaturalización también es un fenómeno que modifica la solubilidad proteica, de tal modo que al cambio de estructura puede seguir una precipitación, porque se forman agregados moleculares incapaces de mantenerse en la solución coloidal primitiva. Salvo casos excepcionales, este fenómeno resulta irreversible.

e) *Contribución a la textura*. De todos los componentes de los alimentos, se admite que las proteínas son las moléculas con mayor capacidad para reaccionar con otras especies químicas que están presentes en tales alimentos. Precisamente, estas interacciones pueden resultar esenciales para que las proteínas pongan de manifiesto muchas de sus propiedades tecnofuncionales.

Sin duda, la composición en aminoácidos y su distribución espacial en la cade-

na polipéptida plegada es la que marca la pauta para que puedan tener lugar estas interacciones. Una riqueza en aminoácidos polares (que en la mayoría de las proteínas alimenticias suele ser del 25-35 %) afecta a propiedades como hidratación, solubilidad y capacidad de gelificar. En cambio, un contenido importante en aminoácidos no polares puede influir en la actividad superficial y en las interacciones con otros péptidos. Asimismo, las regiones hidrofóbicas de la molécula proteica influyen de modo directo sobre las propiedades tensoactivas, tales como capacidad de emulsionar o de formar espumas.

Aunque en cada alimento sólo intervienen unas pocas propiedades tecnofuncionales, sin embargo el conjunto de todas las que actúan como determinantes de las características de un alimento resulta bastante numeroso (Tabla 4.8). En todas ellas inciden, de alguna manera, las interacciones proteínas-agua, pues no en vano la conformación de una proteína en solución depende de sus interacciones con el agua. No hay que olvidar que la mayor parte de los alimentos son sistemas sólidos hidratados y muchas propiedades tecnofuncionales de las proteínas alimenticias resultan ser una función de las fases sucesivas de la hidratación: fijación de agua, hinchamiento, mojabilidad, cohesión y adhesión, dispersabilidad y viscosidad. Además, la gelificación, que depende de las interacciones proteína-proteína, también implica la formación de una matriz sólida bien hidratada. Incluso para las propiedades relacionadas con la actividad en superficies de interfases, como puede ser una buena capacidad emulsionante o la estabilización de una espuma, las proteínas necesitan unos elevados niveles de hidratación.

Todas estas propiedades son de enorme importancia para las características de los sistemas fisicoquímicos que integran muchos alimentos, incluso en bastantes casos son factores determinantes de la calidad textural de los mismos.

f) *Actividad enzimática.* Una de las propiedades más interesantes de las proteínas en relación con la tecnología alimentaria es su actividad como enzimas. Muchos alimentos que se cosechan, elaboran y consumen, ya sean de origen animal o vegetal, incluyen entre sus compuestos los sistemas enzimáticos más variados. Sin embargo, en la práctica no sólo nos interesan los enzimas en cuanto proteínas que toman parte de la composición natural de los alimentos, sino también porque en muchos casos de preparación se tiene la práctica de adicionar preparaciones

Tabla 4.8

Principales propiedades tecnofuncionales de las proteínas alimenticias

— Mojabilidad.	— Agregación.
— Solubilidad.	— Polimerización.
— Absorción y retención de agua.	— Precipitación.
— Adhesión y cohesión.	— Floculación.
— Dispersibilidad.	— Coagulación.
— Hinchamiento.	— Emulsificación.
— Suculencia.	— Volumen y estabilidad de la espuma.
— Gelificación.	— Retención de grasa.
— Elasticidad.	— Fijación de aromas.
— Viscosidad.	

enzimáticas con los fines más diversos. Se puede afirmar que las enzimas son factores importantes en la tecnología de alimentos a causa del papel que desempeñan en la composición, elaboración, alteración y conservación de los productos alimenticios.

Las enzimas existen de modo natural en muchas materias primas alimenticias y pueden afectar a la elaboración de los alimentos de muy diversas maneras: unas veces pueden ofrecer ventajas, como es el caso de las amilasas en las patatas, que les proporciona una textura y un flavor deseable; otras, pueden provocar reacciones adversas, tales como el enranciamiento de las grasas por la acción de enzimas lipoxidasas, o el pardeamiento de verduras y frutas por los sistemas fenolasas; en ocasiones, se acude a su valoración analítica como índice de la bondad de un tratamiento tecnológico, como ocurre con la inactivación de fosfatasas en los procesos de pasteurización de la leche, o de catalasas en relación con el escaldado de los vegetales, proceso previo a su enlatado.

Hace muchísimos años que el ser humano ha aprovechado la actividad de las enzimas para conseguir alimentos fermentados, pero la preparación industrial de enzimas con destino a la elaboración de alimentos es un hecho relativamente reciente.

Las enzimas que se aplican a la industria alimentaria pueden tener tres orígenes diferentes: proceder de animales (pepsina), de plantas (papaína, ficina) o de fuentes microbianas (invertasa de *Saccharomyces cerevisiae*, lactasa de *Saccharomyces fragilis*, proteasa de *Bacillus subtilis*, amilasa de *Aspergillus oryzae*, catalasa, glucosa-oxidasa, lipasa, proteasa y pectinasa de *Aspergillus niger*).

El uso industrial de enzimas responde a dos modos diferentes de aplicación:

- a) Empleo de una solución acuosa normalizada, que se mezcla con el sustrato específico, bajo las condiciones prescritas para dar lugar al producto deseado. En este caso, la enzima se puede usar una sola vez.
- b) Empleo de la enzima extraída, purificada e inmovilizada en soportes sólidos e inertes, mediante diversos tipos de fuerzas (enlace químico o fenómenos de adsorción). De este modo, la enzima, una vez separada por filtración, puede ser utilizada más de una vez y permite tratar a una mayor cantidad de sustrato.

Para comprender el papel importante que las enzimas están desempeñando en la industria moderna de los alimentos hay que considerar las numerosas ventajas que implica su empleo:

- Las enzimas son sustancias naturales no tóxicas.
- Catalizan una reacción específica, sin provocar reacciones secundarias indeseables.
- Son activas bajo moderadas condiciones de pH y temperatura.
- Son activas a bajas concentraciones.
- Se puede controlar su velocidad de reacción a través de factores, como pH, temperatura o cantidad de enzima.
- Se puede inactivar cuando se considere que la reacción ha llegado a su final deseado.

Teniendo en cuenta las más diversas aplicaciones que han sido realizadas, se puede hacer referencia a cuatro objetivos como los fines principales que la indus-

tria pretende alcanzar con la utilización de enzimas en la fabricación de sus alimentos:

1. Aumento de la calidad en los alimentos.
2. Preparación de alimentos artificiales.
3. Mejora de los rendimientos en la obtención de productos por el sistema de extracción.
4. Mejora del sabor y del flavor.

Modificaciones en las estructuras proteicas con aplicaciones de interés bromatológico

La tecnología de los alimentos aprovecha las propiedades vinculadas a las estructuras de las proteínas para realizar muchas operaciones relacionadas con la fabricación de los productos alimenticios. La eficacia de estas operaciones depende de las más diversas funciones ejercidas por las proteínas, de acuerdo con su composición aminoacídica, su secuencia en la cadena y su conformación estructural. Como se ha indicado, son muchas las propiedades a desempeñar por las proteínas en los alimentos: solubilidad, dispersabilidad, coagulabilidad, fijación de agua, formación de geles, elasticidad, viscosidad, adhesividad, cohesividad, formación y estabilización de espumas, formación y estabilidad de emulsiones, etc.

En los momentos actuales existe una permanente exigencia en torno a las propiedades requeridas, tanto a los ingredientes como a los productos alimentario intermedios. En tal sentido, se ha podido comprobar que muchas de las funciones proteicas que contribuyen a esas propiedades se consiguen mejor con proteínas estructuralmente modificadas.

En este campo de las modificaciones proteicas caben señalar tres metas o fines a conseguir desde el punto de vista de la preparación de alimentos:

- a) Bloqueo de las reacciones de degradación: como puede ser evitar que se produzca la reacción de Maillard.
- b) Mejora de las propiedades fisicoquímicas: como las que repercuten en la solubilidad, en la capacidad de emulsión, en la estabilización de espumas o en la textura de los alimentos.
- c) Mejora del valor nutritivo: como puede ser, simplemente, el incremento de su digestibilidad o, de modo más complejo, el enriquecimiento en algún componente, como pueden ser aminoácidos esenciales.

La modificación de las proteínas no se puede considerar todavía como un proceso muy corriente en la tecnología de los alimentos, pero sí va adquiriendo cada vez más importancia porque, entre otras cosas, permite ajustar nuevas fuentes proteicas a las necesidades deseadas. En los últimos años ha sido posible modificar las propiedades de algunas proteínas alterando su composición en aminoácidos mediante reacciones químicas o enzimáticas.

Las reacciones que conducen a cambios en la estructura proteica son muy diver-

Tabla 4.9

Principales reacciones con interés tecnológico aplicadas en la modificación de proteínas alimentarias

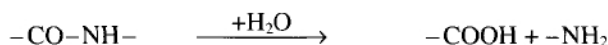
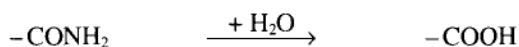
1. Acilación:



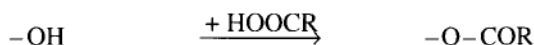
2. Alquilación reductora con formaldehído:



3. Hidrólisis:



4. Esterificación:



5. Oxidación:



6. Reducción:



sas, pero sólo algunas representan un cierto interés en la tecnología de los alimentos. Las principales reacciones han sido recogidas en la Tabla 4.9.

Como ejemplo de acilación tenemos la succinilación que mejora la solubilidad de las proteínas. En el caso de las proteínas aisladas de hojas vegetales, no sólo mejora su solubilidad sino también la capacidad emulsificante, así como el sabor. Son muchas las reacciones enzimáticas sobre proteínas, pero pocas son las aplicables al caso de alimentos: como ejemplo cabe citar la desfosforilización enzimática parcial de la betacaseína, que mejora su solubilidad en presencia de calcio.

No obstante, mayor relevancia va alcanzando la reacción que se conoce con el nombre de *reacción plasteína*, para la que se están usando enzimas como pepsina, quimotripsina o papaína.

Se trata de una reacción que posibilita la formación enzimática de uniones peptídicas a partir de los aminoácidos que proceden de hidrolizados proteicos, para dar lugar a la ordenación de nuevos polipeptidos con un peso molecular en la zona de los 3.000 dalton. Un esquema de la reacción queda indicado en la Figura 4.2.

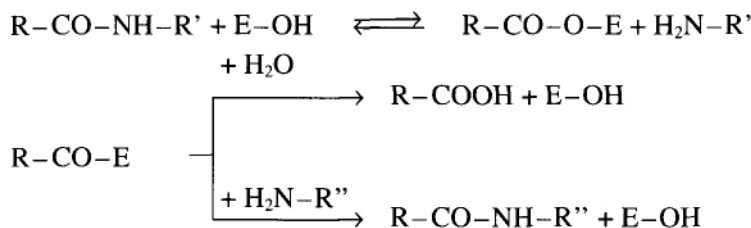


Figura 4.2. Esquema de una reacción plasteína.

En cierto modo, puede ser considerada como una reacción inversa a una proteólisis, aunque con un mecanismo algo más complejo. Su velocidad de reacción depende, entre otros factores, de los tipos de aminoácidos que intervienen, hasta el punto que los de carácter hidrófobo reaccionan con mayor facilidad.

La versatilidad de la reacción plasteína se pone de manifiesto con la variedad de objetivos favorables que resulta posible conseguir:

- Mejorar el valor nutritivo de una proteína, al enriquecerla en ciertos aminoácidos esenciales: lisina, treonina o triptófano.
- Mejorar la solubilidad de algunas proteínas, al incrementar su contenido en ácido glutámico.
- Eliminar el sabor amargo aportado por los péptidos tipo leucina-fenilalanina en los hidrolizados de proteínas. Tales péptidos pueden ser convertidos en otros de mayor peso molecular con sabor neutro mediante una reacción plasteína.
- La eliminación de algunos aminoácidos no deseables, como puede ocurrir en la fabricación de alimentos destinados a personas con algún error metabólico: ausencia de fenilalanina en la alimentación de los niños afectados por una fenilcetonuria.
- También resulta conveniente, desde un punto de vista sensorial y osmótico, la producción de péptidos de peso molecular elevado.

Estudio bromatológico de los carbohidratos

• Introducción. • Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de carbohidratos de bajo peso molecular.	• Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los polisacáridos. • Uso de polioles derivados de azúcares.

Introducción

Después del agua, los carbohidratos son los componentes más abundantes de los alimentos y los más ampliamente distribuidos. Se trata de compuestos orgánicos que desempeñan un papel relevante en los sistemas biológicos y tienen una gran importancia en la alimentación humana por su carácter de nutriente energético. Además, suelen ser valiosos favorecedores de las propiedades sensoriales de los alimentos, con efectos de interés sobre la consistencia, textura y palatabilidad de los mismos, que derivan de su capacidad para modificar, o incluso mejorar, la viscosidad, las propiedades coligativas y la estabilidad de las dispersiones alimenticias.

Por tener su origen en los procesos de fotosíntesis suelen abundar en alimentos de origen vegetal: cereales, leguminosas, tubérculos, verduras y frutas. No obstante, también se encuentran en productos de origen animal, como la leche. Unas veces, pueden estar presentes en los alimentos porque tomaban parte de la composición química de las materias primas; otras veces, porque son sustancias que han sido adicionadas a las formulaciones con algún fin tecnológico determinado. También pueden influir en la consistencia, color, sabor y flavor de numerosas preparaciones culinarias, de acuerdo con sus respuestas al tratamiento térmico o a la presencia de agua.

Se denominan *carbohidratos* a los compuestos orgánicos que en sus estructuras químicas sólo contienen C, H y O, estos últimos en una proporción semejante a la del agua; responden a la siguiente fórmula básica: $C_x (H_2O)_y$. Desde el punto de vista químico se clasifican en dos grupos: *osas* y *asidos*. Las primeras incluyen

aquellos carbohidratos que la hidrólisis ácida no las escinde en estructuras más simples. En cambio, los segundos resultan de la asociación de varias moléculas de osas, que puede ser rota por la hidrólisis ácida, con separaciones de las osas simples. Como a veces también incluyen alguna molécula no glucídica, se distinguen entre holósidos (oligosacáridos y polisacáridos en los que sólo intervienen osas) y heterósidos (además de osas simples comprenden una fracción no glucídica denominada aglucona).

En los alimentos se pueden presentar bajo las diversas formas que pueden adoptar las principales estructuras químicas de los carbohidratos:

- *Monosacáridos*. Son aldehídos o cetonas polihidroxilados, que pueden contener cinco átomos de carbono como las pentosas o seis átomos como las hexosas.
- *Oligosacáridos*. Están formados por cadenas que pueden incluir de dos a diez moléculas de monosacáridos y que pertenecen a dos grupos diferentes en función del tipo de enlace que tenga lugar entre las moléculas simples:
 - Los que en el enlace sólo interviene un grupo lactol y por tanto conservan su carácter reductor: así ocurre con los disacáridos lactosa y mañosa.
 - Los que el enlace tiene lugar por una condensación entre dos grupos lactoles y por consiguiente pierden el poder reductor: tal es el caso del disacárido sacarosa.
- *Polisacáridos*. Polímeros formados por cadenas en las que pueden tomar parte desde más de diez monosacáridos hasta varios miles de ellos, unas veces como bloques de azúcares simples y otras con algunos de sus derivados.

Las fuentes de las cuales se extraen pueden ser muy diversas: vegetal, algas marinas o cultivos bacterianos. También sus funciones biológicas pueden ser muy variadas: participan de las partes rígidas de las plantas; desempeñan papeles nutricionales como reservas metabólicas de vegetales y animales; pueden ser material de desecho o bien un mecanismo biológico de defensa; etc.

En la Tabla 5.1 se recogen aquellos que, por su presencia en los alimentos, pueden ofrecer un cierto interés en el ámbito de los alimentos.

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de carbohidratos de bajo peso molecular

En este grupo se estudian algunos monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos de mayor relevancia en cuanto a componentes de los alimentos.

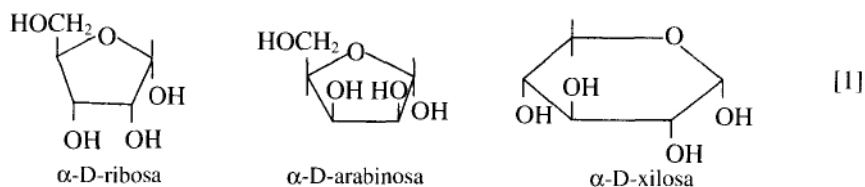
- Los *monosacáridos* o azúcares simples, se encuentran en muy pocos alimentos bajo su forma libre, pues lo normal es que tomen parte de estructuras complejas o estén combinados con otras moléculas orgánicas.

Tabla 5.1

Principales carbohidratos alimenticios con un cierto interés bromatológico

<i>Monosacáridos</i>	{	Pentosas: arabinosa, xilosa, ribosa.	
		Hexosas: glucosa, fructosa, galactosa.	
<i>Disacáridos</i> : Sacarosa, lactosa, maltosa, lactulosa.			
<i>Oligosacáridos</i> : Oligofructanos (inulina), rafinosa, estaquiosa, palatinosa.			
<i>Polisacáridos</i>	{	De reserva	{ Almidones { naturales.
			{ Glucógeno { transformados.
		Estructurales	{ Celulosas.
			{ Hemicelulosas.
Gomas	{	{ Sustancias pécticas.	
		{ Beta-glucanos.	
		{ Vegetales: garrofín, guar, arábica, karaya.	
		{ Marinas: alginatos, carragenatos, agar, furcellarano.	
		{ Microorganismos: xantano, gelano.	

Entre el grupo de las pentosas sólo merecen ser citadas tres, aunque los vegetales de regiones cálidas y muy secas suelen tener una gran proporción de ellas [1].

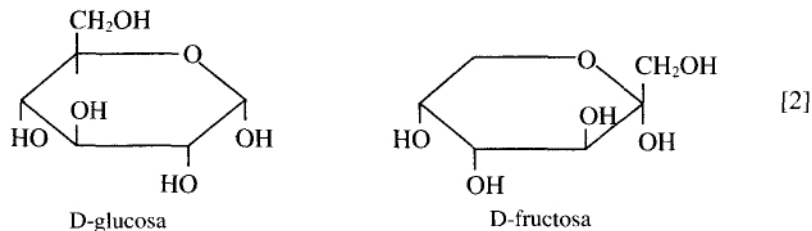


La *L-arabinosa*, uno de los componentes de gomas, mucílago y pectinas, que se suele obtener por hidrólisis de la pulpa de remolacha.

La *D-ribosa*, componente de la riboflavina y de los ácidos ribonucleicos.

La *D-xilosa*, que forma macromoléculas de pentosanas en las panochas de maíz, paja de cereales y cáscaras de algunas semillas.

• De las tres *hexosas* con una presencia importante en los alimentos, sólo glucosa y fructosa [2] se suelen encontrar bajo sus formas libres:



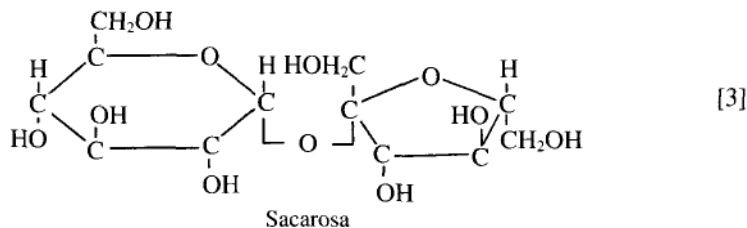
La *D-glucosa*, puede ser localizada en cualquiera de las partes de un vegetal (raíz, hojas, flores, savia), abunda en frutas y verduras, así como en la miel de abeja y su principal fuente comercial es el almidón hidrolizado.

La *D-fructosa*, única cetosa contenida en los alimentos a niveles importantes, se suele encontrar en jugos de plantas y de frutas o en la miel de abejas, posiblemente por formar parte de la sacarosa, que ha sido hidrolizada.

La *D-galactosa*, apenas se encuentra libre, pero toma parte en la composición de la lactosa, el azúcar de la leche, y también en la de algunas gomas y mucílagos.

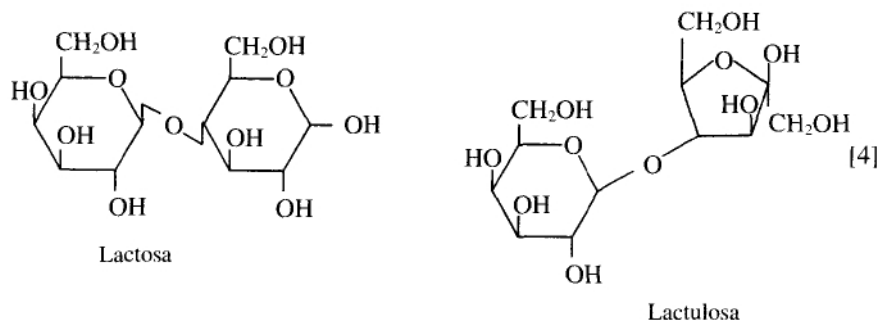
- De los numerosos *disacáridos* y *oligosacáridos* que pueden ser detectados dentro de la composición química de los diversos alimentos, solamente unos pocos merecen ser mencionados tanto por sus proporciones más o menos relevantes, como por su interés en la industria alimentaria:

La *sacarosa* [fructosa(2:1)glucosa], disacárido no reductor [3], que se encuentra en forma libre en muchas plantas y en la miel de abeja. Sus fuentes comerciales son la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Además, se suele adicionar a muchos alimentos con el fin de aprovechar sus diversas propiedades: dulzor, resistencia a la hidrólisis, formación de geles, control de la actividad de agua, conservación de alimentos, etc. Representan propiedades que difícilmente pueden ser desempeñadas por diversas sustancias, que han sido propuestas como sus alternativas no energéticas.

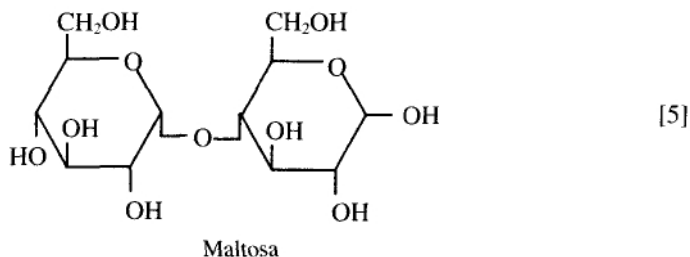


La *lactosa* [glucosa(4:1)galactosa] [4] tiene importancia en cuanto que es el azúcar de la leche y está presente en muchos productos lácteos. Su grado de dulzor es reducido, aunque aumenta con la hidrólisis. Bajo la forma hidrolizada se emplea hoy día como edulcorante natural. También, en algunos alimentos se adiciona sin hidrolizar como agente conservador. A veces, puede presentar el inconveniente de formar cristales de gran tamaño (10 μm) y proporcionar una textura arenosa a los alimentos que le incluyen como aditivo, tales como helados y leches condensadas.

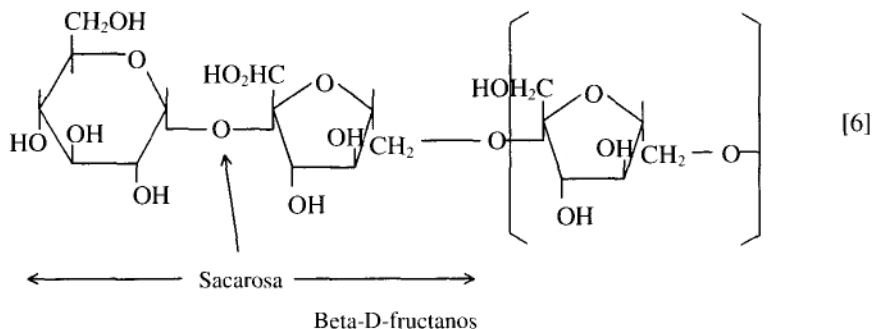
Un derivado artificial es la *lactulosa* (beta-galactosil-fructosa), disacárido reductor [4], con poder edulcorante superior a la lactosa, de la que se obtiene mediante tratamiento térmico alcalino, que isomeriza la molécula de glucosa en fructosa. No se absorbe en el intestino delgado y su digestión a nivel de colon tiene lugar con un bajo rendimiento energético. Se ha empleado en clínica como laxante y se ha estudiado a fondo su fisiología intestinal. A dosis moderada actúa como los mucílagos y glucanos, de los que se distingue por su bajo peso molecular, su poder higroscópico y su ausencia de viscosidad. Hoy día se le está incluyendo en leches infantiles porque se le supone un papel de nutriente para el *Lactobacillus bifidus*.



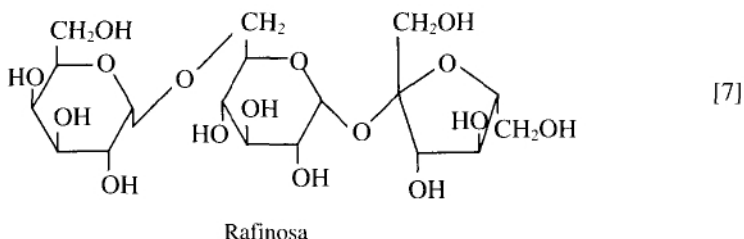
La *maltosa* [glucosa(1:4)glucosa] se detecta de modo principal en aquellos alimentos que se elaboran con jarabes obtenidos por una degradación incompleta del almidón. Normalmente, no se encuentra bajo la forma libre [5], salvo en la cebada germinada. Se suele usar en la elaboración de alimentos infantiles y en las industrias cerveceras y panaderas.



Los *fructo-oligosacáridos* son beta-D-fructanos [6], no digeribles que se componen de unidades de fructosa unidas por enlaces beta (2 → 1) con un grado de polimerización entre 2 y 10, aunque su promedio es de 4. Junto a la inulina (condensación de varias unidades de D-fructosa, de la que es su fuente comercial) están presentes en achicorias, ajos, alcachofas, cebollas, espárragos y plátanos. Se pueden obtener por hidrólisis enzimática parcial de la inulina y suelen ser usados como sustitutos de la sacarosa o para favorecer el desarrollo específico de algunos microorganismos (sustancia prebiótica).



Otros oligosacáridos derivados de la galactosa, que se encuentran presentes en proporciones reducidas en los alimentos, son: *rafinosa* [7], *estaquiosa* y *palatinosa*.



Varias son las *propiedades de los azúcares* que presentan cierto interés, desde el punto de vista de la ciencia de los alimentos:

a) Son sustancias químicamente neutras, que no afectan al pH de las soluciones acuosas y resultan relativamente estables en el intervalo de pH comprendido entre 3,0 y 7,0. Por encima, o por debajo, de estos extremos pueden sufrir modificaciones según las condiciones del medio: en zona ácida pierden agua sin modificar la integridad de la cadena, mientras que en la zona básica se enolizan con fraccionamientos moleculares.

b) Los azúcares difieren unos de otros en la capacidad de absorber agua, en función de sus estructuras, la existencia de isómeros y el grado de pureza. Sin embargo su solubilidad en agua es buena y con facilidad pueden dar lugar a jarabes. Los grupos hidroxilos interaccionan con el agua a través de enlaces de hidrógeno que lleva a una solvatación y/o solubilización. Esta capacidad de ligar agua les permite un cierto control sobre la actividad de agua de los alimentos, propiedad que se conoce con el nombre de *humectancia*.

En ciertos productos, como las frutas escarchadas, conviene usar azúcares con escasa capacidad de adsorción de agua, como ocurre con lactosa o maltosa. En cambio, otros productos como algunos de panadería o de confitería, requieren la ayuda de las soluciones concentradas de azúcares (jarabes de fructosa o de glucosa), cuya higroscopicidad les evita la pérdida de agua. No obstante, esta capacidad de retener agua puede resultar nociva cuando se trata de alimentos granulados o en polvo que contengan azúcares, pues al formarse aglomerados se reduce su solubilidad.

c) Los carbohidratos de bajo peso molecular suelen estimular sabores dulces en las papilas gustativas, aunque su percepción difiera bastante de unos a otros, tanto en la calidad como en la intensidad del sabor dulce. Entre todos destaca la sacarosa por su sabor especialmente agradable, incluso a concentraciones elevadas. El grado de dulzor puede variar en función de algunos factores: constitución, configuración, forma bajo la que se encuentre, cristalina o solubilizada, pH, temperatura, presencia de otras sustancias, etc.

También la industria alimentaria emplea como agentes edulcorantes sustancias relacionadas químicamente con los azúcares: los polialcoholes o azúcares-alcoholes. Para evaluar el poder edulcorante de cada azúcar se ha decidido tomar como referencia patrones de sacarosa, que valorada como (100), marca el nivel de los demás: glucosa (74), fructosa (174), «azúcar invertido» (124), xilitol (90), sorbitol (63), lactitol (35), etc.

d) Muchas estructuras de azúcares pueden ser fermentadas de modo específico por diversas especies de microorganismos, que los utilizan como fuentes energéticas para su metabolismo. En cambio, las grandes concentraciones de azúcares inhiben el desarrollo de los mismos, fundamentalmente porque afectan al equilibrio osmótico de sus células.

e) Bajo la acción del calor pueden tomar parte de reacciones que conducen a modificaciones en el color y en el flavor de los alimentos. Unas veces ocurre una caramelización, otras puede tener lugar la compleja reacción de Maillard, en la que también intervienen los grupos aminos de proteínas y aminoácidos. De acuerdo con las condiciones de trabajo se puede orientar los efectos de la fusión de los azúcares hacia la formación de productos polimerizados con fuerte color, o hacia una profunda fragmentación de las moléculas, que lleva a la aparición de compuestos aromáticos, tal como ocurre en el tostado del café.

En cambio, los efectos de la reacción de Maillard pueden ser unas veces deseados, como es el caso de la formación de la corteza del pan, y otras rechazables, como puede suceder en el proceso de la deshidratación de la leche, que conduce a pérdidas de aminoácidos importantes. Por eso, su desarrollo debe ser bien controlado para conseguir una buena aceptación del flavor cuando se busque de modo positivo, o procurar inhibirla con las condiciones de pH, de temperatura o de actividad de agua adecuadas.

f) Los azúcares, aunque también los carbohidratos de alto peso molecular, pueden interaccionar con otros compuestos volátiles, tales como derivados carbonílicos (aldehídos y cetonas) y ésteres de ácidos carboxílicos. Esta propiedad se aprovecha en la tecnología de productos que pierden agua al deshidratarse o al liofilizarse, para la fijación de aromas.

Propiedades de interés bromatológico vinculadas a las estructuras de los polisacáridos

Muchos alimentos contienen de forma natural cantidades importantes de polisacáridos, porque forman parte de su composición química, pero otras veces, porque han sido añadidos como aditivos para desempeñar algunas funciones tecnoló-

gicas específicas. Así, por ejemplo, con su presencia natural influye en las propiedades Teológicas de la mayoría de los alimentos de origen vegetal. Y la industria alimentaria los incluye en las formulaciones de numerosos productos, para aprovechar las funciones más variadas, dentro de las específicas de cada polisacárido en particular, de acuerdo con sus estructuras de hidrocoloides.

Desde un punto de vista global, los polisacáridos ofrecen interesantes propiedades tecnológicas que vienen determinadas por cuatro factores vinculados a su composición molecular:

1. Tipo y estructura del monosacárido componente:
 - Hexosas, pentosas, ácidos urónicos.
 - Configuración (lineal o en anillo).
2. Grupos funcionales presentes en la molécula:
 - Tipo (carboxil, hidroxil, ésteres sulfato, fosfato, metilo).
 - Localización en la molécula.
 - Grado de sustitución.
3. Estructura de la macromolécula:
 - Tipo de enlaces glucosídicos.
 - Tipo de estructura.
 - Grado de ramificación.
 - Grado de polimerización.
 - Distribución de unidades básicas.
4. Conformación:
 - Helicoidal.
 - Micelar.
 - Asociada.

Las propiedades funcionales de los polisacáridos se afectan por los enlaces no covalentes, en particular los enlaces de hidrógeno e iónico, que son los requeridos para obtener unas conformaciones estables. También las asociaciones entre moléculas exigen la intervención de grandes segmentos con secuencias regulares.

Por lo general, los polisacáridos son moléculas tan altamente hidrofílicas que pueden incrementar hasta cien veces su peso con moléculas de agua y alterar de un modo radical sus propiedades físicas. Es decir, forman hidrocoloides cuyas macromoléculas se disuelven, o dispersan, con facilidad en agua, dando lugar a un elevado incremento de la viscosidad y en muchos casos provocan una gelificación.

De acuerdo con sus propiedades, los polisacáridos están destinados a desempeñar en la tecnología de elaboración de alimentos no sólo esta capacidad espesante y/o gelificante, sino también otras funciones, no menos importantes, relacionadas con la textura, que con frecuencia se les denomina funciones *estabilizantes*: modificadores de la cristalización del hielo, estabilización de suspensiones, emulsiones y espumas, poder de retención de agua, poder suavizante, etc.

Algunos polisacáridos permiten la asociación de cadenas entre sí, o bien entre segmentos de cadenas, para dar lugar a unas estructuras más ordenadas y rígidas, propias de un gel. En la práctica, resulta bastante difícil distinguir entre lo que es una solución muy espesa y lo que es una solución gelificada. El mecanismo de

ordenación tridimensional varía con el tipo de hidrocoloide que interviene en el proceso: alginatos, pectinas, carragenatos, derivados de celulosas, etc.

Se ha comprobado que algunas mezclas de dos hidrocoloides, sean o no gelificantes, pueden ofrecer fenómenos de sinergia que conducen a comportamientos Teológicos diferentes, circunstancia que la industria alimentaria ha sabido aprovechar usando mezclas de carragenatos y garrofal o de alginatos y pectinas. También en este sentido se han utilizado las interacciones entre estos hidrocoloides poliósidos con las proteínas para conseguir determinados tipos de texturas: tal es el caso de carragenatos y proteínas de la leche usadas en algunos tipos de postres lácteos.

Debido a la importancia de su aplicación a la industria alimentaria, este conjunto de propiedades tecnológicas exige que se profundice más en su conocimiento y por ello resulta muy conveniente desarrollar en estudio pormenorizado de cada polisacárido en particular.

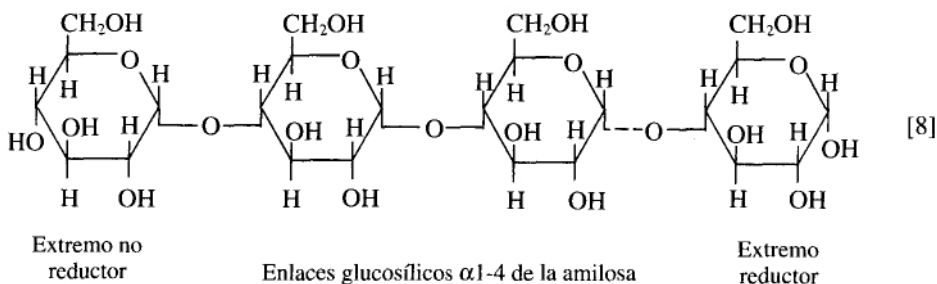
Polisacáridos de reserva

Entre ellos se incluyen los almidones vegetales, tanto los naturales como los modificados, y el glucógeno animal.

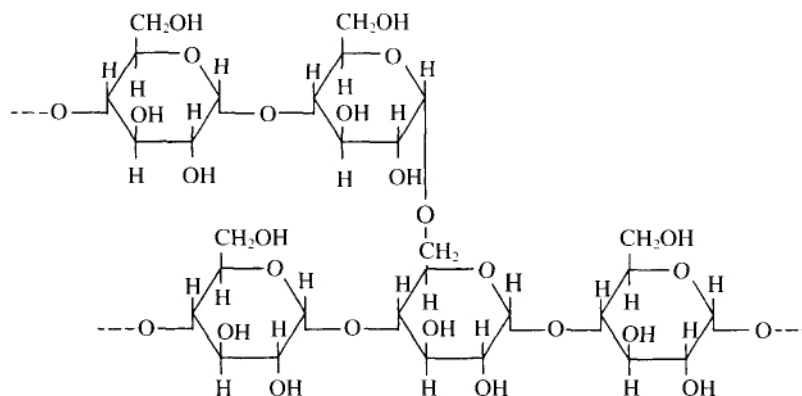
El *almidón* es el carbohidrato de reserva de las plantas superiores y se encuentra en los granos de cereales y legumbres, así como en tubérculos, raíces y bulbos. Se obtiene a partir de cereales y patatas, que lo contienen en abundancia. Su presencia en la dieta tiene la consideración de nutriente energético por las calorías que aporta al organismo que lo ingiere.

Aparece siempre en forma de gránulos, con zonas concéntricas y alternativamente claras y oscuras; aunque sus estructuras, formas y tamaños varían de acuerdo con la especie vegetal que le sintetiza. Son moléculas de peso molecular elevado, con una estructura bastante compleja, de la que se ha podido conocer que en su formación intervienen, a niveles diferentes, dos polímeros distintos: la amilosa y la amilopectina.

La *amilosa* [8] consiste en un polímero lineal sencillo integrado por numerosas moléculas de glucosa, unidas por enlaces alfa-1:4 que, con una considerable variación entre las distintas especies, representa alrededor del 25 % del almidón total. Además, según las especies aparece bajo formas cristalinas polimórficas bien diferentes: formas (A) para el caso de cereales y formas (B) para el caso de las patatas.



La *amilopectina* [9] es un polímero ramificado, que suele ser mayoritario en los almidones de algunas variedades de cereales (95-97 % en maíz y arroz). Está constituido por unidades de glucosa, enlazadas también por uniones alfa 1:4, pero con numerosas ramificaciones, posiblemente al azar, a través de enlaces alfa 1:6. Se piensa que corresponde a las estructuras cristalinas interpuestas entre los anillos de crecimiento.



[9]

Ramificaciones α 1-6 de la amilopectina

Estos dos componentes presentan propiedades físicas y químicas diferentes, que inciden en las características de los alimentos en que intervienen. Así por ejemplo en el caso del arroz, alcanza más calidad cuanto mayor sea su contenido en amilosa, pues el grano del cereal resulta menos pegajoso en la cocción.

En la práctica, las propiedades y características de cada tipo de almidón viene a ser una función de las proporciones que contenga entre amilosa y amilopectina:

- La amilosa, como consecuencia de su estructura lineal, suele tener una gran tendencia a gelificar en caliente y precipitar cuando se enfría como consecuencia del fenómeno de la retrogradación.
- En cambio, la amilopectina, al tener una estructura ramificada suele dar soluciones muy viscosas, pero no es capaz de formar las redes moleculares, propias de los geles.

En el granulo, las cadenas de amilosa y amilopectina se asocian mediante enlaces de hidrógeno, con una disposición radial que origina regiones micelares cristalinas. El almidón de arroz se caracteriza por un contenido en amilosa muy variable (0-33 %) y formar granulos muy pequeños, del mismo tamaño que los glóbulos grasos homogeneizados, por lo que pueden ofrecer una textura similar.

Hoy día, se cultivan variedades de maíz y cebada con un elevado contenido en amilosa (50-60 %), así como variedades denominadas «céreas» de arroz o de maíz, cuyo almidón está formado casi exclusivamente por amilopectina, cuando lo normal es contener un 20-25 % de amilosa. Los almidones de los cereales conocidos como «céreos» presentan una gran estabilidad frente a los procesos de congelación-descongelación. Por ello se emplean para elaborar postres congelados y aquellas comidas congeladas que llevan salsas.

La utilización del almidón como componente alimentario se basa en sus propiedades de interacción con el agua, que favorece tanto el espesamiento como la gelificación:

a) Debido a la peculiar estructura micelar cristalina de los granulos, en los que la amilopectina se asocia mediante enlaces de hidrógeno con las cadenas lineales de amilosa, los granulos de almidón resultan prácticamente insolubles en agua fría, aunque pueden embeber pequeñas cantidades de agua de modo reversible.

Sin embargo, el calentamiento continuo en presencia de cantidad suficiente de agua hace perder birrefringencia a los granulos, porque se hidratan (hasta un 40 % de su peso) y se hinchán, pudiendo aumentar hasta 30 veces su volumen. La acción del calor proporciona la energía necesaria para romper los débiles enlaces existentes entre las micelas cristalinas, permitiendo que se solubilice la amilosa y se incremente la viscosidad.

La apariencia de los granulos cambia cuando se alcanza una temperatura, que es crítica para cada especie vegetal, y se denomina *temperatura de gelatinización*. Es un proceso de formación de un gel, denominado engrudo, que comienza de modo gradual y se hace efectivo cuando alcanza un cierto grado de temperatura. La viscosidad de las soluciones, el punto de formación del gel y las características del mismo, dependen de varios factores:

- Agitación de las moléculas, pues el batido rebaja el comienzo de la gelificación.
- Agua empleada, porque determinadas sales pueden reducir la temperatura del proceso.
- Tamaño de los granulos.
- Concentración del almidón.
- Naturaleza del almidón, puesto que la temperatura de gelatinización es característica de su origen botánico: trigo, 53-64; maíz, 61-72; arroz, 65-73; patata, 62-68, etc.

De todos ellos, el almidón de patata es el que ofrece las mayores capacidades tanto de hidratación como de hinchazón a la temperatura más baja.

El proceso puede ser seguido sin problemas mediante unas medidas de la viscosidad, parámetro que presenta un pico a la temperatura de gelificación. El engrudo de almidón caliente resulta viscoelástico y constituye una mezcla compleja formada por granulos y fragmentos de almidón hinchados, por agregados de moléculas dispersas y por la amilosa solubilizada. Si se continúa con el aumento de temperatura, el gránulo se colapsa y termina rompiéndose.

b) Cuando se enfría una solución diluida de almidón (<5 %), se produce un importante fenómeno, conocido como *retro gradación*. Consiste en la formación de un precipitado insoluble como consecuencia de una reordenación de las cadenas lineales de la amilosa, mediante nuevos enlaces de hidrógeno. La estructura ramificada de la amilopectina le obliga a una mayor lentitud en sus asociaciones. Este lento proceso de cristalización es el principal responsable del envejecimiento del pan. En el caso de soluciones más concentradas (5-10 %) se produce un realineamiento más rápido aunque desordenado, de tal modo que la asociación molecular sólo se produce en algunas zonas y el agua queda atrapada en los intersticios.

c) Los almidones carecen del poder edulcorante de los azúcares.

d) Cuando sufren una degradación parcial, a veces por la acción del calor seco, se transforman en *dextrinas*, compuestos formados por cadenas de tamaño intermedio, que manifiestan unas características específicas. Aunque suelen formar geles muy fluidos, presentan una gran capacidad para formar películas, por lo que resultan muy útiles para operaciones tecnológicas de revestimiento. Son sustancias que se pueden encontrar en la miel, en las frutas y en algunos jugos vegetales.

Desde siempre, la industria alimentaria ha utilizado los distintos almidones de cereales y de otras fuentes para diversas aplicaciones. Así, resultan muy adecuados como espesantes y aglutinantes para la elaboración industrial de sopas, salsas, alimentos infantiles, salsas mayonesas, productos de panadería, etc. También, como simple molécula de amilosa resulta muy útil para recubrimientos de algunos productos: dátiles, higos, patatas fritas, etc. Asimismo, la estructura de amilopectina se suele aplicar como agente espesante, estabilizante y de adhesión.

Sin embargo, las exigencias actuales de la tecnología alimentaria hace que los almidones naturales no sean capaces de cubrir la gama de propiedades fisicoquímicas que se requieren. Por ello, en la actualidad cabe distinguir entre *almidones naturales* y almidones modificados, de distinta aplicación en la elaboración de alimentos.

Una directiva de la Unión Europea de 1985 define lo que debe entenderse como *almidón natural*: «el hidrato de carbono constituido casi exclusivamente por unidades de D-anhidro-glucosa».

Los denominados almidones naturales, es decir, tal como se extraen de sus fuentes vegetales, no se comportan de modo correcto en todas las condiciones tecnológicas de elaboración de algunos alimentos: pH ácidos, tratamientos térmicos intensos y la congelación. Ningún almidón natural puede ser expuesto a condiciones mecánicas y térmicas rigurosas, sin que pierda gran parte de su viscosidad y poder ligante, porque cuando alcanza el hinchamiento máximo se rompe el gránulo. Además, el enfriamiento rápido propio de la congelación, provoca el fenómeno de la sinéresis, que le hace perder agua por exudación del gel y se altera la textura del alimento.

Para soslayar estas dificultades, en la práctica de la industria alimentaria se emplean otros tipos de almidones, que han sido modificados de alguna manera con la finalidad de conseguir algunas propiedades tecnológicas determinadas.

En este sentido, la anterior Directiva de la Unión Europea distingue tres tipos:

- *Almidón alimenticio modificado físicamente*, obtenido por tratamiento físico.
- *Almidón alimenticio modificado por vía enzimática*, obtenido mediante tratamiento con enzimas de calidad alimenticia, con un contenido en dextrosa equivalente (D. inferior a 3).
- *Almidón alimenticio modificado químicamente*, obtenido mediante uno o varios tratamientos específicos por vía química.

En la práctica se comercializan varios tipos de almidones modificados:

Los *almidones pregelatinizados* se preparan mediante unos tratamientos físicos de cocción o de extrusión, y a veces por ambos procesos unidos, que provocan una transformación física del gránulo y le capacita para conseguir una hinchazón con agua fría. A veces, se combina con los tratamientos químicos para alcanzar también otras propiedades.

Aunque son almidones solubles en frío, sin embargo, son productos que dispersan muy mal, porque rápidamente incrementan la viscosidad del medio. Para mejorar su empleo se les mezcla con azúcar, glucosa o sal que evitan la formación de grumos y reducen parcialmente el poder espesante del almidón. Se emplea en una gama amplia de productos: cereales en granos, copos o escamas para desayunos; sopas; bebidas instantáneas; etc.

También, mediante tratamientos químicos diversos se obtienen dos grupos diferentes de almidones modificados:

a) Los *almidones reticulados*, que se consiguen por reacción del almidón natural con algún compuesto que posea grupos funcionales capaces de reaccionar con los grupos OH. De este modo, se forman puentes intermoleculares que conducen a una reestructuración de las cadenas moleculares y refuerzan la estructura del gránulo.

Presentan la ventaja de una mayor estabilidad frente a la congelación y la fritura propia de la elaboración de croquetas y rebozados de pescado. También resultan muy útiles como espesantes para aquellos productos que han de prepararse en medio con pH ácido o han de sufrir un proceso de esterilización: salsas y sopas, platos cocinados, alimentos infantiles, aliños para ensalada, etc.

b) Los *almidones estabilizados*, son aquéllos cuyos grupos OH en posición 1 y 6, considerados principales responsables de la *retro gradación*, se han bloqueado mediante la introducción de grupos éter (hidroxietilos, hidroxipropilos) o éster (acetatos, fosfóricos). El tipo de bloqueo a efectuar varía con la naturaleza del almidón, en función de la proporción de moléculas de amilosa que posea.

Presentan una gran resistencia frente a la posibilidad de gelificar cuando se encuentran a concentraciones elevadas, así como a la aparición del fenómeno de la sinéresis. Resultan adecuados para elaborar alimentos que requieren una gran cantidad de almidón para espesar, pero no interesa que gelifiquen; son particularmente aptos para elaborar productos alimenticios destinados a ser ultracongelados.

También por modificación del almidón se pueden obtener estructuras en forma de anillo, que reciben el nombre de *ciclodextrinas*, destacando entre ellas la beta-ciclodextrina, cuyo anillo está formado por siete unidades de glucosa, por su empleo en la industria alimentaria para estabilizar sustancias aromáticas añadidas en la formulación de algunos alimentos. Estos productos se metabolizan como los demás carbohidratos de la dieta, pero hay que tener la certeza de haber eliminado por completo los residuos de las sustancias empleadas en su obtención, debido a su posible carácter tóxico. Su empleo comenzó en Japón en 1976 y mediada la década de los años ochenta su uso se extendió a otros países, entre ellos España.

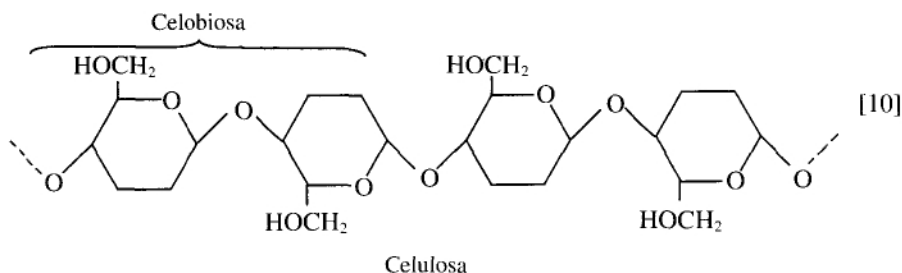
En resumen, los *almidones naturales* son apropiados para alimentos de consumo inmediato, mientras que los *almidones modificados* son recomendables para aquellos que han de ser conservados durante un cierto tiempo, después de sufrir procesos de frío o de tratamientos térmicos intensos.

El *glucógeno* es el carbohidrato de reserva en los mamíferos, con una configuración química semejante a la estructura de los almidones. Su presencia en los alimentos es más bien escasa y sólo algunos alimentos de origen animal (ostras, mejillones, hígados) lo contienen en cantidades ponderables; en la práctica carece de relevancia para la industria alimentaria.

Polisacáridos estructurales

Dentro de los polisacáridos estructurales se encuentran las celulosas, las hemicelulosas y las sustancias pécticas.

La *celulosa*, es el polisacárido más importante que integra la estructura de las paredes de las células vegetales [10]. Es un polímero lineal formado por numerosos bloques de celobiosa (dos unidades de D-glucosa con enlaces beta 1:4), para los que nuestro sistema digestivo carece de enzimas hidrolíticas. Por ello, su presencia natural en los alimentos suele tener una importancia puramente dietética, puesto que al no ser digerida en el tracto digestivo humano forma parte del concepto de fibra dietética.



Por una hidrólisis ácida de la pulpa de la madera se rompen las fibras vegetales naturales y se obtiene el polisacárido celulosa en la forma microcristalina o en polvo, que se emplea como aditivo por la industria alimentaria.

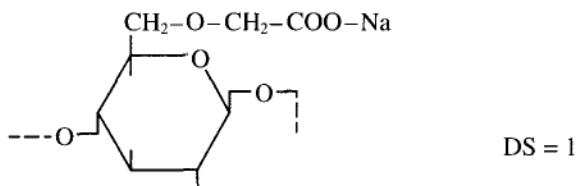
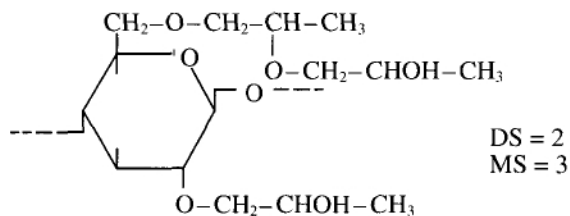
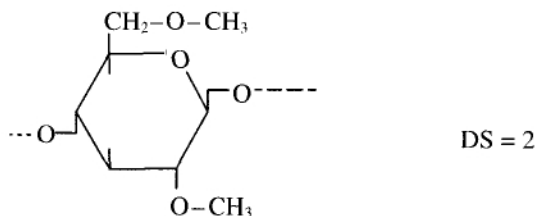
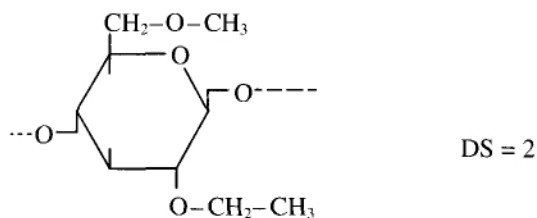
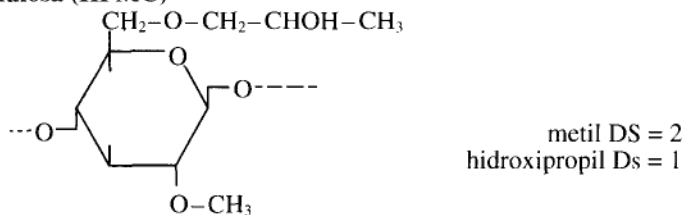
Mediante tratamientos de una solución de celulosa en NaOH con algunos agentes orgánicos (cloruro de metilo, monocloroacetato sódico u óxido de propileno) se consiguen sustituir algunos grupos hidroxilos por otros: metilo, carboximetilo y hidroxipropilmetilo, dando lugar a los derivados metilcelulosa, carboximetilcelulosa o hidroxipropilcelulosa.

En la Tabla 5.2 se indican las estructuras químicas de los principales derivados de la celulosa.

Mediante la regulación de las condiciones experimentales se consiguen productos comerciales con un grado medio de sustitución (GMS) de grupos OH que oscilan entre 0,4 y 1,2. La razón de este proceder se debe a la mayor solubilidad de los compuestos con un número de sustitución inferior al teórico, que sería de 3. Además presentan unas propiedades fisicoquímicas más apropiadas para su aplicación en tecnología alimentaria. Se pueden emplear dentro de un amplio margen de pH, pero cuando la acidez se sitúa por debajo de 3,0 puede provocar una liberación de los grupos hidroxilos, con reducción de la solubilidad.

Tanto la celulosa, como sus derivados, forman soluciones viscosas, cuya magnitud depende del grado de polimerización, y se suelen emplear con fines tecnológicos muy diversos, aunque su principal aplicación suele ser la de agente espesante, efecto que producen incluso a bajas concentraciones. También se pueden emplear como sustancias ligantes, de modo especial aquellas de baja viscosidad. Otra propiedad de interesante aplicación en la industria alimentaria radica en su capacidad para formar finas películas superficiales transparentes, que son muy

Tabla 5.2
Principales derivados de la celulosa

Carboximetilcelulosa (CMC)**Hidroxipropilcelulosa (HPc)****Metilcelulosa (MC)****Metiletilcelulosa (MEC)****Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)**

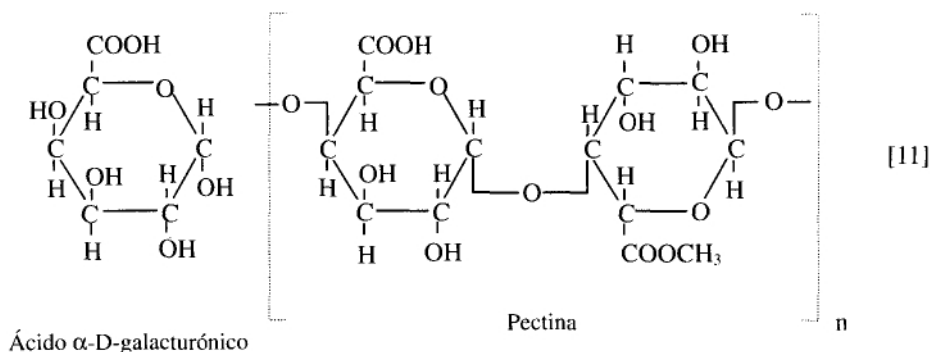
DS: número medio de OH por unidad de glucosa.

MS: número medio de moléculas combinadas con celulosa por unidad de glucosa.

resistentes a la acción de aceites y disolventes orgánicos. Además caben citar otras aplicaciones: agentes dispersantes; conferir volumen al alimento; retener mejor la humedad; rellenos, cubiertas, aderezos, etc., de modo particular en los alimentos de bajo aporte en calorías.

Las *hemicelulosas* se encuentran en las paredes celulares de los vegetales, en unión de celulosa, lignina y pectinas. Se extraen con soluciones acuosas alcalinas y su composición varía con la fuente vegetal de la que procede. En general, son polímeros formados por unidades de diversos monosacáridos: arabinosa, xilosa, mañosa, galactosa o glucosa, algunos de ellos con grupos carboxilos en posición 6 (ácidos urónicos). Cuando predomina la mañosa, suelen tener estructura lineal, pero cuando existe mayoría del grupo arabinosa-galactosa se ramifica, con cierta repercusión sobre la solubilidad. Las más interesantes se encuentran en las harinas de los cereales con una composición basada en los arabinoxilanos, dando lugar a los pentosanos hidrosolubles. Las hemicelulosas no son digeribles por las enzimas digestivas humanas y por ello se consideran integrantes de la fibra dietética.

Las *pectinas* [11], normalmente localizadas entre los espacios intercelulares de los tejidos vegetales de manzanas y cítricos, son sustancias poliméricas de elevado peso molecular, cuya cadena principal se encuentra formada esencialmente por enlaces beta 1:4 entre unidades (150 a 500) de ácido galacturónico, que pueden presentar sus grupos carboxilos parcialmente esterificados como metoxilos. En cambio, en las cadenas laterales se pueden encontrar también unidades de galactosa, ramnosa y arabinosa. Al incorporar en su composición enlaces químicos que no resultan digeribles por las enzimas digestivas, las pectinas forman parte de la denominada fibra dietética soluble, que una vez en el colon puede ser fermentada por los microorganismos y producir ácidos grasos de cadena corta, que son absorbidos de modo directo a través de la mucosa intestinal.



Estructura básica de las sustancias pécticas

Las pectinas comerciales consisten en polvos solubles en agua pura, en la que se disuelven con facilidad a 20-25 °C. Sin embargo, la dureza del agua puede influir de modo notable en esta solubilidad, con más o menos intensidad según el «grado de esterificación» de la pectina. Por lo general, este índice que caracteriza a cada pectina, suele representar el número de grupos carboxilos esterificados por cada

100 unidades de ácido galacturónico integrados en la cadena. Cuando este índice es superior al 55 % se considera que la pectina se encuentra altamente metilada, mientras que los valores inferiores al 50 % las califica como pectinas de bajo grado de metilación. Cuando se disuelven, forman soluciones coloidales con una viscosidad que depende del peso molecular medio y del grado de esterificación. Su estabilidad resulta ser función del pH y de la temperatura.

Su principal aplicación en la industria alimentaria radica en su capacidad de formar geles estables y firmes. Así, las pectinas ricas en grupos metoxilos gelifican tanto en medio acuoso como hidroalcohólicos, siempre que sean ricos en azúcar (60-85 %). En cambio, las pectinas pobremente metiladas pueden gelificar pero a condición de que estén presentes iones alcalinotérreos.

Parece que en soluciones diluidas, las moléculas de pectinas, normalmente hidratadas y cargadas negativamente, se encuentran dispersadas sin orientación alguna. Pero cuando se reduce la hidratación molecular, o se reduce la carga eléctrica, tiene lugar la formación de enlaces de hidrógeno que dan lugar a una red tridimensional, que aprisiona la fase líquida y proporciona al conjunto una apariencia de textura rígida. Por ello, las pectinas necesitan para formar el gel de un agente deshidratante, papel que asume la sacarosa en el caso de la elaboración de mermeladas.

Cuando se enfría una solución caliente que lleva una mezcla de pectina, ácido y sacarosa, se convierte en un gel. En este caso, el azúcar deshidrata, mientras que la presencia de un ácido favorece la formación de puentes de hidrógeno, porque la acidez del medio provoca la protonización de los grupos carboxilatos y reduce la repulsión electrostática entre las cadenas pécticas. Se organiza así una red tridimensional, que se estabiliza gracias a las interacciones hidrofóbicas de los grupos éster metílicos. Esto explica por qué las pectinas muy metiladas dan geles en medios muy azucarados, sin tener necesidad de la adición de un ácido que impida la forma iónica de los grupos carboxilos.

Son varios los factores implicados en la fijación de las condiciones óptimas para una buena gelificación péctica:

a) El porcentaje de pectina: la solidez del gel aumenta con la concentración de sustancia péctica.

b) El pH de la solución: los geles de pectinas suelen ser estables en el intervalo de pH entre 2,5 y 5,0, según la naturaleza de la pectina. En la medida que se pueda, conviene trabajar en la zona más alta de este intervalo porque la acidez hace más rápida la gelificación y también representa un ahorro en la adición de azúcar. La estabilidad de las pectinas frente a la acidez del medio le distingue de otros agentes gelificantes, como los carragenatos, más sensibles a los pH ácidos, y por ello son especialmente apropiadas para la gelificación de productos que presentan cierta acidez, como es el caso de pulpas y zumos de frutas. Sin embargo, una acidez extremada (pH inferiores a 2,5) puede conducir a una sinéresis del gel.

c) El peso molecular de la pectina: un peso molecular elevado favorece que las moléculas se puedan distribuir en una red tridimensional y atrapar en su interior a las moléculas que se encuentran en solución. Para la buena formación de un gel es necesario que las moléculas estén dispersas en forma coloidal.

d) La temperatura: es un factor que influye en el tiempo de gelificación, que resulta lenta por debajo de los 55 °C y muy rápida por encima de los 85 °C.

e) El grado de esterificación: las pectinas con un índice de metilación superior al 50 % necesitan para gelificar un medio ácido (pH entre 2,5 y 3,5), así como un contenido en sólidos solubles superior al 55 %, generalmente de azúcar. De ahí su empleo en la elaboración de compotas, jaleas y confituras. Las pectinas escasamente metiladas exigen de la presencia de iones Ca^{2+} para gelificar, así como un 10-20 % de sólidos solubles y un margen de acidez más amplio (pH entre 2,5 y 6,5). Por ello resultan especialmente apropiadas para la elaboración de algunos productos lácteos y en la preparación de alimentos con bajo poder calórico.

f) El porcentaje de sacarosa: el azúcar debe estar presente por encima de una concentración mínima, que viene determinada por la relación pectina/azúcar.

Mediante modificación química, se obtiene la *pectina amidada*, que permite la formación de geles sin la contribución de azúcar y de pH ácido.

En su contra, a las pectinas se les ha atribuido un efecto no deseable, como es la captación de minerales esenciales para la alimentación: calcio, zinc, hierro. Sin embargo, las investigaciones efectuadas hasta el momento no han confirmado este supuesto y sólo existen datos contradictorios para el caso del hierro. En su favor, se le reconoce algunos efectos positivos: promover la eliminación fecal de esteroides, que se refleja en una bajada del nivel del colesterol en sangre; retrasar la absorción intestinal de la glucosa, con el correspondiente reflejo en la concentración sanguínea después de las comidas, en beneficio de los diabéticos dependientes de la insulina.

Los *beta-glucanos* son polisacáridos ramificados compuestos por dos tipos de unidades beta-D-glucopiranosil: un 70 % con enlaces 4-0 y un 30 % con enlaces 3-0, que se encuentran en la avena y en los líquenes, que debido a formar soluciones viscosas en el intestino tienen como consecuencia favorable reducir los niveles de LDL-colesterol.

Gomas y mucílagos

Otros polisacáridos utilizados por la industria alimentaria para reforzar o modificar la textura de numerosos productos de su fabricación son las denominadas *gomas hidrocoloides*. Se trata de polímeros que, algunas veces, están integrados por un solo tipo de monosacáridos, pero que en la mayoría de los casos pueden participar en su estructura hasta cinco o seis monosacáridos diferentes, o bien sus derivados.

Son productos que suelen tener diversa procedencia y por su origen corresponden a cuatro grupos diferentes: a) logrados por extracción de semillas y raíces; b) obtenidos a partir de exudados de árboles; c) conseguidos mediante cultivos de ciertos microorganismos; d) extraídos de algunas variedades de algas marinas, rojas y pardas.

a) Extractos de semillas y de raíces

Numerosas semillas de leguminosas contienen polisacáridos del tipo de los galactomananos en los que unidades de beta-D-manosa y alfa-D-galactosa se distribuyen, no sólo con diferentes proporciones, sino también repartidas de modo arbitrario y agrupadas por bloques, que marca las características de sus propiedades. La cadena principal está formada por las moléculas de mañosa unidas a través

de enlaces beta $1 \rightarrow 4$, que lleva insertadas moléculas de galactosa mediante enlaces $1 \rightarrow 6$.

De todas las posibles, solamente dos adquieren importancia en su aplicación a la industria alimentaria: la goma guar y la goma garrofin. Ambos polímeros se caracterizan por la viscosidad de sus soluciones, que ofrecen un comportamiento pseudoplástico. En este sentido, la primera se incrementa con la concentración y el segundo crece con el grado de polimerización.

La *goma garrofin*, se encuentra en las semillas del algarrobo (*Ceratonia siliqua*), árbol aclimatado principalmente en el cercano Oriente y toda la región mediterránea, y como producto alimenticio tenía ya diversos usos en el antiguo Egipto. Su cadena principal está formada por cuatro unidades de mañosa por cada unidad de galactosa, e incluso pueden aparecer largos tramos carentes de esta última. Se piensa que esta particular estructura sea la responsable de sus propiedades sinérgicas con otros polisacáridos, como los carragenatos, con los que forma enlaces cruzados y proporciona buenos geles.

Sus funciones pueden ser muy variadas y la industria alimentaria la emplea para elaborar los más diversos alimentos: productos cárnicos tratados por el calor, tales como las conservas o las salchichas, en los que actúa como agente ligante y estabilizante; postres helados, en los que fija agua y les proporciona suavidad y cuerpo; quesos frescos, en los que acelera la formación de la cuajada; masas panarias escasas de gluten, en las que favorece la capacidad para retener agua, etc.

La *goma guar*, es el polisacárido del endospermo de la semilla de la leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, originaria de la India y Pakistán y usada en la alimentación desde hace cientos de años. Sus cadenas se caracterizan por incorporar dos unidades de mañosa por cada una de galactosa. Cuanto mayor sea la proporción de moléculas de galactosa insertadas en la cadena principal, más se favorece la separación entre ellas y mejor resulta la penetración del agua para actuar como disolvente. Tal vez por ello se hidrata con rapidez en agua fría y da lugar a soluciones muy viscosas y tixotrópicas, sin afectarse por la presencia de sales. Entre otras aplicaciones se emplea como espesante y estabilizador de helados y salsas para ensalada.

b) *Exudados de árboles*

Entre los polisacáridos que proceden de exudados de plantas caben destacar tres clasificados entre las gomas, que se usan como aditivos alimentarios: tragacanto, arábigo y karaya.

La *goma tragacanto*, muy conocida desde hace más de 2.000 años, es un exudado de diversas especies de *Astragalus*, propias del cercano Oriente: de Siria, Irán y Turquía. Se trata de un compuesto orgánico de estructura bastante compleja, que comprende dos fracciones bien distintas. Una de ellas está constituida por una cadena, a base de moléculas de ácidos D-galacturónico unidas por enlaces alfa $1 \rightarrow 4$, que en los carbonos C_3 incorpora cadenas laterales formadas por xilosa, galactosa y fucosa, con disposición lineal. La otra fracción, es una cadena de ácido galacturónico con grupos metoxilos. Esta goma es muy adecuada para obtener viscosidades elevadas y por ello se utiliza de modo fundamental como espesante de salsas y aderezos, a causa de su estabilidad frente al calor y a los pH ácidos; asimismo, proporciona una consistencia más blanda a los postres helados. No obstante, se sospecha que es causante de algún tipo de alergia.

La *goma arábica*, es una exudación desecada procedente de tallos y ramas de ciertos árboles del género *Acacia*, de modo principal la *Acacia senegalia* habitual de Sudán y Senegal; conocida desde hace unos 4.000 años en el antiguo Egipto. Está constituida por una mezcla de diversos polisacáridos muy similares, cuyas cadenas principales están formadas por moléculas de D-galactosa con enlaces $1 \rightarrow 3$, con una estructura lineal, pero que en los carbonos C_6 llevan insertadas cadenas ramificadas que contienen galactosa, arabinosa y ácido glucurónico en distintas proporciones. Es la más soluble en agua de todas las gomas, pudiéndose preparar soluciones hasta del 50 %; presenta viscosidades que dependen de los cambios de pH y de la presencia de electrolitos, debido a las cargas iónicas de sus moléculas, que sólo son elevadas para concentraciones muy altas. Resulta incompatible con algún otro polímero usado en tecnología alimentaria, como la gelatina o el alginato sódico.

Se utiliza como espesante, emulsificante y estabilizante en una gran variedad de productos: reduce o previene la cristalización del azúcar y la pérdida de agua en dulces de confitería; evita la formación de grandes cristales de hielo en los helados; en las bebidas estabiliza las emulsiones y las espumas; posibilita la preparación de concentrados de aroma en forma de polvo, por lo que es un eficaz fijador de aromas, etc.

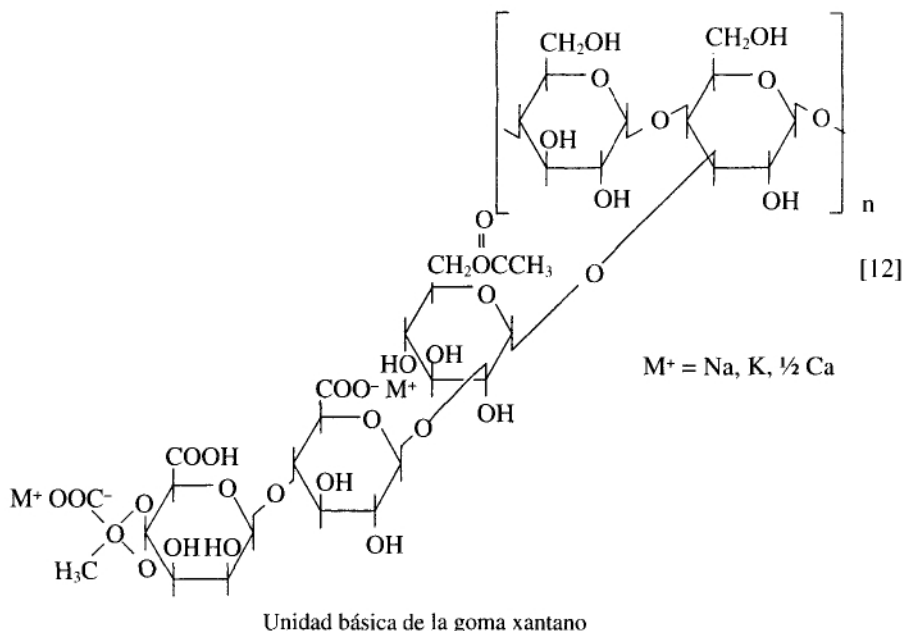
La *goma karaya*, exudado del árbol *Sterculia urens*, que abunda en la India. En esquema, su estructura corresponde a un polisacárido acetilado, que contiene ácido galacturónico, galactosa y ramnosa, y se caracteriza por su naturaleza ácida y una solubilidad más bien escasa; tal vez sea la goma menos soluble. Se usa como aglutinante en derivados cárnicos porque en realidad actúa absorbiendo agua para dar lugar a dispersiones extremadamente viscosas. Hay que señalar que su empleo puede producir alergias en algunas personas.

c) Exudados de microorganismos

Varios cultivos de microorganismos producen polisacáridos que, aislados y purificados de modo conveniente, han recibido diversas aplicaciones, entre las cuales nos interesa las realizadas por la industria alimentaria. Los más utilizados de todos ellos son dos: xantano y gelano.

La *goma xantano*, es un polímero obtenido por cultivos de las bacterias *Xanthomonas campestris* al fermentar el almidón de maíz, encontrado como consecuencia de un programa de investigación sobre nuevas aplicaciones de este cereal. En su estructura interviene una cadena principal, algo similar a la celulosa, con grupos de oligosacáridos unidos como ramificaciones [12].

Un examen de su estructura ha demostrado que cada dos unidades de beta-D-glucosa, enlazadas a través de uniones $1 \rightarrow 4$, lleva una ramificación en la posición 3 formada por un trisacárido que integra dos moléculas de manosa (algunas veces acetilada en el C_6) y una de ácido glucurónico (a veces enlazado al ácido pirúvico en los carbonos C_4 y C_6). Sus moléculas adoptan una conformación helicoidal, simple o doble, sin ninguna tendencia a la asociación y ordenación. En cambio, la presencia de electrolitos neutraliza su marcado carácter aniónico y facilita las formas estructuradas, que ofrecen propiedades tecnológicas interesantes: viscosidad elevada, que prácticamente no depende de la temperatura, y carácter pseudoplástico.



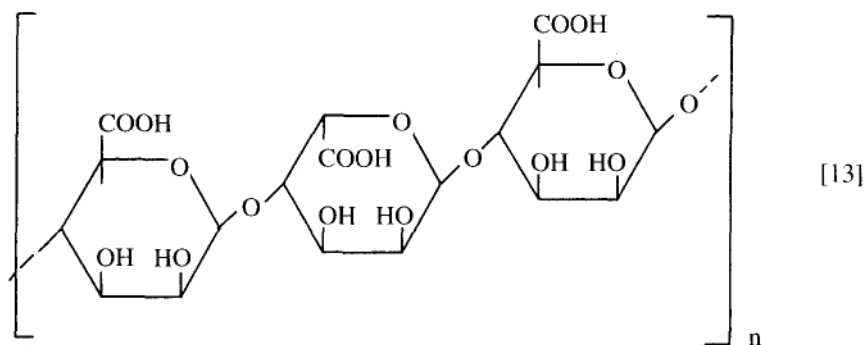
Es un producto muy soluble tanto en frío como en caliente, bastante estable frente a los efectos de la acidez dentro de un amplio rango y del tratamiento térmico. Por ello, se usa como espesante y estabilizante en muchas conservas alimenticias. También resiste los procesos de congelación y descongelación, por lo que se suele adicionar a los alimentos espesados con almidón que se han de conservar congelados, para mejorar su estabilidad y evitar la sinéresis. Igualmente, se aprovecha su sinergia con los galactomananos, como la goma garrofin: sus mezclas se pueden usar para formar geles. También sirve para reemplazar al gluten en alimentos horneados, ya que forma una matriz elástica al combinarse con el almidón, por lo que resulta aconsejable para alimentos destinados a las personas celiacas, que no toleran el gluten. Prácticamente no se digiere en el tracto digestivo y se elimina por las heces.

A finales de 1990 se ha autorizado en los EE UU de América el empleo de la *goma gelano* para la fabricación de helados y mermeladas. Se trata de un polisacárido extracelular, elaborado a partir de cultivos de *Pseudomonas elodea* cuando crece en materiales azucarados. Está constituido por macromoléculas lineales en las que se repite una estructura de tetrasacárido formado por dos unidades de glucosa, un ácido glucurónico y una ramnosa. Puede formar geles en medio ácido, o en la presencia de iones Ca^{2+} , a concentraciones tan reducidas como 0,05 %.

d) *Extractos de algas marinas*

Los polisacáridos de origen marino son polímeros aniónicos, que se obtienen de dos grupos diferentes de algas: pardas y rojas, recolectadas en varias zonas mundiales, y que marcan las características estructurales y sus propiedades de aplicación en la industria alimentaria.

Los *alginatos* se obtienen mediante extracción alcalina de diferentes tipos de algas pardas de la Clase *Phaeophyceae*. Su principal fuente comercial es la especie gigante *Macrocystis pyrifera*, aunque también se extraen de *Fucus serratus*, *Laminaria digitata*, *Laminaria cloustonii*, etc. Son copolímeros lineales con enlaces 1 → 4, integrados por unidades de ácido beta-D-manurónico y alfa-L-gulurónico, en los que se repiten módulos de 20-30 unidades de cada ácido glucónico. Las cadenas disponen de zonas donde sólo existen uno de ellos y zonas donde se alternan. Cuando el poliurónido está constituido por el enlace de los dos ácidos se le denomina ácido algínico [13], que es insoluble en agua, al igual que sus sales alcalinotérreas, pero no así sus sales alcalinas, que son las que se suelen usar. Su comportamiento alimentario resulta muy parecido al de las pectinas poco esterificadas, es decir, puede formar geles cuando se encuentra en presencia de iones Ca^{2+} , que no son reversibles cuando se calientan.



Estructura base del ácido algínico

Los alginatos se degradan por encima de los 50 °C en aquellos medios cuyo pH esté comprendido entre 5,0 y 9,0, por lo que su uso en alimentos que han de ser pasteurizados a temperaturas relativamente elevadas exige que el calor se aplique durante tiempos muy cortos. Sus principales aplicaciones alimentarias se basan en sus propiedades espesantes, gelificantes, floculantes, de formación de coloides y de películas superficiales, de modo particular las dos primeras, aunque uno de sus primeros usos fue la de estabilizante de helados, porque a pequeñas concentraciones impiden que durante la congelación se formen cristales grandes, perjudiciales para la textura.

Hoy día se usan como control reológico de mermeladas, helados, jugos de frutas y rellenos de pasteles. En estos últimos no sólo aumentan la viscosidad de la crema, sino que también evitan la sinéresis del gel y, por tanto, impiden que se humedezcan las partes externas.

Cuando a una solución de alginato soluble se le introduce de modo controlado cationes de metales alcalinotérreos, se consigue la formación de un gel. En la práctica se suelen utilizar los alginatos sódico y cálcico. Varios son los factores que influyen en la formación de este gel y en las propiedades que presenta:

- a) Su estructura química y el peso molecular: los alginatos relativamente ricos en ácidos gulurónico tienden a formar geles firmes, pero quebradizos, mien-

tras que los ricos en ácido manurónico suelen dar geles flexibles. El peso molecular es un factor determinante de la viscosidad.

- b) La concentración de alginato: determina la fuerza de gelificación, dentro de unos límites fijados por la viscosidad del sistema obtenido.
- c) La relación entre la sal sódica y la sal cálcica: cuanta mayor sea la posibilidad de pasar del alginato sódico soluble al alginato cálcico insoluble, mayor fuerza tendrá la gelificación. Sin embargo, cuando más elevada sea la proporción de cationes de Ca^{2+} mayor será el riesgo de que se produzca una sinéresis del gel, nunca deseable.
- d) El pH: la concentración protónica del medio es un factor determinante de la solubilidad de las sales de calcio; por eso, los pH ácidos favorecen la gelificación, aunque la acidez extrema conduce a una sinéresis.
- e) La temperatura: El calor aumenta la solubilidad de los componentes y la velocidad de reacción, pero los tratamientos térmicos prolongados, de modo particular si el pH es ácido, pueden conducir a una despolimerización molecular y a pérdidas en la fuerza del gel. La mayoría de los geles de alginatos se alteran cuando se calientan por encima de los 100 °C, lo que representa un impedimento para el empleo de alginatos en alimentos que han de sufrir un proceso de esterilización. Tal vez por ello, la mayoría de sus aplicaciones hacen referencia a productos que se elaboran a la temperatura ambiente.
- f) La forma física de los reactivos: Hay que tener en cuenta que la mayoría de las formulaciones para geles de alginatos implican el empleo, cuando menos, de un componente en forma de polvo fino, que debe ser distribuido de modo uniforme para que se disuelva a una velocidad determinada. También, algunas sales de calcio, como sulfato y fosfato ácido, se presentan bajo distintos grados de hidratación y en formas cristalinas diversas. La distribución del tamaño de las partículas tienen un marcado efecto sobre la solubilidad y, por tanto, sobre la disponibilidad de los iones Ca^{2+} . Para obtener resultados uniformes es necesario normalizar el tamaño de las partículas.

Los alginatos son polisacáridos que no se absorben en el tracto digestivo y cuando superan la concentración del 4 % pueden provocar pérdidas de los metales divalentes esenciales, como calcio o hierro.

La industria alimentaria aprovecha varias de sus propiedades:

- Su capacidad para retener agua, incluyéndolo en la masa para el relleno de pasteles; sus propiedades emulsionantes y estabilizantes, para elaborar zumos, batidos lácteos y jarabes.
- Su capacidad gelificante, para fabricar los postres instantáneos; su capacidad para formar finas películas en la superficie de alimentos, con el fin de protegerles de futuras alteraciones; etc.

El *agar-agar*, extraído por medio del agua hirviendo de algunos tipos de algas rojas (clase *Rhodophyceae*, género *Gellidium*) que se recolecta en la costa oeste del Atlántico, México y Japón, país donde ya se conocía en el siglo xvn y pasa a Occidente en el siglo XIX. Su estructura corresponde a una mezcla de varios polímeros formados por cadenas lineales donde se da una alternancia de moléculas de galactosa, unidas mediante enlaces beta 1 → 4, y moléculas de 3,6-anhidrogalactosa, unidas por enlaces alfa 1 → 3. Este tipo de estructura presenta la capacidad de fijar una gran cantidad de agua y dar geles muy elásticos y térmicamente reversibles a

concentraciones muy bajas (0,04 %), aunque con un comportamiento diferente cuando se enfrían. Un fenómeno de histéresis térmica hace que para fundir haya que superar los 85 °C y que para solidificarlo de nuevo haya que enfriar por debajo de 40 °C.

Muchas veces, el agar sustituye a las pectinas en la elaboración de frutas gelificadas o a la gelatina en algunas preparaciones de carnes o de pescado; a bajas concentraciones de 0,01 % se suele aplicar en la fabricación de helados y sorbetes, combinado con las gomas garrofin o tragacanto; añadido al pan retrasa su envejecimiento; también se usa para estabilizar el yogur, los quesos frescos y los rellenos de pastelería. No se digiere en el tracto intestinal y puede originar flatulencia, pero sólo en cantidades muy superiores a las que se suele encontrar en los alimentos.

Los *carragenatos* también se extraen de las algas rojas de la clase *Rhodophyceae*, principalmente del *Chondrus crispus* (musgo irlandés), así como de otras especies (*Gigartina*, *Euchema*, *Hypnea* e *Iridaea*). Son compuestos, utilizados ya en Irlanda desde hace más de 600 años para fabricar postres lácteos, que corresponden a una mezcla compleja de polisacáridos integrada al menos por cinco polímeros que difieren en la forma y configuración de sus monómeros, que tienen profunda repercusión sobre sus propiedades: kappa (κ), lambda (λ), mu (μ), iota (ι) y nu (ν), aunque sólo los dos primeros tienen amplio empleo en la industria alimentaria. Ninguno de ellos puede ser digerido por las enzimas digestivas del ser humano. Sus estructuras básicas se indican en la Tabla 5.3.

La extracción de las algas se lleva a cabo mediante agua caliente, para obtener un jarabe después de eliminar el residuo insoluble. Se trata con alcohol para conseguir su deshidratación y de este modo se obtiene un polvo blanquecino, sin sabor ni olor. En general, los carragenatos están formados por una cadena en la que intervienen unidades de 3,6-anhidrogalaactosa y de galaactosa, unidas por enlaces alfa 1 $\rightarrow$ 3, que alternan con enlaces beta 1 $\rightarrow$ 4; dichas cadenas pueden tener radicales sulfatos, en proporciones diferentes según los casos.

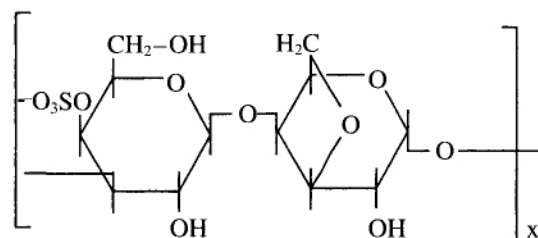
Para que un carragenato forme un gel resulta necesario varias condiciones:

- poseer bastantes unidades de 3,6-anhidrogalaactosa, que le confiere un carácter más hidrófobo;
- dispersar en agua fría; calentar hasta los 80 °C;
- enfriar enseguida por debajo de los 40 °C y sin agitar.

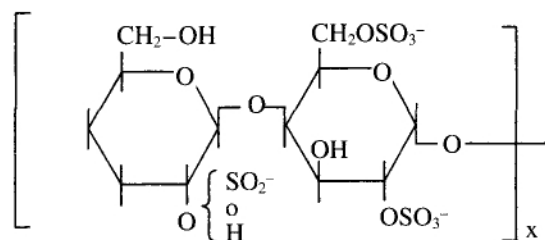
Estos requisitos pueden ser cumplidos cuando se trabaja con los carragenatos kappa; en cambio, cuando las moléculas de carragenato contienen muchos grupos sulfatos adquieren un carácter muy hidrofílico, que les permite disolverse fácilmente en agua fría dando lugar a soluciones de viscosidad alta y una reología totalmente distinta a los anteriores: su comportamiento se corresponde mejor al de los espesantes. En estas propiedades influyen en primer lugar el grado de polimerización y, en menor proporción, el catión que se une al grupo sulfato. Estas exigencias la cumplen los carragenatos lambdas, que son muy ricos en radicales sulfatos.

El catión fijado por el grupo sulfato suele ser determinante de algunas de sus propiedades: el de sodio es muy soluble en agua fría, donde actúa como espesante y nunca como gelificante; los de potasio, calcio, magnesio o amonio, necesitan de un calentamiento a 50-80 °C para que se disuelvan en su totalidad. Una vez enfria-

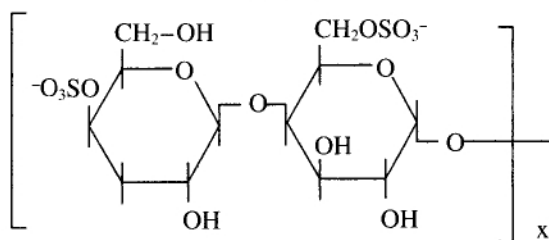
Tabla 5.3
Estructuras básicas de los diferentes tipos de carragenatos



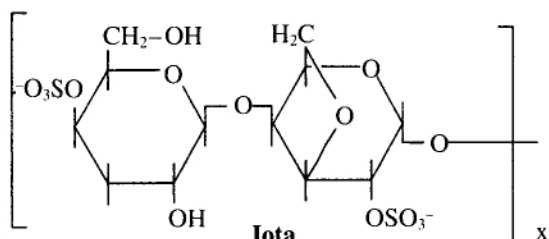
Kappa



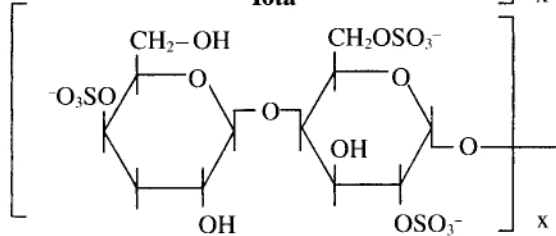
Lambda



Mu



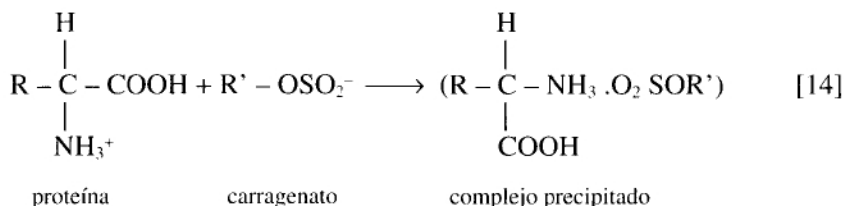
Iota



Nu

das estas soluciones calientes, se obtiene un gel reversible, cuya rigidez está en función de la concentración del polisacárido, de la temperatura, del tiempo de calentamiento y del grado de polimerización. Tanto las soluciones acuosas como los geles en agua son bastante estables a pH superiores a 3,5.

Una reacción muy particular, dependiente del pH del medio, es la que presentan los carragenatos con las proteínas: en medio ácido, el polisacárido se comporta como una sustancia polianiónica y precipita a todas las proteínas que se encuentren por debajo de su punto isoeléctrico [14].



Por el contrario, en medio neutro, las proteínas de la leche forman un gel muy fuerte, más robusto que con el agua, fenómeno de gran interés para la industria láctea, que de este modo consiguen geles bastante rígidos con cantidades reducidas de carragenatos. No se conoce con detalle la naturaleza de esta reacción, aunque se supone que los cationes Ca^{2+} de la leche sirven de puente entre las moléculas de caseína y de carragenato.

Los geles de carragenatos resisten bien la congelación, pero los tratamientos térmicos elevados pueden degradarles, sobre todo cuando se encuentran en medio ácido. Precisamente, esta circunstancia es motivo de preocupación por el carácter tóxico de algunos productos secundarios; de aquí que se esté a la espera de resultados concluyentes, que han de ser aportados por diversos estudios toxicológicos.

Su aplicación en la industria alimentaria es muy variada, tanto para alimentos salados como dulces, y está basada en su capacidad para gelificar o para aumentar la viscosidad de las soluciones, así como su poder estabilizador de diversos sistemas alimentarios: así, evita la sinéresis en los quesos frescos, mejora la textura de las fibras proteicas en conservas cárnicas, favorece la reología de la masa panaria, impide la separación de proteínas en las leches condensadas, etc.

El *furcellarano* es un polisacárido de estructura muy similar al kappa-carragenato, del que se diferencia porque sólo lleva un resto sulfato cada tres o cuatro unidades de monosacárido. Se obtiene a partir del alga roja *Furcellaria fastigiata* y a veces se le conoce con el nombre de «agar danés». No forma geles en presencia de cationes Na^+ , pero sí da lugar a geles muy firmes con las demás sales alcalinas. Como proporciona muy buenos geles en presencia de leche, se utiliza bastante en la elaboración de todo tipo de productos lácteos. Igualmente, forma geles con gran rapidez en presencia de azúcar y por ello resulta muy adecuado para los recubrimientos con azúcar usados en pastelería; asimismo, se está empleando en la fabricación de productos cárnicos que llevan rellenos a base de carnes y de patés. También lo emplea la industria cervecera para la filtración del producto a fin de evitar que se enturbie con el frío, porque la presencia de este polisacárido permite una buena separación de las proteínas.

Uso de polioles derivados de azúcares

Además de estos hidratos de carbono, algunos alimentos, tales como frutas o diversas partes de vegetales, pueden incluir en su composición química estructuras de polialcoholes, que derivan de la hidrogenación parcial del grupo carbonilo de algunos mono y disacáridos. En el terreno biológico se conocen enzimas redox que usan NAD o NADP como cofactores, capaces de dar lugar a estos compuestos a partir de ciertos alditoles. También la vía química resulta fácil para reducir el grupo CO mediante las acciones catalíticas de borohidruro de sodio, amalgama de sodio, etc. Suelen ser sustancias que raramente se encuentran combinadas, al contrario de las osas de procedencia; sólo cabe citar un glicósido del manitol que se localiza en algunas especies de algas.

Entre los principales polioles que usa la industria alimentaria caben destacar el sorbitol y su isómero manitol, seguidos de maltitol, lactitol y xilitol (Tabla 5.4). El actual interés por estos compuestos radica en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas:

- Carecen de poder cariogénico al no ser fermentados por la mayoría de los microorganismos de la placa dental.
- Toman parte en el metabolismo de los azúcares por vías perfectamente conocidas, no dependientes de la insulina.
- Fijan muy bien el agua en productos de humedades intermedias; etc.

Su poder edulcorante es muy variable y nunca superior al de la sacarosa (1,0); xilitol (0,9); maltitol (0,9); manitol y sorbitol (0,6); lactitol (0,4).

El *sorbitol* es un componente de numerosos alimentos naturales, con preferencia en frutas, aunque el comercial procede de una hidrogenación química de la glucosa. Sus aplicaciones en virtud de sus propiedades fisicoquímicas son muy variadas:

- Fijación del agua del alimento, que sólo podrá evaporarse de modo muy lento.
- Impide la formación de grandes cristales por parte de la sacarosa y de la glucosa, además de retrasar la cristalización de los tamaños pequeños.
- Produce jarabes con viscosidades relativamente bajas, que facilita su aplicación en tecnología alimentaria.

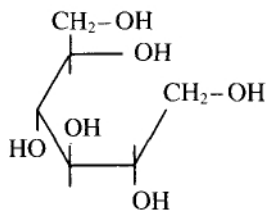
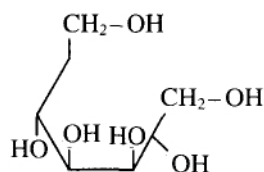
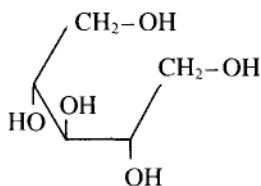
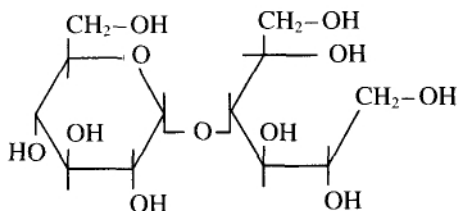
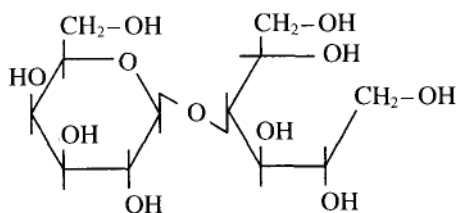
Por otra parte, resulta muy útil en alimentos para diabéticos porque después de su ingestión, no eleva de modo significativo el nivel de glucosa en sangre, al entrar en el metabolismo por la vía de la fructosa. No obstante, en cantidades excesivas puede ocasionar flatulencia, distensión abdominal y diarreas osmóticas.

Su isómero, el *manitol*, abundante en vegetales y algunos hongos, se caracteriza desde el punto de vista tecnológico por ser menos higroscópico que los otros polioles y por ello resulta adecuado para ser empleado en la elaboración de gomas de mascar. Su participación en el metabolismo es parecida a su isómero, aunque en el hígado sólo se metaboliza el 50 % de lo ingerido y el resto se excreta por heces y orina, favoreciendo la diuresis.

Como se indica en la Tabla 5.5, los hidratos de carbono predominan en alimen-

Tabla 5.4

Estructura de los principales polioles usados en la industria alimentaria

**D-SORBITOL****D-MANITOL****XILITOL****D-MALTITOL****D-LACTITOL**

tos de origen vegetal. No se encuentran en las grasas animales ni vegetales, apenas están presentes en huevos, pescados, pollos y carnes (con la excepción del hígado). La única fuente animal importante es la leche, que contiene lactosa. Sin embargo, son fuentes importantes los cereales, las legumbres, los tubérculos, la remolacha y la caña de azúcar, así como las cáscaras de semillas.

Entre los alimentos transformados, hay que señalar como ricos en hidratos de carbono las pastas para sopa, la leche en polvo, las galletas y bizcochos, el pan, las mermeladas y jaleas, los dulces, las gelatinas, etc.

Tabla 5.5

Origen de los hidratos de carbono alimentarios

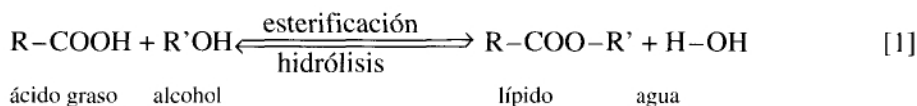
Fuentes	Cereales Leguminosas Tubérculos	Remolacha Caña de azúcar	Leche	Cáscaras de semillas	
Polisacáridos	ALMIDÓN				
Disacáridos	MALTOSA	SACAROSA	LACTOSA		
Monosacáridos	GLUCOSA	FRUCTOSA		XILOSA	
Polialcoholes	MALTITOL	SORBITOL	MANITOL	LACTITOL	XILITOL

Estudio bromatológico de los lípidos

- Introducción.
- Propiedades de interés bromatológico de los ácidos grasos libres.
- Propiedades de interés bromatológico de acilglicerolos.
- Propiedades de interés bromatológico de algunos derivados de ácidos grasos.
- Propiedades de interés bromatológico de fosfoglicéridos.
- Propiedades de interés bromatológico de esteroides.
- Lípidos modificados no absorbibles.

Introducción

Desde el punto de vista químico, tiene la consideración de *lipido* todo componente orgánico que incorpora en su estructura algún ácido graso. La mayoría de ellos son esteres formados entre los ácidos grasos y un alcohol: glicerol, alcohol alifático de cadena larga, esteral, etc. Al ser esteres de ácidos orgánicos hidrófobos, sus procesos de síntesis y degradación transcurren según reacciones lentas, aunque reversibles [1]:



Los lípidos son destacados componentes estructurales y funcionales de los alimentos. Su presencia incide de modo bastante significativo sobre la calidad de los mismos, incluso cuando se hallan en proporciones reducidas. Los más abundantes se encuentran bajo la forma de triacilglicerolos, a los que se les suele aplicar las denominaciones de *grasas* y *aceites*, según sean sólidos o líquidos a la temperatura ordinaria. No sólo contribuyen a las propiedades sensoriales de sabor, olor y fia-

vor, sino que aportan suavidad a la textura, facilitan la masticabilidad y proporcionan una sensación de saciedad cuando son consumidos.

El organismo humano necesita de estos compuestos químicos para el desarrollo de su vida y las grasas disponibles que lleguen a cada una de sus células pueden proceder de un origen triple:

- a) Movilización de los depósitos grasos.
- b) Procesos de síntesis internos.
- c) El aporte alimenticio, que suele ser el más relevante.

Desde un punto de vista nutritivo, ofrecen el beneficio adicional de cumplir funciones importantes. Todo organismo aprovecha las grasas de la dieta para alcanzar los objetivos más variados:

- Como una fuente energética metabólica fácilmente disponible.
- Como vehículo de vitaminas liposolubles o de ácidos grasos poliinsaturados esenciales.
- Para la síntesis de sustancias químicas biológicamente importantes, dentro de un perfecto equilibrio bioquímico y fisiológico entre las grasas que llegan a los centros metabólicos y las grasas que son metabolizadas.

Los lípidos alimenticios presentes en nuestras dietas suelen proceder normalmente de los depósitos grasos que animales y plantas acumulan en determinados tejidos. En los animales terrestres se encuentran repartidas a lo largo del cuerpo, formando depósitos en los tejidos subcutáneos y en la cavidad abdominal. Sin embargo, en muchos peces y otros animales marinos también se localizan en algunos órganos, tales como el hígado. En las plantas constituyen un material de reserva importante y se acumulan con preferencia en frutos y semillas.

Cada animal tiende a sintetizar los compuestos lipídicos característicos de su propia especie, por lo que no es difícil distinguir la grasa de uno u otro animal: pollo, vacuno, oveja, cerdo, etc. No obstante, en los animales monogástricos existen algunas modificaciones en función del tipo de grasa suministrada con la alimentación. Por otra parte, los lípidos que el organismo sintetiza a partir de sus hidratos de carbono ofrecen una mayor tendencia a ser lípidos saturados y, por consiguiente, más sólidas que la mayoría de las aportadas por los alimentos.

Las fuentes alimenticias más ricas en lípidos son los aceites vegetales, como los de oliva, soja, girasol o cacahuete, y algunos alimentos de origen animal, como mantequilla y manteca de cerdo. Los huevos de aves contienen en la yema unos 2/3 de sustancias lipídicas y la carne de cerdo puede contener un cierto porcentaje importante de depósitos grasos. También, algunas variedades de queso son especialmente ricos en componentes grasos, dependiendo de la leche de la que proceden y del proceso tecnológico de elaboración.

Generalmente, las tablas de composición de alimentos suelen indicar el contenido aproximado de lípidos bajo el concepto de *grasa total*, valor algo superior al real porque incluye todas aquellas sustancias orgánicas capaces de ser extraídas por los disolventes orgánicos que se utilizan para determinarlas. Como el que se suele emplear es el éter etílico, resulta más propio denominar *extracto etéreo* a esta fracción de la composición química de un alimento.

Para la caracterización rápida de los lípidos de un alimento se puede acudir a una reacción bastante rápida: la hidrólisis alcalina o saponificación. Este trata-

miento con álcalis permite distinguir en las grasas comestibles, y de un modo bastante claro, dos fracciones diferentes, desde un punto de vista analítico:

- a) Fracción saponificable: formada por la sal del ácido graso (jabón) y el alcohol correspondiente que queda libre.
- b) Fracción insaponificable: constituida por aquellos productos que no son afectados por la acción del álcalis, tales como esteroides, pigmentos, hidrocarburos, etc. En la práctica, la determinación cuantitativa del insaponificable representa un buen método analítico para descubrir falsificaciones y adulteraciones de algunas grasas comestibles.

Aunque los lípidos que toman parte en la composición de los alimentos pueden responder a las naturalezas químicas más variadas, sin embargo pueden ser reunidos en tres clases principales:

- Ácidos grasos libres.
- Triacilglicérol, también conocidos como triglicéridos.
- Fosfoglicéridos, asimismo denominados fosfolípidos.

Propiedades de interés bromatológico de los ácidos grasos libres

Los ácidos grasos que intervienen en las estructuras químicas de los lípidos alimentarios son ácidos carboxílicos alifáticos. De acuerdo con las recomendaciones de Ginebra, los átomos de carbono de la cadena molecular se numeran a partir del carbono que corresponde al grupo carboxilo terminal.

Según la longitud de su cadena carbonada, los ácidos grasos presentes en los lípidos de los alimentos pueden agruparse bajo tres denominaciones:

- De cadena corta, cuando tienen menos de 6 carbonos.
- De cadena media, cuando tienen entre 6 y 10 carbonos.
- De cadena larga, cuando tienen más de 12 carbonos.

A su vez, la cadena no polar que acompaña al grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) del ácido graso puede ser de dos tipos:

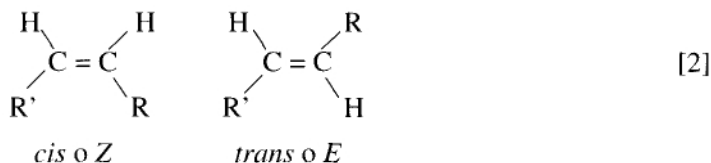
- Saturada, bajo tres posibilidades: lineal, ramificada y cíclica.
- No saturada, con uno (monoenoico) o más (polienoicos, conjugados y no conjugados) dobles enlaces.

Con pocas excepciones, la mayoría de las grasas animales y aceites vegetales contienen ácidos grasos de cadena recta y un número par de átomos de carbono en su molécula, excepto los de bajo peso molecular. Además, estos ácidos grasos pueden ser de tres tipos: saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI). En los alimentos podemos encontrar AGS cuyo número de átomos de carbono oscila entre 12 y 22, destacando el *mirístico* (12:0), el *palmítico* (16:0) y el *estearico* (18:0). Los inferiores a 16 átomos de carbono sólo son frecuentes en las

grasas de origen vegetal, pues apenas se encuentran en alimentos de origen animal, con la excepción de la leche de los rumiantes, cuya grasa es rica en ácido butírico, como consecuencia de las características del metabolismo de la panza de estos animales, que transforman el forraje recibido con su alimentación en ácidos grasos saturados de cadena corta, que son absorbidos por el animal.

Entre los AGMI destaca el *oleico* (18:1), universalmente distribuido entre los lípidos de origen animal y vegetal. De acuerdo con la organización de su molécula entorno al enlace insaturado, su doble enlace corresponde a la configuración *cis*, también denominada configuración *Z*, que suele ser la que abunda en la naturaleza. También se puede citar el *elaídico* (18:1), de estructura semejante al anterior, con la diferencia de la distribución espacial del doble enlace, que en este caso responde a la configuración *trans*, también conocida como configuración *E* [2]. Este ácido está presente en pequeñas cantidades en la grasa de la leche, pero puede abundar en las grasas transformadas que han sido elaboradas con aceites parcialmente hidrogenados.

Los AGPI se caracterizan por tener dos o más dobles enlaces en sus moléculas, normalmente separados por grupos metilenos simples, es decir, sus estructuras corresponden a sistemas 1,4 dienos. Se pueden encontrar en algunas grasas de origen vegetal y con cierta abundancia en los aceites de pescado. Por la situación del doble enlace contando a partir del carbono metilo de un extremo de la cadena se suelen agrupar en dos familias: los omegas 3 y los omegas 6.



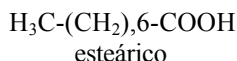
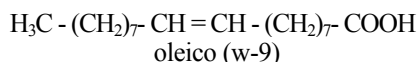
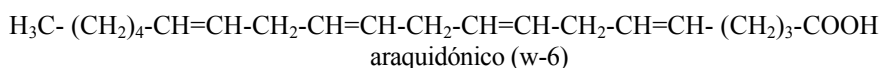
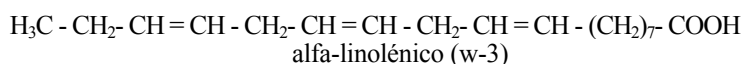
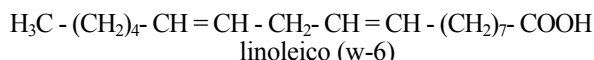
Por su importancia nutricional y biológica destacan entre todos ellos los siguientes: El ácido *linoleico* (18:2,w-6), abundante en los aceites comestibles, tales como algodón, girasol, maíz, soja, etc. El ácido *alfa-linolénico* (18:3,w-3), contenido en los aceites de algodón, nuez, onagra y soja. Ambos ácidos se consideran esenciales para la alimentación humana, porque nuestras células sólo son capaces de sintetizar ácidos con un solo doble enlace y los demás AGPI pueden obtenerlos a partir de algunos de los dos esenciales. El ácido *gamma-linolénico* (18:3,w-6), mayoritario en los lípidos de las hojas verdes y del fitoplacton, así como en los animales marinos que se alimentan de éste. El ácido *araquidónico* (20:4,w-6), presente en el aceite de cacahuete, que puede ser sintetizado por el ser humano por elongación del linoleico. El ERA o ácido *eicosapentanoico* (20:5,w-3) y el DHA o ácido *docosahexaenoico* (22:6,w-3), ambos contenidos en cantidades significativas en las grasas de pescados y mamíferos marinos. Estos dos últimos tienen la importancia biológica de modular la biosíntesis de los derivados oxigenados del ácido araquidónico, denominados eicosanoides, que desempeñan funciones hormonales y tienen un papel importante en los procesos inflamatorios.

En la Tabla 6.1 se recogen de modo esquemático las estructuras más representativas de estos ácidos grasos.

Los AGPI son necesarios para la biosíntesis de numerosos compuestos de gran significación biológica: prostaglandinas, leucotrienos, tromboxanos, etc. Por ello,

Tabla 6.1

Estructuras esquemáticas de los ácidos grasos con mayor interés en la alimentación

Saturados:*Monoinsaturados:**Poliinsaturados:*

resulta imprescindible que los ácidos linoleico y alfa-linolénico sean suministrados con la dieta, pues a partir de ellos el organismo humano puede sintetizar los demás ácidos poliinsaturados, entre ellos el araquidónico, mediante deshidrogenación y elongación.

En los AGMI es frecuente encontrar el doble enlace en la posición 9-10 de la cadena carbonada, aunque en los procesos de hidrogenación de los aceites se pueden originar alguna isomería de posición, apareciendo los ácidos isooleicos, que tienen el doble enlace en las posiciones 8 y 12. En ocasiones, se pueden encontrar alimentos cuyas grasas contienen algún ácido graso con más de un doble enlace, pero dispuestos en forma conjugada; esto sucede cuando el alimento ha sufrido tratamientos con álcalis, que provocan esta transformación de modo irreversible.

Los lípidos alimentarios presentan una gran variedad de ácidos grasos entre los que destacan los incluidos en la Tabla 6.2. Las características que presenta cualquier grasa alimenticia vienen determinadas por las propiedades y posibilidades de reacción de los distintos ácidos grasos que incorpora en su estructura. Tales propiedades se hallan vinculadas unas veces a la longitud de la cadena, como ocurre con el punto de fusión, y otras veces a la insaturación, como sucede con la posibilidad de formar isómeros o de oxidarse.

El punto de fusión es una propiedad de gran importancia práctica, puesto que determina la consistencia líquida o plástica de la grasa para una temperatura determinada. A medida que se incrementa la longitud de la cadena de un ácido graso, se incrementa su punto de fusión: láurico (44,2 °C), palmítico (62,7 °C), esteárico (69,6 °C). Sin embargo, la presencia de un doble enlace rebaja este punto de fusión para una misma longitud de cadena, aunque mucho menos si la configuración es *trans* y no *cis*: así ocurre con el eláidico (44 °C), que es *trans*, frente al oleico (10,5 °C), que es *cis*.

Tabla 6.2
Ácidos grasos más frecuentes en las grasas alimenticias

A) Saturados de cadena lineal y número par

C-4:0	Butírico	C-14:0	Mirístico
C-6:0	Caproico	C-16:0	Palmitico
C-8:0	Caprílico	C-18:0	Estearico
C-10:0	Cáprico	C-20:0	Araquídico
C-12:0	Láurico	C-22:0	Behénico

B) Saturados de cadena lineal y número impar

C-5:0	Valeriánico	C-9:0	Pelargónico

C) Insaturados con dobles enlaces «cis» no conjugados

Familia w-9

C-18:1 (9)	Oleico	C-22:1 (13)	Erúico
C-16:1(9)	Palmitoleico	C-14:1 (9)	Miristoleico

Familia w-6

C-18:2(9, 12)	Linoleico
C-18:3 (6,9,12)	Gamma-linolénico
C-20:4 (5,8,11,14)	Araquidónico

Familia w-3

C-18:3 (9, 12, 15)	Alfa-linolénico

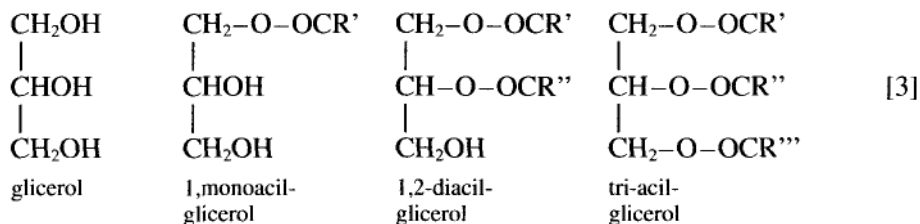
D) Insaturados con un dobles enlace «trans»

C-18:1 (tr9)	Elaídico

Por otra parte, la presencia de dobles enlaces en la cadena carbonada siempre representa un punto vulnerable para la estructura del ácido graso: les hace susceptible de sufrir reacciones de oxidación y para su estabilidad necesitan de la protección de agentes antioxidantes, como los tocoferoles.

Propiedades de interés bromatológico de acilgliceroles

Los acilgliceroles, considerados lípidos neutros porque no llevan cargas, resultan de una esterificación entre una molécula de glicerol y una, dos o tres moléculas de ácido graso [3]. La mayoría de los lípidos alimenticios proceden de los tejidos de reserva donde predominan los conocidos con el nombre de *triacilgliceroles* o triglicéridos, alcanzando a veces el 99 % de los lípidos totales.



Los triacilglicerol naturales son compuestos neutros, que están formados por una molécula de glicerol con sus tres funciones alcohol esterificadas por moléculas de ácidos grasos, diferentes en la mayoría de los casos (G-A|A₂A₃), aunque se pueden encontrar productos que sólo contienen dos tipos diferentes (G-A|A₂A₂) y muy raramente aquellos que sólo incorporan uno (G-A|A₁A₁).

Cuando la proporción relativa de un ácido graso concreto resulta superior al 33 % de los ácidos grasos totales, significa que existe una importante presencia de triglicéridos esterificados con un solo ácido graso. Como ejemplo se pueden citar las trioleínas (ácido oleico) del aceite de oliva o las tripalmitinas (ácido palmítico) del aceite de palma.

El número posible de triacilglicerol (α^3) depende del número de ácidos grasos diferentes (n), que esterifican cada una de las posiciones del glicerol (*sn-1*, 2 y 3). Así, con dos ácidos grasos distintos se pueden obtener ocho triglicéridos diferentes, mientras que con tres se consiguen veintisiete. Las actuales técnicas de análisis esteroespecíficas han hecho posible que para muchos lípidos alimenticios se determinen con todo detalle la distribución de los ácidos grasos individuales en las posiciones *sn* del glicerol. De ellas dependen las propiedades físicas, Teológicas y texturales de estos triacilglicerol.

En general, los aceites de semillas suelen contener de modo preferente los ácidos insaturados en la posición *sn-2*, de modo particular el ácido linoleico. En cambio los aceites que contienen ácido erúico, como ocurre con el de colza, localizan con preferencia este ácido insaturado en las posiciones *sn-1* y *sn-3*, sobre todo en esta última.

En las grasas de origen animal se observan grandes variaciones en el patrón de distribución de los ácidos grasos dentro de su posición en el triglicérido, no sólo entre las grasas de un animal a otro, sino también entre las grasas de las distintas partes de un mismo animal. No obstante, suelen presentar un mayor contenido de ácidos saturados en la posición *sn-2* que las grasas de origen vegetal.

Hay que señalar cómo el cerdo difiere en su grasa de los rumiantes al depender de la que recibe con la alimentación y, además resulta única entre las de origen animal: concentra el ácido palmítico (16:0) en la posición central *sn-2* y el esteárico (18:0) en la posición *sn-1*, mientras que deja la posición *sn-3* para los ácidos linoleico (18:2) y oleico (18:1), aunque este último también puede aparecer en la posición *sn-1*.

Los aceites de origen marino, que se caracterizan por su abundancia en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, los sitúan de modo preferente en la posición *sn-2*. La distribución de los ácidos grasos en la posición central *sn-2*, o en las extremas *sn-1* y *sn-3* de la molécula del glicerol no tiene lugar al azar, sino que se produce de acuerdo con unas reglas específicas, que los científicos definen de acuerdo con varias teorías al respecto. Entre otras cosas, la posición interior, o exterior, de

un ácido graso determinado (de modo especial los saturados palmítico y esteárico) en el triglicérido puede tener su importancia para el transcurso de los procesos de digestión y absorción en el organismo humano.

Las diferencias que se suelen observar en el comportamiento de las propiedades físicoquímicas de las grasas alimenticias se justifican por el hecho de corresponder a mezclas de triacilglicerolos diferentes, con una clara repercusión sobre parámetros como puntos de fusión, consistencia, plasticidad o extensibilidad de las grasas comerciales.

Al ser mezclas de diferentes triacilglicerolos, es normal que no presenten un grupo de fusión neto, como el de las sustancias orgánicas cristalinas puras, sino que lo hagan dentro de un rango de temperaturas más o menos amplio. Primeramente, aparece un ablandamiento progresivo, que hace fluir a la grasa de modo lento, hasta que a una determinada temperatura alcanza una transparencia total. Por consiguiente, cabe hacer referencia a dos temperaturas específicas: a la que fluyen y a la que se hacen transparentes.

Estas diferencias en las temperatura de fusión tienen como resultado que los productos grasos puedan presentar consistencias muy diversas, relacionadas con sus propiedades texturales. Así, por debajo de la temperatura en que se inicia la fusión, el sistema alimentario presentará una textura más bien sólida, espesa, viscosa, mantecosa, cremosa, etc. En cambio, a una temperatura situada por encima de dicho rango, todos los componentes grasos estarán fundidos y el sistema se encontrará en forma líquida más o menos viscosa. Cuando existen grandes diferencias entre el comienzo y el final de la fusión se dice que la grasa tiene un rango plástico amplio.

La aplicación de las más modernas técnicas analíticas, como son la difracción de rayos X, la resonancia magnética nuclear, la espectroscopia infrarroja, la calorimetría, la dilatometría, la microscopía y el análisis térmico diferencial, han puesto de manifiesto algunas propiedades vinculadas al comportamiento de las grasas alimenticias en función de su consistencia.

En el estado sólido, o cristalino, las moléculas adoptan posiciones rígidas para formar una estructura tridimensional, que se puede repetir sucesivamente. Resulta así un ordenamiento espacial con todas las propiedades de simetría de un cristal, que recibe el nombre de «red espacial».

En el caso de los ácidos grasos, al igual que otros compuestos orgánicos de cadena larga, sus moléculas se empaquetan de lado a lado del cristal de tal modo que hace posible todas las interacciones de Van der Waals, además de formar moléculas dobles a través de enlaces de hidrógeno entre sus dos grupos carboxilos.

Cuando las grasas de similar composición química presentan semejanzas en sus fases sólidas y líquidas, pero difieren en su estado cristalino, resulta lo que se denomina polimorfismo de los lípidos. Este polimorfismo y sus propiedades cristalográficas son de verdadera importancia en la formulación de diversos preparados grasos alimenticios, como margarinas, helados y salsas mayonesas.

El fenómeno consiste en la existencia de estructuras cristalinas diferentes para una misma sustancia, como resultado de algunas variaciones en el empaquetamiento de las moléculas, que dan lugar a tres tipos diferentes:

- Triclínico: forma beta, que llevan los planos dispuestos en zig zag y funden a temperaturas elevadas.

- Rómbico: forma beta prima, con una disposición alternante en sus planos y presentan puntos de fusión intermedios.
- Hexagonal: forma alfa, cuyos planos se distribuyen al azar con total libertad de giro y ofrecen puntos de fusión bajos.

Cuando la grasa cristaliza en la forma beta-prima, forma agujas finas de una miera de longitud. Cuando lo hace en la forma beta, tienden a formar cristales de 25 a 30 mieras, con una textura cremosa y granulosa. Las formas alfa suelen tener apariencia de plaquetas de 5 mieras y resultan bastante frágiles. La pauta principal para cristalizar en una u otra forma la marca la composición en ácidos grasos y su distribución dentro del glicérido.

La formación de una forma cristalina será tanto más difícil cuanto más compleja y estable sea la forma polimórfica. De todos modos, en la práctica, las grasas comerciales tienden a comportamientos bastante simples, a pesar de que puedan contener mezclas complejas de triacilglicéroles.

En general, las grasas comerciales formadas por un número relativamente escaso de glicéridos semejantes, evolucionan de modo rápido hacia formas estables, mientras que las que tienen triacilglicéroles muy heterogéneos lo hacen de modo muy lento. Así, suelen presentar formas beta los aceites de soja, girasol, oliva, germen de maíz y las mantecas de cerdo y cacao; mientras que los aceites de colza y de semilla de algodón, así como el sebo de vacuno y la mantequilla, aparecen fundamentalmente bajo las formas beta-prima.

Además, existen otros factores que también son determinantes de la forma polimórfica que adoptará una grasa neutra cuando cristaliza: pureza, temperatura, velocidad de enfriamiento, presencia de núcleos cristalinos y tipo de disolvente.

Una grasa plástica puede ser considerada como una fase sólida formada por una masa de cristales entrecruzados (10-30 % en la práctica) que alberga una fase líquida. El grado de plasticidad dependerá de los siguientes factores:

- La cantidad de sólidos presentes a una temperatura dada, valorado como *índice de grasas sólidas*, pues a mayor proporción de sólidos más dura será la grasa, pudiendo llegar a ser muy quebradiza.
- Número y tamaño de los cristales, con una blandura inversamente proporcional al número de cristales pequeños.
- La viscosidad de la fase líquida.
- La temperatura.

Finalmente, ciertos comportamientos de los triacilglicéroles se explican porque pueden presentarse en fases con propiedades intermedias entre líquida y cristalina. En estos casos se trata de fases mesomórficas, denominadas cristales líquidos, que suelen ser características de compuestos típicamente anfílicos.

Así, por ejemplo, cuando se calienta un compuesto anfílico, la parte hidrocarbonada no polar se transforma en un estado desordenado, similar al estado líquido, y funde antes de que se alcance el punto de fusión propiamente dicho de la grasa. Esto ocurre porque las fuerzas de Van der Waals que existen entre las cadenas hidrocarbonadas son relativamente débiles comparadas con la fuerza de los enlaces de hidrógeno que retienen juntos a los grupos carboxílicos polares.

Las estructuras mesomórficas dependen de factores como la concentración y la estructura química del compuesto, del contenido en agua, de la temperatura y de la presencia de otros componentes en la mezcla.

Por encima del rango de fusión, el tratamiento térmico provoca en la grasa una serie de fenómenos físicos sucesivos importantes: primero, la grasa comienza a humear (punto de humo), después al incrementarse la temperaturas se inflama (punto de inflamación) y acaba por quemarse (punto de combustión). Estas tres temperaturas son una característica de cada tipo de grasa y tiene gran importancia cuando en la tecnología de elaboración de los alimentos resulta necesario algún tratamiento térmico elevado, bien en horno o bien como fritura.

Otros compuestos de interés son los denominados *monoacilgliceroles*, que también derivan del glicerol pero con un solo OH esterificado con un ácido graso, aunque pueden resultar dos tipos de isómeros, según la posición *sn* del hidroxilo que se esterifique. La interesterificación entre un triacilglicerol y un exceso de glicerol, en presencia de catalizador alcalino, conduce a una mezcla de monoacilgliceroles, que se puede enriquecer por encima del 90 % mediante destilación molecular.

Estos compuestos actúan como agentes tensoactivos no iónicos y la industria alimentaria los emplea como la principal categoría de sustancias emulgentes, pues su consumo representa el 75 % del total de las mismas. Su carácter de sustancia anfifílica, con dos zonas diferenciadas en su estructura, hidrofílica y lipofílica, le permite situarse en la interfase de dos fases no miscibles y estabilizar de este modo un sistema coloidal que resulta inestable desde un punto de vista termodinámico.

Desde la década de los años treinta se vienen empleando en la elaboración de margarinas, purés de patatas deshidratados, copos de patatas, chocolates, postres batidos, alimentos bajos en calorías, pastas alimenticias, ablandadores de la masa panaria, etc.

Su carácter hidrofóbico se puede intensificar obteniendo sus esteres de ácidos orgánicos: acético, láctico, cítrico, tartárico y acetiltartárico, que han sido usados para mejorar la estabilidad de muchas emulsiones alimenticias (Tabla 6.3):

- Los derivados lácticos favorecen la incorporación de aire a la masa en la fabricación de galletas.
- Los citrogliceroles son interesantes para fabricar las margarinas destinadas a la fritura, frecuentes en países europeos, porque evitan las salpicaduras del agua que contienen.
- Los acetogliceroles permiten estabilizar las espumas y además se usan para recubrir alimentos, en lugar de parafinas, porque tienen la capacidad de formar películas y comestibles.
- Los esteres con ácido tartárico diacetilado, denominados DATEM, son muy adecuados para los procesos de panificación, donde actúan como acondicionantes de la masa y como agentes de control de la textura del producto acabado.

Una succinilación de la molécula del monoacilglicerol por el anhídrido succínico permite obtener un producto aniónico, con un cambio drástico del equilibrio hidrofobicidad/lipoficidad, que lleva a modificaciones en la solubilidad en agua y otras propiedades funcionales. Se usan como ablandadores de productos de panadería y repostería.

La eficacia de todo agente emulsificante radica en primer lugar en la solubilidad que presenta para cada una de las dos fases del sistema; esta eficacia viene determinada por el valor de un índice conocido como *Balance Hidrófilo-Lipófilo* (BHL). Su conocimiento permite que no sólo se pueda elegir en cada caso el agen-

Tabla 6.3

Estructura química de monoglicéridos, cuyos OH libres han sido esterificados con diferentes ácidos orgánicos (R')

	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}' - \text{C} - \text{O} - \text{HC} - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{R} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{O} - \text{H} \end{array} $
R: Ácido graso	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$
R': Ácido acético	$\text{CH}_3 - \text{COOH}$
Ácido láctico	$\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$
Ácido cítrico	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{C} - \text{OH} \\ \parallel \quad \\ \text{O} \quad \text{CH}_2 - \text{COOH} \end{array} $
Ácido diacetitartárico	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{C} = \text{O} \quad \text{CO} = \text{O} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{HO} - \text{C} - \text{CH} - \text{CH} - \text{C} - \text{OH} \\ \parallel \quad \quad \quad \parallel \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array} $

te que más convenga, sino también prever de un modo empírico la eficacia de dicho agente. Para las emulsiones agua/aceite, la estabilidad óptima se sitúa en valores de BHL próximos a 5-6. Fuera de esta zona se incrementa la velocidad de coalescencia de las micelas y la emulsión se desestabiliza.

Propiedades de interés bromatológico de algunos derivados de ácidos grasos

Muchos alimentos que contienen lípidos ofrecen siempre alguna proporción de ácidos grasos libres como consecuencia de una lipólisis, más o menos espontánea,

debida a la actividad de alguna lipasa presente. No obstante, en algunos alimentos elaborados podemos encontrar sales (jabones) de algún ácido graso, que han sido adicionados con alguna finalidad tecnológica; las sales sódicas y potásicas son solubles en agua, mientras que las cálcicas no. Su uso resulta muy variado: unas veces, como agentes antiapelmazantes; otras, para obtener emulsiones de grasas en agua; también, para la elaboración de pasteles, *snaks* crujientes, *snaks* ondulados, etc.

Existen un buen número de compuestos usados como aditivos alimentarios que son esteres de algún ácido graso con alcoholes distintos al glicerol:

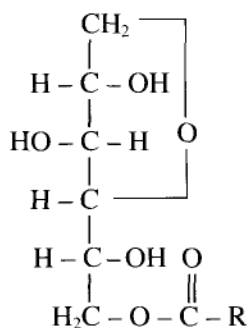
Derivados del ácido láctico. Son esteres del ácido esteárico y un dímero del ácido láctico, ambos obtenidos por la industria química, aunque sean componentes naturales de algunas materias primas. Los más corrientes son las sales sódica o cálcica del estearoil-2-lactilato y su ácido libre.

Se encuadran entre los agentes emulsionantes más hidrófilos y se emplean principalmente en panificación para mejorar las propiedades Teológicas de la masa, la textura de la miga y el volumen del pan, así como para prolongar su tiempo de frescura. También se aplican en pastelería, repostería y fabricación de galletas. Cuando se ingieren, se hidrolizan en el intestino y dejan libres los ácidos esteárico y láctico, que se absorben y metabolizan.

Estearatos de propilenglicol. Suelen ser mezclas de los mono y di-ésteres de ácido esteárico con el propano-1,2-diol. Se trata de moléculas menos hidrófilas pues, a diferencia del glicerol, sólo tienen dos funciones alcohólicas. En los países donde su uso está autorizado se aplican para los mismos fines que los anteriores: pastelería, repostería y fabricación de galletas.

Tartrato de estearoil. Compuesto formado por ácido estárico y ácido tartárico, que se utiliza como agente emulsionante en repostería, bollería y galletería, así como en la fabricación de sopas deshidratadas.

Derivados del sorbitán. Son compuestos sintéticos que resultan de la reacción del sorbitol anhidro (sorbitán) con algunos de los ácidos grasos siguientes: láurico, palmítico, esteárico y oleico [4]. Se usan como agentes que facilitan las emulsiones de agua en aceite, propias de algunas cremas y salsas.



Monoéster de sorbitano

[4]

Se aconseja su empleo cuando hay que evitar la retrogradación del almidón y que se mantengan en suspensión las materias amiláceas, o bien para solubilizar los aromas o repartir los colorantes de modo homogéneo. Se comercializan bajo el nombre de Spans (marca registrada por Atlas Chemical Inc.)- En ocasiones interviene en la reacción el óxido de etileno, que aporta a la estructura resultante unas

propiedades hidrófilas muy interesantes. En este caso, se comercializan bajo el nombre de Twens (marca registrada por Rohn & Haas).

Esteres poliglicéridos de ácidos grasos. Son combinaciones de ácidos grasos con el poliglicerol, un compuesto formado por tres, o más, moléculas de glicerol en cadena. Cuando el glicerol se calienta a vacío y temperatura elevada, en presencia de un catalizador (por lo general sosa diluida), se obtiene una mezcla de glicérols polimerizados. Fijando las condiciones de reacción se pueden normalizar la composición de la mezcla, que se hace reaccionar con el ácido graso correspondiente para obtener productos con unas características concretas.

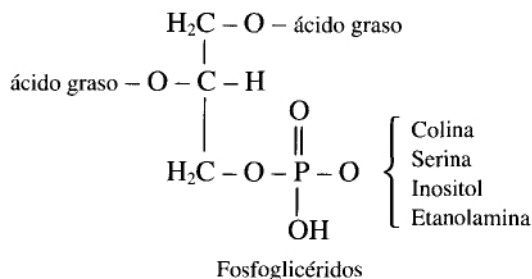
Las propiedades de los productos así obtenidos permiten un gran número de aplicaciones: los de carácter lipófilo se pueden emplear para preparar emulsiones de agua en aceite, o bien en unión de lecitina para modificar las características reológicas del chocolate fundido; los de carácter hidrófilo se usan en la elaboración de productos de panadería, bollería, repostería, postres, etc.

De acuerdo con su estructura química, estos agentes emulsionantes se pueden reunir en tres grupos en función de su balance hidrofílico/lipofílico (BHL):

1. Compuestos lipofílicos, con valores de BHL entre 3 y 9: en este grupo se incluyen los monoacilglicérols y sus derivados acetilados, etoxilados y lactilados de los monoglicéridos, así como el estearato de propilenglicol.
2. Compuestos moderadamente hidrofílicos, con valores de BHL entre 8 y 12: corresponde al éster diacetilados del ácido tartárico y los monoacilglicérols succinilados.
3. Compuestos hidrofílicos, con valores de BHL entre 12 y 20: comprende a los polisorbatos, el estearoil-2-lactilato y los esterés del poliglicerol.

Propiedades de interés bromatológico de los fosfoglicéridos

Otro grupo importante de lípidos está formado por los fosfoglicéridos, que aunque desempeñan funciones biológicas esenciales para la vida de las células, apenas se hacen notar cuantitativamente en los alimentos al encontrarse en proporciones reducidas; también se les conoce con el nombre de fosfolípidos o fosfátidos. Corresponden a estructuras 1,2-diacil esterés del ácido 3-glicerolfosfórico, enlazados a bases orgánicas o a otras moléculas, como se indica en su esquema estructural [5]. Algunos de ellos pueden desempeñar, como ingrediente o como aditivo, funciones tecnológicas importantes en la elaboración de algunos alimentos.



[5]

Una gran proporción de los fosfolípidos de los organismos animales o vegetales son glicerofosfátidos, cuya molécula de glicerol lleva los ácidos grasos saturados situados, principalmente, en posiciones externas *sn-1* y *sn-3*, mientras que la posición central *sn-2* es ocupada por los insaturados oleico, linoleico o araquidónico.

Los fosfolípidos desempeñan un papel importante en la estabilidad de los aceites vegetales comestibles durante su proceso de elaboración. También actúan de modo sinérgico al reforzar la actividad de las sustancias antioxidantes.

En la práctica comercial se suele denominar *lecitinas* a las mezclas de diferentes lípidos polares, separados por hidratación de algunos aceites vegetales. Entre ellos destacan fosfolípidos y glicolípidos, acompañados de variables cantidades de triacilglicerolos. Como resulta poco rentable su obtención a partir de la grasa del huevo, las lecitinas comerciales corresponden a productos que proceden del aceite de soja por medio de disolventes orgánicos.

Los componentes activos de las lecitinas son los fosfolípidos constituidos por fosfatidilcolina (PC), fosfatidiletanolamina (PE) y fosfatidilinositol (PI), en proporciones casi iguales, separables porque solo la primera se disuelve en solución acuosa alcohólica. La PC tiene propiedades estabilizantes de las emulsiones aceite/agua, mientras que las PE y PI (en menor grado) tienen propiedades emulgentes agua/aceite. De hecho, este antagonismo limita las propiedades emulgentes de las lecitinas.

Gracias a la bipolaridad de su estructura global, con zonas hidrófilas y zonas lipófilas, las lecitinas tienen la propiedad de reducir la tensión superficial y de estabilizar las emulsiones, pero por su complejo modo de actuación no existen reglas generales acerca de su empleo.

Desde luego se han intentado numerosas modificaciones químicas con la finalidad de mejorar sus propiedades funcionales, aunque los productos comerciales se reducen principalmente a lecitinas hidroxiladas que incrementan su carácter hidrófilo, o acetiladas que las enriquece en restos aniónicos y mejoran sus propiedades emulsificantes.

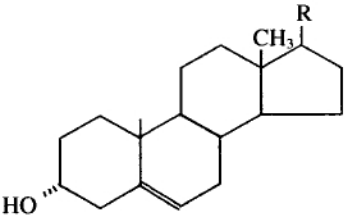
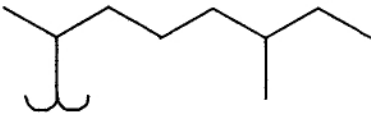
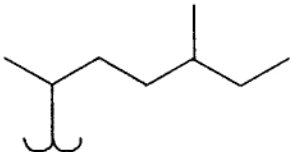
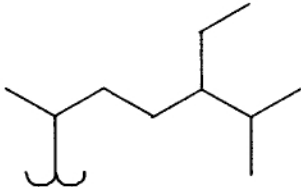
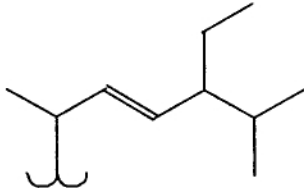
Entre sus principales aplicaciones en tecnología alimentaria caben destacar la mejora de las características reológicas del chocolate fundido, la estabilidad de la emulsión y el evitar salpicaduras de agua en margarinas, la inhibición de formar grumos cuando se usa como revestimiento en productos deshidratados ricos en lípidos.

Propiedades de interés bromatológico de los esteroides

Formando parte de la fracción insaponificable de las grasas alimenticias se tienen los lípidos denominados esteroides, que se caracterizan por ser sustancias esteroideas en cuya estructura química aparece una agrupación de cuatro anillos, específica del sistema fenantreno, portador de un grupo OH en posición C-3 que le permite estar enlazado a moléculas de ácidos grasos (Tabla 6.4).

Los esteroides contenidos en las grasas de origen vegetal son bastante numerosos y suelen corresponder a derivados 4-metil, 4,4'-dimetil y derivado no mediado en

Tabla 6.4
Estructura de los principales esteroides

		
* Colesterol	R =	
* Campesterol	R =	
* Sitosterol	R =	
* Estigmasterol	R =	

C-4. Aquellos que contienen un grupo alfa-metilo en el C-4 se encuentran ampliamente distribuidos entre los aceites vegetales. En algunos de ellos también se han identificados los derivados dimetil, que en ocasiones se presentan con sustituyentes oxigenados, como es el caso del ácido oleánico en el aceite de oliva.

Entre los derivados no metilados en C-4 caben destacar el campesterol, el sitosterol y el estigmasterol, emparentados estructuralmente con el colesterol de origen

animal, que en las grasas vegetales sólo está presente en cantidades trazas, con la excepción del aceite de colza (0,8 %) y de la manteca de cacao (0,7 %). Las proporciones relativas de los esteroides vegetales son específicas de cada especie vegetal, por lo que su determinación analítica permite juzgar de la pureza de una grasa comestible y dictaminar sobre la existencia de posibles mezclas. Además, algunos estudios han detectado una propiedad saludable del sitosterol, que puede tener cierto interés: parece que ejerce una actividad hipocolesterolemizante.

En las grasas de origen animal predomina el colesterol, prácticamente ausente de las grasas vegetales. En forma de éster de ácido graso, se encuentra en todas las células corporales, donde desempeña múltiples funciones fisiológicas, hasta el punto que si el hígado humano no tuviera capacidad para sintetizarlo a partir del escualeno, tendría que ser considerado como una vitamina. Entre otras cosas, dentro del organismo humano es punto de partida para la síntesis de otros esteroides, como por ejemplo, las hormonas sexuales y los ácidos biliares.

El conocimiento de su naturaleza química permite comprender su papel biológico esencial. El ser una sustancia muy poco soluble en agua le permite participar en funciones fisiológicas esenciales para la vida, como la formación de membranas celulares. Resulta así un elemento estructural esencial para la integridad de todas las membranas del organismo, hasta el punto que las células no podrían reproducirse, crecer y mantenerse si no se le asegura un aporte constante de colesterol, aporte que puede proceder de la biosíntesis hepática o de la alimentación. En los alimentos se presenta en su forma libre o bien esterificado con ácidos grasos, tanto saturados como insaturados.

Pero a su vez, esta escasa solubilidad también es origen de ciertas dificultades puesto que el medio interior del organismo humano es primordialmente un medio acuoso. De aquí que el transporte del colesterol a través de la sangre y de otros líquidos intracelulares necesite de mecanismos bastante complejos para que pueda tener lugar.

Además, su mayor o menor solubilidad viene determinada por la naturaleza del ácido graso que incorpora como éster; por ello, el riesgo vinculado a los niveles de su presencia en la circulación sanguínea resulta muy variable. De hecho, en la práctica clínica se suelen observar tendencias muy diversas sobre la posibilidad de formar placas en las paredes vasculares.

En relación con la nutrición, hay que resaltar su papel en la formación de los ácidos biliares, sustancias esenciales para la digestión de las grasas alimenticias y la formación cutánea del 7-dehidro-colesterol, un precursor de la vitamina D₃, en la que se transforma por la acción de los rayos ultravioletas solares.

En los momentos actuales se ha puesto de manifiesto la importancia para la salud de la ingestión de los derivados oxidados del colesterol, cuya autooxidación es acelerada por los radicales peróxidos de los ácidos grasos poliinsaturados, aunque también puede ocurrir una oxidación fotosensibilizada, que conduce a productos secundarios diferentes. Estos compuestos oxidados del colesterol han sido detectados en productos alimenticios, tales como yema de huevo en polvo, leche en polvo, etc.

Por otra parte, las grasas y aceites contienen cantidades variables entre el 1 y 2 % de compuestos no glicéridos entre los que se incluyen hidrocarburos como el escualeno y los carotenoides, los tocotrienoles, las clorofilas, el retinol y el coлекаliferol.

Lípidos modificados no absorbibles

En las últimas décadas se ha podido observar una evolución en las preferencias de los consumidores hacia los alimentos que ofrecen poder calórico por debajo de lo convencional. Esta circunstancia ha dado lugar a un fuerte aumento en la demanda de productos alimenticios con un menor contenido en grasas por ser considerados como más saludables.

Sin embargo, las grasas desempeñan funciones importantes dentro de las propiedades sensoriales de los alimentos: textura, consistencia, flavor, palatabilidad, etc. Por consiguiente, el que sean eliminadas, o al menos reducidas en su presencia, de las formulaciones plantea a la industria alimentaria problemas de no fácil solución.

Por ello, la oferta comercial de los denominados alimentos *aligerados* (*light*), es decir, productos que ofrecen menos calorías cuando se consumen, ha conducido a la búsqueda de posibles sustitutos de la materia grasa, sin que por ello el alimento deba perder la textura agradable y cremosa que proporciona la grasa cuando está presente.

El diseño de la estructura química más apropiada para este tipo de sustancias tiene que ajustarse al cumplimiento de una serie de requisitos importantes:

- No debe afectar al aporte de nutrientes, como puede ser impedir la absorción de las vitaminas liposolubles, aunque sí debe suministrar menos calorías metabolizables.
- No debe interferir de modo acusado con los caracteres organolépticos del producto alimenticio en el que tome parte, ni por supuesto alterar el flavor del mismo, aunque deben ser percibidos como cualquier grasa convencional.
- Sus propiedades fisicoquímicas deben ser comparables a las del cuerpo graso que pretende sustituir, para que el producto resultante ofrezca unas cualidades reológicas parecidas a la del alimento tradicional.
- Aparte de no ser una sustancia tóxica, no debe generar sustancias nocivas durante el proceso de elaboración, ni debe interferir con el metabolismo normal del organismo, ocasionando algún tipo de trastorno.

En la práctica de la industria alimentaria se distinguen dos grupos de posibles sustitutos:

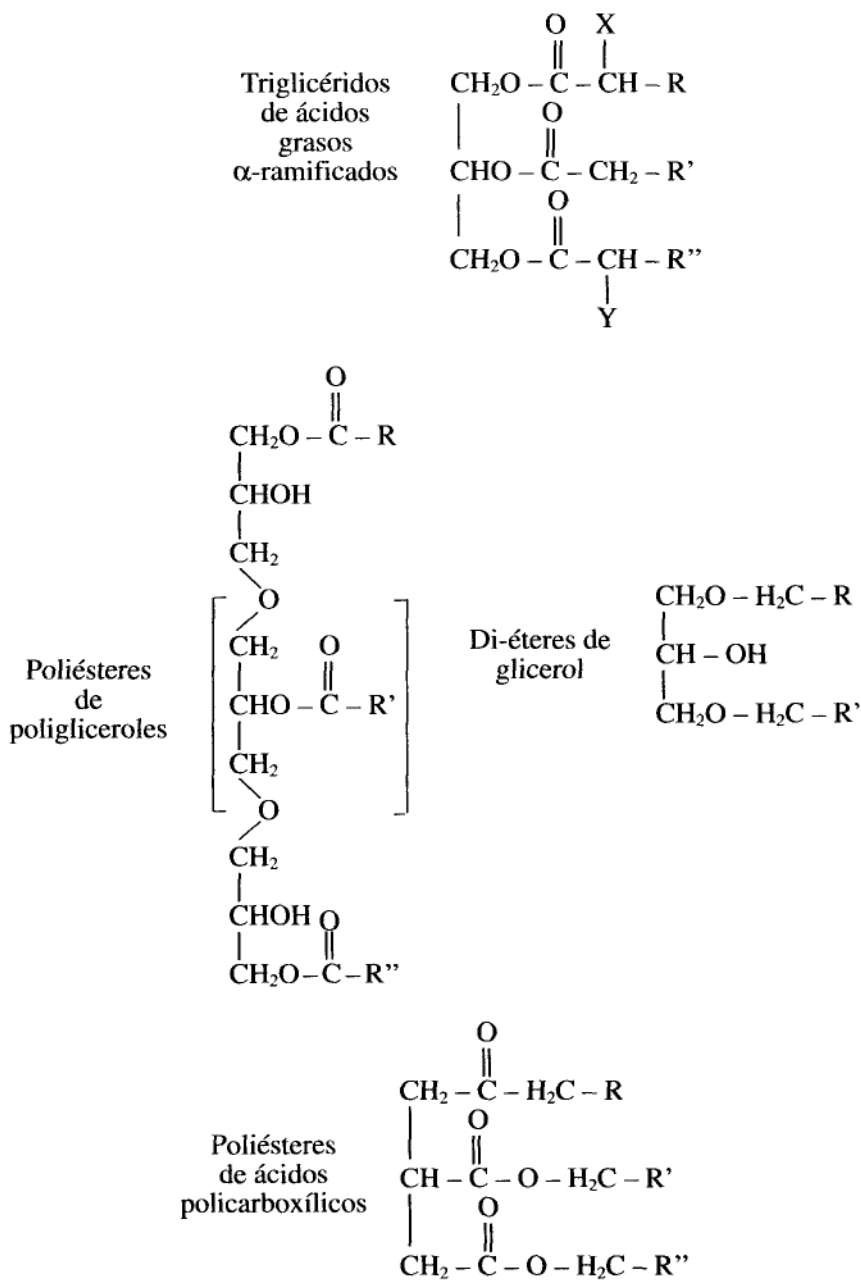
- a) Los *equivalentes de materias grasas*, que sólo han reducido la biodisponibilidad con el fin de rebajar el valor calórico, pero mantienen todas las características de los lípidos y sus cualidades de uso.
- b) Los *reemplazadores de materias grasas*, que son mezclas espesantes con mayor contenido en agua y menos valor energético, pero que en la boca producen una sensación semejante a las producidas por las grasas.

El conjunto de estructuras químicas ensayadas no responden a un grupo químico definido de sustancias y en relación con su naturaleza se pueden señalar que existen sucedáneos de tres tipos: proteínas, carbohidratos y pseudograsas o lipoides, que son los que nos interesan dentro de este capítulo.

Entre estos últimos se encuentra una serie de lípidos modificados, basados en una reducción de su digestibilidad al no poder ser hidrolizados por las lipasas intestinales. Entre ellos han sido propuestas numerosas moléculas (Tabla 6.5), pero

Tabla 6.5

Estructuras de los principales lípidos modificados no absorbibles por el tracto digestivo humano



pocas disponen de la actual autorización como aditivos alimentarios, algunas no parecen tener aplicación a medio plazo y otras parecen carecer de futuro como sustitutos de materias grasas:

- a) Sustancias autorizadas como aditivos alimentarios.
 - *Poliésteres de poliglicerol*. Su grado de hidrólisis es una función de la cantidad de enlaces tipo glicerol. En las propiedades moleculares desempeñan un papel importante el número de ácidos grasos que esterifican los OH de la cadena poliglicerólica, además de marcar su valor energético.
- b) Sustancias de previsible aplicación a medio plazo, aunque por el momento carezcan de aprobación como aditivo alimentario.
 - *Triglicéridos de ácidos grasos alfa-ramificados*. El llevar una sustitución en el carbono alfa, contiguo al grupo carboxílico, reduce o anula su hidrólisis intestinal.
 - *Diéteres del glicerol*, en los que los ácidos grasos son sustituidos por alcoholes, cuya cadena puede contener desde 8 hasta 30 átomos de carbono.
 - *Poliésteres de sacarosa o sacaroésteres*, que son una mezcla de hexa, hepta y octaésteres de sacarosa con ácidos grasos de cadena larga, por lo general de 8 a 22 átomos de C.
 - *Poliésteres de ácidos policarboxílicos*, como cítrico, succínico, etc.
- c) Sustancias que parecen carecer de futuro como sustitutos de las materias grasas.
 - Ceras formadas por ésteres de ácidos y de alcoholes grasos de cadena larga (18 a 22 átomos de C), entre las que destaca el aceite de jojoba con más de un 10 % de ácido erúico.

Uso de aditivos químicos en los alimentos

- Introducción.
- Concepto de aditivo alimentario y clasificación.
- Justificación del uso de aditivos químicos.
- Riesgos sanitarios vinculados al uso de aditivos.
- Evaluación de los riesgos tóxicos consecuentes al uso de aditivos.
- Directivas comunitarias y uso legal de aditivos.

Introducción

Cuando se determina la composición química de un alimento pueden aparecer especies químicas que no corresponden a lo aportado por las materias primas usadas en su elaboración, ni proceden de reacciones químicas originadas por los procesos de fabricación. En estos casos, se trata de sustancias que se encuentran en el alimento por dos razones posibles:

a) Han llegado al mismo por una contaminación, que debería haber sido evitada. Las sustancias contaminantes existen en un alimento de modo solamente ocasional, como puede ocurrir con los vestigios del uso de pesticidas en productos vegetales, con los vestigios de agentes tensoactivos y antisépticos utilizados en la limpieza de instalaciones y equipos de trabajo, con los agentes plastificantes de envolturas, con los residuos de medicamentos en alimentos de origen animal, etc.

b) Responden a una adición intencionada, porque como se ha podido conocer, las diversas estructuras químicas que toman parte de la composición de los alimentos son factores muy relacionados con las propiedades de los mismos. Además, es importante señalar que los alimentos son productos que se encuentran en un cambio continuo, unas veces muy rápidos como ocurre en carnes y leches, otras bastante lentos como tienen lugar en vegetales y frutas. Es decir, todo alimento debe ser considerado como un sistema dinámico en el que ocurren de modo continuo cambios físicos y cambios químicos, que pueden significar una alteración con dete-

rioro de la calidad del alimento. Por ello, la industria alimentaria ha introducido el uso de sustancias químicas, que se adicionan con el propósito de resolver estos problemas. En algunos casos se trata de conseguir una estabilidad en el alimento que se produce; en otros, se intenta facilitar la correcta formación de sistemas físico-químicos, determinantes de las propiedades específicas de cada alimento; incluso, simplemente se procura apoyar algunas de sus características sensoriales.

En realidad, con el empleo de estas sustancias, conocidas con el nombre de aditivos alimentarios, se pretenden alcanzar los mismos objetivos que el ser humano ha intentado, desde hace siglos, para mejorar la índole de su alimentación: poner al alimento en las condiciones más adecuadas para su ingestión, favorecer su mejor conservación, afinar sus propiedades sensoriales, etc. En cierto modo, es el mismo fin perseguido por la humanidad durante milenios con la aplicación de los procesos culinarios, que en la actualidad se intenta conseguir mediante procesos industriales con la ayuda de aditivos químicos.

Es importante resaltar que un aditivo no debe ser considerado como una sustancia utilizada para convertir un producto de baja calidad, o incluso estropeado, en un alimento aceptable, porque tal forma de proceder debe tener la consideración de fraude. En general, el papel que corresponde a un aditivo es el de evitar que un alimento ya producido se estropee, o bien darle una presentación más agradable para que pueda tener una aceptación más favorable por parte del consumidor. Así, por ejemplo, son muchas las ocasiones en las que se desea que los alimentos elaborados manifiesten una textura uniforme y ofrezcan una consistencia concreta y determinada; para conseguirlo se ha de hacer uso de diversos tipos de sustancias, capaces de ejercer las funciones más dispares: polisacáridos capaces de regular la cristalización del agua; sustancias humectantes que ayudan a retener agua, como el glicerol; agentes tensoactivos que estabilizan sistemas dispersos no miscibles; estabilizadores de salsas culinarias, como la salsa mayonesa; etc.

De todos modos conviene resaltar desde un primer momento que en la elaboración de alimentos sólo se pueden emplear como aditivos químicos aquellas sustancias cuyos usos se ajustan completamente a los requisitos marcados por la legislación vigente, que en nuestro país se armoniza con las Directivas de la Unión Europea (89/107/CEE, modificada por 94/34/CEE), que el Consejo de las Comunidades Europeas ha establecido para sus Estados miembros, con referencia al uso de aditivos alimentarios en los productos alimenticios destinados al consumo humano.

Concepto de aditivo alimentario y clasificación

De acuerdo con la anterior Directiva comunitaria, se considera *aditivo alimentario*: «cualquier sustancia que, normalmente, no se consume como alimento en sí o ni se use como ingrediente característico en la alimentación, independientemente de que tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada a los productos alimenticios, con un propósito tecnológico en la fase de su fabricación, transformación, preparación, tratamiento, envase, transporte o almacenamiento tenga, o pueda esperarse razonablemente que tenga, directa o indirectamente, como resultado que

el propio aditivo o sus subproductos se conviertan en un componente de dichos productos alimenticios».

Es decir, bajo esta denominación cabe incluir a toda sustancia que se incorpora de modo intencionado a los alimentos sin el propósito de cambiar su valor nutritivo (aunque por sí misma sea un nutriente), pero con la finalidad de obtener algunas de las modificaciones beneficiosas siguientes: variar las características organolépticas o físicas; mejorar las técnicas de elaboración y conservación; perfeccionar el uso específico del alimento en cuestión, etc.

En definitiva, puede ser conceptualizado como aditivo alimentario toda sustancia que, siempre a concentraciones reducidas, se use en la elaboración de un alimento con el fin de alcanzar unos propósitos determinados, ya sean a nivel tecnológico, ya sean en el ámbito sensorial. Unas veces, será una sustancia única, capaz de desempeñar en algunos casos una, dos, o más funciones; otras veces, puede ser una mezcla de sustancias químicas, que van a cumplir un conjunto de funciones.

En 1978, el Comité de expertos de la FAO/OMS sobre aditivos alimentarios introdujo el concepto de *coadyuvantes tecnológicos*, aplicado a las sustancias que se emplean durante el tratamiento tecnológico de los alimentos y que desaparecen como consecuencia del mismo, no tomando parte de la composición química del producto terminado.

La Unión Europea ha tenido en cuenta esta distinción y en su legislación alimentaria introduce la noción de auxiliares tecnológicos: «cualquier sustancia que no se consuma como ingrediente alimenticio o en sí, que se utilice intencionadamente en la transformación de materias primas, de productos alimenticios o de sus ingredientes, para cumplir un objetivo tecnológico determinado durante el tratamiento o la transformación, y que pueda tener como resultado la presencia no intencionada, pero técnicamente inevitable, de residuos de dicha sustancia o de sus derivados en el producto acabado, siempre que tales residuos no presenten un riesgo sanitario y carezcan de efectos tecnológicos sobre el producto final».

En realidad, existe un rasgo que marca de modo muy claro la distinción entre uno y otro concepto: un aditivo es una sustancia que permanece siempre en el alimento, desde su fabricación hasta su consumo; mientras que un auxiliar, o un coadyuvante, resulta ser una especie química cuyo paso por el alimento es algo transitorio, porque se destruye con el proceso de fabricación o de conservación.

La legislación alimentaria española, de acuerdo con las Directrices de la Unión Europea, no las considera aditivos alimentarios, pero sí advierte que su empleo puede ocasionar la presencia no intencionada, aunque inevitable, de residuos o derivados en el producto final. Esta circunstancia ha de ser tenida siempre en consideración y obrar en consecuencia, porque las etiquetas de los alimentos deben informar al consumidor acerca de la composición final del mismo.

Este tipo de sustancias, coadyuvante o auxiliar, no está sometida a los requisitos de la legislación alimentaria sobre el uso de aditivos y, por tanto, pueden ser aplicadas por la industria alimentaria sin necesidad de una aprobación legal. Algunos ejemplos de las funciones desempeñadas por tales compuestos químicos se indican en la Tabla 7.1.

En la práctica, los aditivos de uso alimentario pueden proceder de dos orígenes distintos:

1. Naturales: sustancias que han sido extraídas de materias primas alimenticias, o de algún otro producto natural.

Tabla 7.1
Relación de las principales funciones de los auxiliares
o coadyuvantes tecnológicos

Agentes clarificantes.	Anti aglutinantes.
Agentes deshidratantes.	Antiespumantes.
Agentes desmoldeadores.	Decolorantes.
Agentes floculantes.	Enzimas.
Antiaglomerantes.	Peladores.

2. Artificiales: sustancias que corresponden a estructuras químicas sintetizadas *de novo* en el laboratorio y carecen de equivalentes entre las que proceden del ámbito natural.

Las primeras son sustancias que siempre han podido tomar parte en la alimentación humana, aunque en la actualidad sus estructuras sean obtenidas mediante síntesis en el laboratorio.

En cambio, las segundas son sustancias que siempre tienen un origen sintético y, por lo general, suelen ser más económicas y eficientes, con resultados reproducibles y muy uniformes. Sin embargo, su empleo puede entrañar un riesgo de toxicidad crónica y, por ello, debe estar controlado de modo riguroso de acuerdo con lo establecido por la legislación alimentaria. La tendencia actual es no hacer uso de este tipo de sustancias.

Dentro de las muchas posibles clasificaciones que se pueden realizar de los aditivos alimentarios, la que se emplea con mayor frecuencia se suele basar en criterios relacionados con la función a desempeñar por cada uno de ellos en su aplicación a la tecnología alimentaria.

En un principio, podría parecer más adecuado reunir los aditivos alimentarios de acuerdo con la naturaleza de su constitución química, ya que existen casos en los que ha sido posible comprobar una cierta correlación entre estructura y las propiedades para su aplicación. Sin embargo, algunos compuestos se integran dentro de una misma familia química, pero las funciones tecnológicas que desempeñan resultan completamente diferentes a las propias de ese grupo. Por otra parte, suele ser bastante frecuente que una misma sustancia pueda ejercer varias funciones dentro de la tecnología alimentaria y dificultar con ello su clasificación. A pesar de todo, el criterio funcional aparece como el más útil y práctico.

En la Directiva comunitaria 89/107/CEE sobre aditivos alimentarios autorizados en los productos alimenticios destinados al consumo humano, se establece en su Anexo I una relación de categorías, que fijan cada una de las posibles funciones a llevar a cabo. En ellas han de ser incluidos aquellos productos que se utilizan, o están destinados a ser utilizados, en la fabricación de alimentos teniendo en cuenta la función principal con la que normalmente se les asocia. En España, el Real Decreto 212/1992 sobre los requisitos exigidos al etiquetado de los productos alimenticios incluye los aditivos entre los ingredientes que es obligatorio hacer constar en la etiqueta y fija en veintidós las categorías en las que se puede encajar cada uno de ellos.

De acuerdo con la pauta seguida de modo tradicional por la legislación sanitaria española, estas categorías de aditivos alimentarios pueden ser agrupadas por la analogía de sus funciones en cinco apartados:

1. Sustancias que modifican los caracteres organolépticos; es decir, que afectan a las cualidades que se perciben por medio de los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto, etc.:

A. Modificadores del color

Colorantes. Se aplican para estabilizar, para dar mayor uniformidad, o incluso modificar, la coloración específica de un alimento o bien para conseguir en los alimentos simulados las características de color convenientes. De acuerdo con su origen se pueden diferenciar tres tipos:

- Los componentes naturales de sustancias alimenticias y otras fuentes naturales, que no son normalmente consumidos como alimentos por sí mismos, y no son habitualmente utilizados como ingredientes característicos en alimentación.
- Los preparados obtenidos a partir de alimentos y otras materias naturales logrados mediante extracción física o química, capaz de realizar una selección de los pigmentos que se usan como componentes nutritivos o aromáticos.
- Las sustancias obtenidas por síntesis químicas y que carecen de su correspondiente homólogo en la naturaleza.

B. Sustancias sápidas

Acidulantes. Sustancias que incrementan la acidez de un alimento, o le confieren un sabor ácido.

Edulcorantes. Sustancias, diferentes a los azúcares, que se aplican en la elaboración o preparación de un alimento con la finalidad de proporcionarle un sabor dulce. Pueden corresponder a dos grupos claramente diferenciados:

- Sustancias obtenidas a partir de componentes naturales, que atañen a estructuras bien diversas (péptidos, proteínas, flavonoides y polioles de primera o de segunda generación).
- Compuestos de síntesis que nunca han tomado parte en la alimentación humana.

Potenciadores del sabor. Sustancias que realzan las características específicas del sabor y/o el flavor de un alimento, sin que le aporte el suyo propio.

2. Sustancias que estabilizan el aspecto y las características físicas de los alimentos, con lo que permiten mantener íntegras todas las propiedades físicas del producto hasta su consumo:

Antiaglomerantes. Sustancias que reducen la tendencia de adherirse unas a otras que tienen algunas partículas. Se añaden a los alimentos para evitar que se apelmacen.

Antiespumantes. Sustancias que impiden una excesiva formación de espuma cuando se hierven algunos alimentos, o bien reducen la posibilidad de formar una telilla sólida en su superficie.

Emulgentes. Sustancias que hacen posible la formación, o el mantenimiento, en un alimento de una mezcla homogénea de dos o más fases no miscibles, como aceite y agua.

Espesantes. Sustancias que incrementan la viscosidad de un alimento, principalmente polisacáridos.

Estabilizantes. Sustancias que hacen posible conservar el estado fisicoquímico de un alimento y reducir su tendencia a desintegrarse al evitar el choque de las micelas. Con un función similar a los dos grupos anteriores, permiten mantener homogénea cualquier dispersión de dos o más sustancias no miscibles.

Humectantes. Sustancias que impiden la desecación de los alimentos en contra de los efectos consecuentes a un escaso contenido de humedad en el medio ambiente; con ello evitan que se vuelvan resacos y duros. También pueden favorecer la disolución en un medio acuoso de una sustancia sólida en polvo.

3. Sustancias que impiden se produzcan en un alimento alteraciones de tipo químico o biológico. Son sustancias que permiten prolongar la vida comercial de los productos elaborados:

Antioxidantes. Sustancias que prolongan la vida útil de los productos alimenticios protegiéndoles del deterioro de cambios de color y enranciamientos a que dan lugar algunas oxidaciones catalíticas suscitados por el oxígeno, la luz o ciertas trazas de metales. Los de origen natural corresponden a vitaminas antioxidantes y los artificiales pueden ser derivados del fenol o del ácido gálico.

Conservadores. Sustancias que protegen a los alimentos de los procesos fermentativos y de putrefacción provocados por los microorganismos. De este modo aseguran la inocuidad del alimento y prolongan su vida útil. Son de naturaleza muy variada, unos inorgánicos y otros orgánicos.

4. Sustancias correctoras de las cualidades plásticas, capaces de coadyuvar a la consecución de la textura más conveniente:

Almidones modificados. Sustancias obtenidas por alguna modificación de los almidones comestibles, conseguida mediante un tratamiento físico o enzimático.

Endurecedores. Sustancias que mantienen firmes los tejidos de hortalizas y frutas, o permiten recuperar la firmeza perdida. También pueden actuar en unión de agentes gelificantes para la producción, o refuerzo, de un gel.

Gasificantes. Sustancias, o combinaciones de sustancias, capaces de liberar gases y aumentar con ello el volumen de una masa alimenticia.

Gelificantes. Sustancias que proporcionan una textura a un alimento mediante la formación de un sistema coloidal específico, conocido como gel.

Sales fundentes. Sustancias que se añaden a los quesos por sus propiedades de reordenar las proteínas que están contenidas de manera dispersa y, además, dan lugar a una distribución homogénea de la grasa y otros componentes.

5. Sustancias que desempeñan funciones no incluidas en los apartados anteriores:

Agentes de carga. Sustancias que incrementan el volumen de un alimento sin que por ello contribuyan de modo significativo a su valor energético disponible.

Sirven de relleno de algunos productos, para la simulación de ingredientes más costosos o para los productos de uso adecuado en regímenes de adelgazamiento.

Agentes de recubrimiento. Sustancias que cuando se aplican en la superficie externa de un alimento le confieren un aspecto brillante o le revisten de una capa protectora.

Correctores de la acidez. Sustancias que modifican o controlan la acidez o alcalinidad de un alimento. Las sustancias capaces de mantener a nivel constante el equilibrio ácido-base de un alimento también se denominan *reguladores*.

Agentes de tratamiento de la harina. Sustancias empleadas para mejorar la consistencia de las masas al facilitar que adquieran las características necesarias para incidir de modo adecuado en los procesos de amasado y horneado de los derivados de harina.

Gases propulsores. Gases diferentes del aire que se colocan dentro de un envase de aerosol con el fin de expeler el alimento cuando se aprieta una válvula.

Justificación del uso de aditivos químicos

Es frecuente que el término aditivo alimentario adolezca de connotaciones peyorativas, porque su presencia en los alimentos se considera, con bastante frecuencia, algo del todo innecesario y posiblemente nocivo. Sin embargo, acudir al uso de este tipo de sustancias no debe ser considerado como una invención de nuestro tiempo: escritos conservados, que proceden de épocas muy antiguas, incluyen muchas referencias sobre sustancias añadidas a los alimentos para convertirlos en algo más atractivos y apetecibles.

A lo largo de la historia humana, puede observarse cómo con la preparación de alimentos se han ido seleccionando los modos de empleo para especias, hierbas aromáticas, materias colorantes, etc., con el fin de obtener de ellas algún beneficio.

Pueden citarse ejemplos del uso histórico de sustancias que encajarían correctamente en el concepto actual de aditivo químico:

- Cuando a partir de unas fechas determinadas se impone la fabricación del azúcar, tiene como consecuencia que la miel, en cuanto alimento edulcorante, dejara paso a mermeladas y jaleas. Entonces, para poder alcanzar una buena textura con las nuevas formulaciones fue una costumbre generalizada la adición de rodajas de manzana. Con ello, no se hacía más que aprovechar las propiedades gelificantes de las sustancias pécticas presentes en esas frutas.
- Para mejorar la estabilidad de muchos alimentos se solía adicionar zumo de limón. En la práctica se intentaba aprovechar las propiedades antioxidantes de los ácidos ascórbico y cítrico contenidos en el mismo.
- Desde siempre, la salsa bechamel se ha preparado con la adición de harinas; un modo de actuar que, en realidad, permitía aprovechar la capacidad espesante del almidón.
- La fermentación aplicada a ciertas verduras, como la col (*choucroust*), para asegurar su conservación. Tal modo de proceder tenía por objeto beneficiar-

se de la acción conservadora del ácido láctico, formado por la actividad metabólica de algunos microorganismos.

Hoy día, la masiva urbanización de la población, los cambios ocurridos en los modos de vida, etc., han planteado la necesidad de producir alimentos que ofrezcan algunas ventajas de uso sobre los convencionales: vida útil comercial más prolongada; menos costo de adquisición; más cómodos de preparar para su consumo; etc. Además, en la segunda mitad del siglo XX se ha pasado del uso común de las cocinas familiares a la preparación de comidas en cocinas industriales o cocinas centrales, propias de los sistemas de restauración colectiva. Asimismo, hay que citar la preparación industrial de muchos y variados productos que recaban menos atención culinaria y que ocupan un lugar predominante en la bolsa de la compra.

Puede decirse que, antes de 1950, en los hogares sólo se consumían aquellas preparaciones culinarias que eran elaboradas *in situ*, con la excepción de algunos productos producidos en factorías industriales: panaderías, charcuterías, confiterías, etc. Además, gran parte de la población comía de sus propias hortalizas, frutas, embutidos, etc. En cambio, la masiva urbanización de la población y las dilatadas distancias entre el lugar de trabajo y el hogar doméstico, han planteado la imperiosa necesidad de disponer de alimentos cuya preparación requiera muy poco tiempo: sopas, purés, chacinas, conservas, platos cocinados, postres, etc.

Con ello, la preparación culinaria de un alimento se aleja cada vez más del que lo consume, tanto en el tiempo como en el espacio. Esta situación plantea como problema prioritario la necesidad de mejorar la conservación de los alimentos, tanto crudos como cocinados, con el fin de incrementar su vida útil comercial, es decir, mantener su calidad de origen cuanto tiempo sea necesario para cubrir de modo correcto el periodo que va desde su preparación hasta su venta y consumo.

En consecuencia, para cumplir con todas estas exigencias de la sociedad actual, resulta imprescindible hacer uso de los aditivos para cualquiera de las preparaciones industrializadas de los alimentos. Sin ellos, no se podrían cubrir las necesidades alimenticias de una densa y numerosa población, que además ofrece unas características muy peculiares, tanto en lo que hace referencia a sus planteamientos sociales como a sus formas de vida.

Por consiguiente, existen diversas razones que aconsejan y justifican el empleo de aditivos químicos para la preparación de alimentos. En resumen, el uso de aditivos alimentarios se justifica por dos circunstancias principales, consecuentes a las características de la sociedad actual:

- a) Producir de modo industrial grandes cantidades de alimentos capaces de resistir sin alterarse una comercialización a largo plazo, lo que exige incrementar su periodo de conservación, es decir, su vida útil comercial.
- b) Mejorar el aspecto de los alimentos elaborados de modo industrial y mantener de modo íntegro sus propiedades organolépticas y sanitarias.

Por todo ello, debe hacerse hincapié en una cuestión esencial: si se quiere responder a las exigencias de la sociedad actual en torno a la producción de alimentos, resulta totalmente necesario el empleo de aditivos químicos.

El tratamiento industrial de grandes cantidades de materias primas, su transporte y almacenamiento, la reducción de costos, etc., incluso la elaboración de alimentos que puedan ser preparados para su consumo con gran rapidez, en cualquier momento y bajo cualquier circunstancia, no da lugar a otra opción.

No obstante, también hay que subrayar la obligación de hacer uso de aditivos de un modo totalmente responsable, siempre de acuerdo con los criterios generales establecidos por la legislación alimentaria de la Unión Europea (Anexo II de la Directiva 89/107/CEE) para el empleo de aditivos alimentarios.

De acuerdo con ellos, los aditivos alimentarios sólo podrán ser aprobados cuando:

- Se pueda demostrar una necesidad tecnológica suficiente.
- El objetivo que se busca no se pueda alcanzar por otros métodos económica y tecnológicamente utilizables.
- No representen ningún peligro para la salud del consumidor en las dosis propuestas, en la medida que los datos científicos disponibles permita juzgar.
- No induzcan a error al consumidor.

Sólo se podrá contemplar el empleo de un aditivo alimentario cuando haya sido probado que el uso propuesto reporta ventajas demostrables para el consumidor. En cierta manera, hace falta probar su «necesidad» para cubrir una serie de objetivos, que no podrían ser conseguidos de otra manera:

- Proteger la calidad nutritiva.
- Aumentar su conservación o su estabilidad.
- Mejorar sus cualidades organolépticas.
- No encubrir materias primas defectuosas.

Además de atenerse para su comercialización a los criterios de pureza aprobados, cada aditivo alimentario deberá haber sido sometido a las correspondientes pruebas toxicológicas para comprobar que carece de efectos nocivos a las dosis aprobadas. Dicha evaluación deberá tener en cuenta los posibles efectos tóxicos acumulativos y sinérgicos, así como los fenómenos de intolerancia humana a las sustancias que son extrañas al organismo.

No obstante, todo aditivo aprobado deberá estar sometido de modo permanente a observación y ser evaluados toxicológicamente de nuevo, siempre que fuera necesario, teniendo en cuenta las variaciones que se puedan dar en las condiciones de uso, así como lo aportado por la aparición de nuevos resultados científicos.

La aprobación de cualquier aditivo alimentario implica el cumplimiento de las siguientes observaciones y cautelas:

- a) Especificar los productos alimenticios a los que puede ser añadido.
- b) Precisar las condiciones bajo las que debe ser añadidos.
- c) Establecer la dosis mínimas con la que se puede alcanzar el efecto deseado.
- d) Tener en cuenta la dosis diaria admisible y su probable ingesta cotidiana como consecuencia del conjunto de productos alimenticios integrados en la dieta.
- e) En el caso de estar incluido en alimentos específicos para grupos especiales de consumidores, también debe ser tomada en cuenta la posible dosis diaria a consumir.

En resumen, debe tenerse bien presente que no se debe utilizar un aditivo alimentario que no cumpla con los dos requisitos siguientes:

- Disponer de la autorización sanitaria correspondiente.
- Haber justificado de modo conveniente la necesidad de su empleo.

Riesgos sanitarios vinculados al uso de aditivos

Un aditivo alimentario debe ser interpretado como una sustancia química cuyo uso está llamado a desempeñar un papel importante en la aceptabilidad y en la seguridad de los alimentos, dentro de un amplio campo de aplicación dentro del cual pueden ejercer las más diversas funciones.

Sin embargo, la forma indiscriminada de su empleo por parte de la industria alimentaria durante los primeros años de su incorporación a las formulaciones de los productos alimenticios, planteó graves problemas sanitarios relacionados con la aparición de fenómenos toxicológicos de tipo crónico.

Por ello, fue necesario investigar y delimitar cuáles eran las estructuras químicas tolerables por el organismo humano y qué uso se les debería dar. Como resultado se ha podido conocer los tres factores que condicionan el desarrollo de esta actividad tóxica de un modo crónico:

- a) Las propiedades acumulativas.
- b) La suma de efectos.
- c) Los mecanismos indirectos.

Numerosas sustancias poseen propiedades acumulativas, es decir, son susceptibles de ser retenidas por el organismo, unas veces por su liposolubilidad (caso de pesticidas de los depósitos grasos), otras por su afinidad química por algunos tejidos (caso del flúor por el tejido óseo), que permite se alcancen a lo largo del tiempo niveles que resultan tóxicos.

La suma de efectos suele tener extraordinaria importancia en los casos de sustancias con actividad cancerígena, porque con dosis de ingesta mínimas, aunque frecuentes, se pueden alcanzar niveles críticos y provocar efectos irreversibles. Tal ha sido el caso de numerosos colorantes artificiales, empleados durante algún tiempo y prohibidos en la actualidad.

Los mecanismos indirectos pueden dar lugar a efectos tóxicos como consecuencia de la reactividad de las estructuras químicas de algunos aditivos. Así ocurrió con el empleo del Cl_3N como blanqueador de harinas, que al reaccionar con la metionina produce sulfoximina, que presenta una actividad tóxica bajo la forma de epilepsia.

En diversas ocasiones, un aditivo alimentario no llega a manifestar una actividad propiamente tóxica, posiblemente por la dosis a la que es consumido, pero sí da lugar a que aparezcan efectos molestos o reacciones adversas. Con frecuencia, se considera como *alergias* cualquier efecto pernicioso atribuido a la ingestión de un aditivo presente en un alimento, pero esta calificación carece de fundamento científico.

En sentido estricto, las alergias son reacciones fisiológicas nocivas motivadas por mecanismos inmunológicos. Pero aquellos casos en los que no están implicados tales mecanismos deben ser conceptuados como *intolerancias*. Podrían citarse bastante ejemplos de intolerancias alimentarias:

— La liberación inespecífica de histamina por la ingestión de cacao, fresas, frutos cítricos, etc.

- Trastornos intestinales graves provocados por el gluten de algunos cereales.
- Desarreglos fisiológicos consecuentes a ciertas deficiencias enzimáticas, tanto primarias como adquiridas. Tal ocurre con el enzima lactasa intestinal, cuya falta en algunas personas provoca diarreas al no poder digerir y absorber la lactosa de la leche.
- Los efectos de algunos microorganismos, o de sus toxinas, sobre el tracto gastrointestinal.

Lo correcto es denominar, en general, como *hipersensibilidad* a toda circunstancia donde una escasa cantidad de agente químico provoca síntomas perjudiciales, que pueden ser verificados y repetidos de modo objetivo. Cuando en el fenómeno se encuentra implicado algún mecanismo inmunológico, recibe el nombre específico de *alergia*. De aquí que los casos de agentes que provoquen a concentraciones muy pequeñas reacciones similares, o muy parecidas, a las alérgicas sin implicar mecanismos inmunológicos, deben ser designados como *intolerancias*. Algunos autores también se refieren a ellas como pseudoalergias o como reacciones alergomiméticas.

En la práctica se han descrito muy pocos casos de alergias provocadas por los aditivos alimentarios. La razón podría encontrarse en el bajo peso molecular de estas sustancias, muy lejos de los elevados que corresponden a los potentes alérgenos, como algunas proteínas. Sin embargo, sí abundan los casos de intolerancias, de modo más acentuado en personas adultas, tal vez porque en estos fenómenos se ha observado una relación dosis-respuesta y habría que tener en cuenta posibles efectos acumulativos, que serían responsables de un desarrollo lento de las intolerancias.

Los efectos adversos, consecuentes a la ingestión de aditivos alimentarios, que más han centrado la atención han sido los relacionados con el posible desarrollo de casos de *urticaria recurrente y crónica*, así como de la aparición de un *edema angioneurótico*, que normalmente acompaña al anterior. Se piensa que estos trastornos lo pueden causar, o al menos agravar, los aditivos siguientes:

- Ácido benzoico y benzoatos.
- Ácido sórbico y sorbatos.
- Colorantes azo, como la tartrazina.
- Cantaxantina.
- Annato.
- Amarillo de quinoleína.
- Butil-hidroxi-tolueno (BHT).
- Butil-hidroxi-anisol (BHA).
- Nitratos y nitritos.

Otras veces, los desórdenes pueden afectar a las vías respiratorias, dando lugar al desarrollo de procesos asmáticos, rinitis, poliposis nasales, etc., que suelen ser síntomas de hipersensibilidad relacionados con el tracto respiratorio. Se tratan de trastornos provocados por un cierto número de aditivos que presentan algunas analogías en sus estructuras químicas; por lo general, sus efectos alérgicos aparecen de modo principal en pacientes con sensibilidad para la aspirina: ácido salicílico, benzoato sódico y colorantes azoicos (tartrazina, amaranto, amarillo ocaso, punzó 4 R).

A estos desarreglos hay que añadir los efectos nocivos locales, provocados no por ingestión sino por contacto con la piel de la sustancia que se emplea como adi-

tivo en la elaboración de alimentos. Aparece en forma de urticaria antes de que haya transcurrido una hora, con el aspecto de ronchas enrojecidas.

En algunos casos se deben a mecanismos inmunológicos en el que están implicadas varias de las especias empleadas en la elaboración de muchos alimentos (mostaza, pimienta de cayena, cardamomo, coriandro, etc.) o bien ciertos polisacáridos usados como aditivos (alginato sódico, carragenatos, goma guar, etc.).

En otros, el mecanismo no es inmunológico, aunque los síntomas sean miméticos: ácido benzoico y benzoatos, ácido sórbico y sorbatos, ácido cinámico, etc.

Por fortuna, las reacciones mortales provocadas por la ingestión de aditivos alimentarios son extraordinariamente raras, aunque se han descritos casos severos ocasionados por los sulfitos, que de modo particular dan lugar a reacciones de broncoconstricción. Se ha llegado a pensar que los trastornos ocasionados por los sulfitos son más frecuentes que los atribuidos a colorantes y benzoatos, pero que muchas veces pasan inadvertidos al ser bastante inespecíficos y muy similares a las respuestas incitadas por la metacolina o por la histamina.

Evaluación de los riesgos tóxicos consecuentes al uso de aditivos

Cuando existan razones para incluir aditivos químicos en la formulación de un alimento debe realizarse siempre dentro de un marco legal. Por ello, para conceder el permiso correspondiente, la Administración Pública exige la garantía de estudios completos, que demuestren la ausencia de toxicidad, al menos a determinadas concentraciones, que deben ser las que se aprueben para su uso. Una vez cumplidos todos los requisitos, las sustancias aprobadas pasan a ocupar un lugar en lo que desde un principio se denominó listas positivas, incluidas en las correspondientes legislaciones alimentarias.

Bajo el concepto de lista positiva se debe entender aquella relación de sustancias químicas que la Administración Pública aprueba para que puedan ser adicionadas en la elaboración de los alimentos, siempre bajo las condiciones establecidas y en las cantidades admitidas, generalmente reducidas. Es importante insistir que nunca debe ser usada como aditivo alimentario una sustancia que no esté expresamente comprendida en alguna de las listas positivas de aditivos alimentarios.

Cada uno de estos aditivos aprobados han sido objeto de un estudio toxicológico profundo, llevado a cabo en varias etapas de acuerdo con los objetivos señalados para conocer su toxicidad:

- Toxicidad aguda.
- Toxicidad crónica a corto y medio plazo.
- Toxicidad a largo plazo.
- Estudios especiales (mutagenicidad, cancerogenicidad, teratogenicidad, etcétera).

Los resultados obtenidos permiten sacar conclusiones acerca de la seguridad de su uso, su peligrosidad o su inocuidad, permitiendo la posibilidad de emitir un

acertado juicio sobre la idoneidad de ser rechazado o bien incluido en algunas de las relaciones de aditivos alimentarios cuyo uso está permitido.

En la evaluación de la seguridad de un aditivo alimentario deben ser tenidos en cuenta tres factores fundamentales:

- La toxicidad específica de cada sustancia.
- La dosis a partir de la cual presenta actividad tóxica.
- Los condicionantes que deban ser aplicados para extrapolar al ser humano los datos obtenidos en experimentos con animales.

Cada sustancia química presenta una cierta concentración, reducida o elevada según los casos, a la que puede provocar algún efecto adverso. Por tanto, la evaluación de la seguridad de su uso requiere que haya sido identificado dicho efecto nocivo potencial, a través de experiencias con animales que pongan de manifiesto cuáles son las concentraciones mínimas a las que no se observan efectos perjudiciales.

En la práctica, el conocimiento de la *dosis mínima sin efecto* (DMSE) puede servir de base para establecer los niveles de seguridad en el uso de una sustancia. Para ello, basta con aplicar un factor de seguridad al dato encontrado para dicha dosis. En el caso de los aditivos alimentarios se puede regular el uso de cada aditivo obteniendo las denominadas ingesta diaria admisible (IDA). Estos valores se obtienen dividiendo por el factor de seguridad 100 las cifras encontradas para las DMSE[1]

$$IDA = DMSE/100 \quad [1]$$

Es el término oficial establecido por la Organización Mundial de la Salud (WHO) y representa la cantidad máxima aceptable que diariamente se puede ingerir de esa sustancia, sin que se produzcan daños en el organismo que la consume. Se expresa en miligramos por kilo de peso corporal y con ella se espera tener la garantía de inocuidad para el uso de ese aditivo, siempre que su ingesta se realice a niveles inferiores a ella.

Como las IDA se obtienen para el ser humano por extrapolación de los resultados obtenidos en la experimentación con animales sanos y bien alimentados, es posible que no sean muy representativas para situaciones humanas de desequilibrio, tanto alimenticio como fisiológico. No obstante, se considera que en el factor 100 de reducción aplicado al valor de las DMSE, quedan incluidas todas las posibles causas desconocidas: edad, estado nutricional, estado sanitario, etc. Todo este planteamiento da a entender que si bien los valores usados para las IDA son datos legítimos, sin embargo siempre serán valores fundamentados sobre datos discutibles.

Enmarcadas dentro de la legislación alimentaria, las listas positivas se elaboran con vista a salvaguardar la salud pública y tienen como fin asegurar que todos los alimentos comercializados son sanos y no perjudican la salud del consumidor. Tienen un carácter dinámico y suelen ser revisadas periódicamente para incluir nuevas sustancias aprobadas, o retirar de ellas las que nuevos datos experimentales hayan puesto de manifiesto efectos tóxicos, o al menos hayan despertado dudas acerca de su inocuidad y la sospecha, o duda, haga necesario la espera de nuevas confirmaciones.

En España, los aditivos alimentarios se numeran de acuerdo con los criterios

vigentes en la Unión Europea. Los trabajos acerca de la unificación de los etiquetados llevó a establecer una clasificación funcional y asignarle a cada sustancia concreta un número. Cuando esa sustancia alcanza el reconocimiento para ser incluida en las listas positivas se le antepone a ese número la letra E, que significa un símbolo de seguridad. En EE UU se suele aplicar el concepto de sustancia GRAS (Generally Recognized as Safe, es decir, «generalmente reconocida como segura o sin riesgo»).

En resumen, para que una sustancia química pueda ser aprobada como aditivo Alimentario resulta preciso que responda a cuatro notas importantes: inocua, necesaria, útil y oportuna.

Directivas comunitarias y uso legal de los aditivos

En los momentos actuales, la legislación alimentaria española tiene vigentes tres reales decretos que hacen referencia a la aprobación de las listas positivas de aditivos para uso en la elaboración de productos alimenticios, así como a sus condiciones de utilización.

Estos reales decretos han sido la respuesta española a las directivas correspondientes del Parlamento Europeo y del Consejo de las Comunidades Europeas acerca de estas materias:

- a) Real Decreto 2001/1995, del 7 de diciembre, para aditivos colorantes, que recoge las directrices de 94/36/CE de la Unión Europea. Posteriormente, el Real Decreto 2107/96 aprueba las Normas de identidad y pureza de los aditivos colorantes permitidos.
- b) Real Decreto 2002/1995, del 7 de diciembre, para aditivos edulcorantes, que sigue las directrices de 94/35/CE de la Unión Europea.
- c) Real Decreto 145/1997, del 31 de enero, para aditivos distintos de los dos grupos anteriores, de acuerdo con las directrices señaladas en 95/2/CE, modificadas por 96/85/CE de la Unión Europea. En virtud del mismo no se consideran aditivos alimentarios:
 - Las sustancias usadas para el tratamiento de las aguas potables.
 - Los productos que contienen pectinas y derivados de pulpa de manzana desecada o pieles de cítrico, o mezcla de ambos.
 - La dextrina blanca o amarilla, el almidón tostado o dextrinado, el almidón modificado por tratamiento ácido o alcalino, el almidón blanqueado, el almidón modificado por medios físicos y el almidón tratado por enzimas amilolíticas.
 - El cloruro amónico.
 - El plasma sanguíneo, la gelatina comestible, los hidrolizados de proteínas y sus sales, las proteínas lácteas y el gluten.
 - Los caseinatos y la caseína.
 - La inulina.

La inclusión de un aditivo en las correspondientes listas implica la aprobación de su empleo bajo las condiciones que se establecen para ello. Cuando se indica la expresión *quantum satis* se significa que no existe especificación sobre los máximos niveles de uso.

No obstante, es importante que se respete en todo momento el requerimiento de usar los aditivos alimentarios con arreglo a las buenas prácticas de fabricación y nunca a niveles superiores al necesario para conseguir el objetivo pretendido.

En la Tabla 7.2 se indican los aditivos alimentarios de uso más frecuente, que además de aprobados por la legislación vigente han de figurar en el etiquetado de los productos alimenticios que le lleven, en unión de la categoría a la que corresponden y el número E que le identifica.

Tabla 7.2

Relación de los aditivos alimentarios de uso más frecuente, que son aprobados y han de figurar en las etiquetas

Colorantes

- Curcumina (E100), riboflavina (E101), cochinilla (E120), caramelo (E150), bixina (E160b), beta-apo-8'-carotenal (E160e) y antocianos (E163).
- Clorofila (E140) y complejos de cobre (E141), betacaroteno (160a), capsantina (E160c), licopeno (E160d), xantofilas (E161) y betanina o rojo de remolacha (E162).

Acidulantes

- Ácidos cítrico (E330), tartárico (E334), adípico (E355) y succínico (E363), y glucono-delta-lactona (E575).

Edulcorantes

- Sorbitol (E420), manitol (E421), aspartame (E951), ciclamato sódico o potásico (E952), isomaltitol (E953), sacarina (E954), taumatina (E957), neohesperidina DC (E959), maltitol (E965), lactitol (E966) y xilitol (E967).

Potenciadores del sabor

- Glutamato monosódico (E621) o monopotásico (E622), 5'-inosinato sódico (E631), guanilato sódico (627) y maltol (636).

Antiaglomerantes

- Carboximetilcelulosa (E466), estearato cálcico (E470).

Antiespumantes

- Aceite de parafina, aceite de soja oxipolimerizado.

Emulgentes

- Lecitinas (E322) y mono o diglicerol de ácidos grasos (E471).

Espesantes

- Carragenatos (E407), goma guar (E412), goma tragacanto (E413), goma xantana (E415) y celulosa (E460).

Estabilizadores

- Goma tragacanto (E413) y goma arábiga (E414).

Humectantes

- Lactato sódico (E325).

Tabla 7.2. (Continuación)

Antioxidantes

- Ácido ascórbico (E300) y sus sales sódica (E301) o potásica (E302), tocoferol (E306).

Conservantes

- Ácido sórbico (E200) y sus sales sódica (E201) o potásica (E202), ácido benzoico (E210), parahidroxibenzoato de etilo (E214), dióxido de azufre (E220) y sulfito sódico (E221), nisina (E234), nitrito potásico (E249) o sódico (E250) y los ácidos orgánicos acético (E260), láctico (E270), propiónico (E280) y málico (E296).

Almidones modificados

- Almidón oxidado (E1404), almidón acetilado (E1420) e hidroxipropil almidón (E1440).

Gasificantes

- Ácido L(+) tartárico (E334), carbonatos de sodio (E500), de potasio (E501) o de amonio (E502).

Gelificantes

- Alginato sódico (E401), agar-agar (E406) y pectinas (E440).

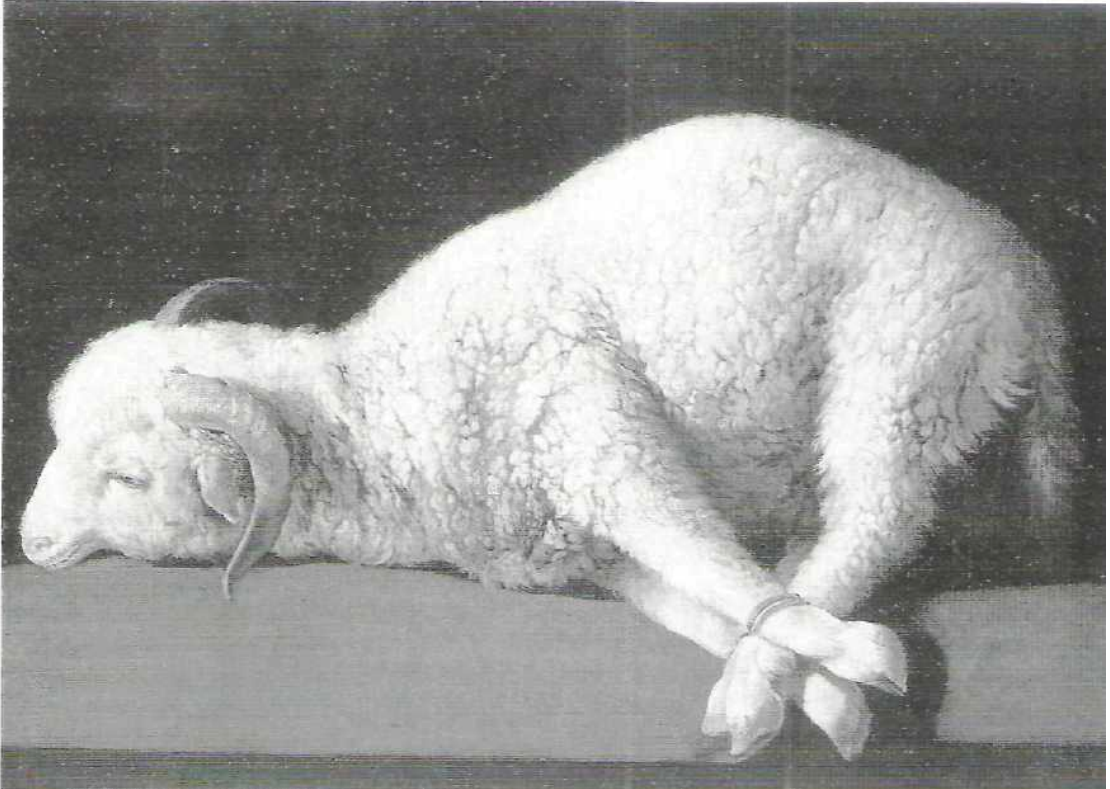
Sales fundentes

- Ascorbato cálcico (E302), lactato potásico (E326), ortofosfato (E339), polifosfato (E452).

Agentes de tratamiento de la harina

- Ácido ascórbico (E300), fisteína (E920), sistina (E921)
-

PARTE III



Zurbarán, Agnus Dei, Madrid

PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Propiedades nutricionales

- Introducción.
- Aplicaciones de nociones nutricionales: ingestas recomendadas, guías alimentarias.
- Aspectos nutricionales del agua.
- La función plástica de las proteínas alimentarias y su evaluación.
- Funciones nutricionales y dietéticas de los carbohidratos.
- Funciones nutricionales de los lípidos y de los ácidos grasos.
- Aspectos nutricionales de los micronutrientes.

Introducción

Los alimentos toman parte de nuestras vidas a través de los *hábitos alimentarios*, entendiendo como tal «el conjunto de productos alimenticios que con frecuencia se usan como integrantes de nuestras dietas y representan las bases de nuestra alimentación». En el ámbito nutricional se denomina *dieta* a «la cantidad de alimentos que se consumen durante las 24 horas de un día, a través de las dos comidas principales (comida y cena), así como en otras más informales como desayuno, aperitivo, merienda, *snacks*, etc.».

Alimentarse constituye una función fisiológica que se encuentra regida por los principios establecidos por la ciencia de la nutrición, que se procuran llevar a cabo bajo el control de la dietética. La nutrición estudia el uso hecho por el organismo de aquellas estructuras químicas que, bajo la consideración de nutrientes, son ingeridas y absorbidas con los alimentos de la dieta. En consecuencia, establece unos principios que fijan las necesidades personales en tales estructuras de acuerdo con la situación fisiológica de cada individuo. En cambio, la dietética se encarga de suministrar a cada individuo el conjunto de nutrientes requeridos, mediante la elaboración de dietas, que incluyen lo que se denomina *raciones alimenticias*.

Sin duda, el propósito de una buena alimentación está en promover la salud y el bienestar general de las personas; de aquí que, desde siempre, se haya relacionado el estado de salud de una población con sus hábitos alimentarios. Algunos estudios estadísticos han puesto de manifiesto la existencia de una correlación muy significativa entre los alimentos que recibe una población y la esperanza de vida de sus individuos. Hoy día se admite que a través de la alimentación se puede influir en el

estado de salud de las poblaciones, siempre que se haga una buena elección de los alimentos que se consumen. No obstante, la pauta para establecer una relación entre los alimentos y la salud está marcada por lo que habitualmente se consume durante un periodo de tiempo no inferior a quince días, nunca por la dieta de un día concreto.

Por ello, en alimentación no se debe trabajar bajo la idea de que un alimento es nutricionalmente bueno o malo, porque lo que se debe evaluar son las dietas de la que forman parte. En este sentido, sí cabe hablar de dietas correctas o incorrectas, según suministren, o no, los nutrientes necesarios para cubrir las necesidades del organismo vivo.

Lo normal es que los alimentos no se consuman aislados, sino asociados de acuerdo con unos planes culinarios concretos. Desde el punto de vista del valor nutritivo de los alimentos ingeridos es preciso considerar la posibilidad de asociaciones entre ellos, que conllevan fenómenos de complementación y de suplementación, con su correspondiente reflejo en el conjunto total de lo suministrado por las raciones alimenticias.

Los alimentos, en general, contienen un amplio número de componentes químicos entre los cuales se encuentran aquellos que desempeñan en el organismo la función de nutrientes: «estructuras químicas que el organismo necesita para poder desarrollar toda una serie de funciones fisiológicas esenciales en su vida: metabolismo, mantenimiento, crecimiento, ejercicio físico, gestación, lactancia, etc.». En tal sentido, sólo es capaz de garantizar un buen estado de salud aquella alimentación que conlleva el suministro adecuado de esos nutrientes.

Dentro de las posibilidades que, por ahora, maneja el ser humano no existe un alimento completo: «aquel que por sí mismo sea capaz de proporcionar en las cantidades adecuadas todos y cada uno de los nutrientes que necesitamos». Solamente, cabe citar una excepción: la leche de la madre para el recién nacido. En consecuencia, es preciso que la comida consista en una mezcla conveniente de alimentos. Sólo cuando la dieta suministra esos nutrientes en cantidades apropiadas se garantiza que el organismo pueda desarrollar sin problemas sus procesos vitales para mantenerse dentro de un estado de salud aceptable.

Es decir, para que una alimentación sea beneficiosa debe tener como base las denominadas *dietas equilibradas*, definidas como «aquellas capaces de aportar todos y cada uno de los nutrientes en las proporciones adecuadas para cubrir las necesidades nutricionales exigidas por un determinado estado fisiológico».

De acuerdo con esta definición, se puede afirmar que cada persona, cada individuo de una población, recaba para sí la provisión de una dieta equilibrada específica, cuya calidad nutricional responda a sus requerimientos fisiológicos. En caso contrario, la alimentación sería incorrecta y, como consecuencia, pueden aparecer problemas clínicos, tanto por un suministro deficiente de sustancias nutritivas (enfermedades carenciales), como por una excesiva ingestión de las mismas (obesidad, cardiopatías, etc.).

Para mantener un estado de salud adecuado, el organismo necesita recibir diariamente una serie de estructuras químicas que corresponden a los grupos químicos conocidos como proteínas, hidratos de carbono, lípidos, vitaminas y sales minerales. Es normal que el agua no se incluya entre la relación de nutrientes, pero no se debe hacer caso omiso de ella puesto que la ausencia de agua en la dieta durante un periodo corto representa una amenaza para la vida. En la Tabla 8.1 se recogen de

Tabla 8.1
Funciones fisiológicas y bioquímicas de los nutrientes

Nutrientes	Funciones
Agua	Participa en la estructura de muchos compuestos de los tejidos y actúa como medio de muchas reacciones.
Proteínas	Forma estructuras necesarias para las células y el crecimiento corporal. En el papel de enzimas intervienen en muchos de los procesos bioquímicos implicados en la actividad del organismo. En caso de necesidad, también puede proporcionar energía.
Hidratos de carbono	Su oxidación facilita energía con gran rapidez. Los no digeribles ayudan a regularizar la función intestinal.
Lípidos	Sirven de vehículo a las vitaminas liposolubles. Suministran los ácidos grasos esenciales y los necesarios para la síntesis de otros compuestos lipídicos. Pueden proporcionar energía.
Vitaminas	Catalizan los procesos bioquímicos de obtención de energía: la síntesis de compuestos y otras funciones vitales. Deben ser suministradas por la dieta, porque el organismo no las puede sintetizar, al menos en cantidades suficientes.
Minerales	Son necesarios para algunas estructuras esenciales para la reparación de tejidos y para el crecimiento. También ayudan a regular, o a desarrollar, procesos metabólicos y funciones fisiológicas importantes, como la actividad celular y la presión sanguínea.

forma esquemática las principales funciones fisiológicas y bioquímicas desempeñadas en el organismo por tales sustancias.

La primera consideración nutricional que suele hacerse de una dieta es su contribución a la energía global que el organismo necesita para vivir, es decir, la cantidad de energía necesaria y suficiente para poder llevar a cabo sus procesos metabólicos, muchos de ellos en cadena, que consumen energía. En la práctica han sido establecidas las necesidades energéticas diarias medias para grupos de personas en función del sexo, edad, estado fisiológico, actividad profesional, etc. Y en estos valores se han de basar los dietistas para elaborar dietas apropiadas para cada grupo de población o personas concretas.

En 1985 un Comité de expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) definió lo que se debía entender por los requerimientos de energía de un individuo:

«El nivel de ingesta energética procedente de los alimentos que equilibran el consumo de energía, cuando el individuo tiene una talla y una composición corporal, y un nivel de actividad física, compatibles con la buena salud a largo plazo, y que permite mantener la actividad física económicamente necesaria y socialmente deseable.

Para los niños, las mujeres embarazadas y aquellas que dan el pecho a su hijo, los requerimientos de calorías incluyen las necesidades energéticas, asociadas bien a la formación de tejidos o bien a la secreción de la leche, en cantidades compatibles con una buena salud.»

Lo normal es que estas necesidades energéticas sean cubiertas por los nutrientes aportados por la dieta; en este sentido, son tres los grupos de estructuras químicas que pueden actuar como fuentes energéticas: hidratos de carbono, grasas y proteínas. No obstante el organismo suele usar para estos efectos a los dos primeros tipos de sustancias, aunque todos ellos también pueden desempeñar otras funciones específicas, de modo especial las proteínas.

A partir de su composición porcentual en carbohidratos, proteínas y grasas se puede calcular el valor energético que puede proporcionar en el organismo un producto alimenticio. Para ello se aplican factores de conversión establecidos y aceptados de un modo generalizado. A pesar de ser valores totalmente convencionales, resultan útiles y adecuados para obtener el contenido calórico de un alimento. Hasta hace poco tales factores se expresaban en kilocalorías, pero el intento de normalizar las medidas bajo el Sistema Internacional de Unidades hace que en la actualidad se suelen expresar en kilojulios, resultado de multiplicar las kilocalorías por el factor 4,2.

Los azúcares y almidones aportados por los alimentos suelen ser digeridos en un 98 % y oxidados totalmente por el ser humano de tal modo que suministran 4 kcal (17 kJ) por gramo. La mayoría de las grasas ingeridas se digieren en un 95 % y cada gramo proporciona 9 kcal (37 kJ). En cambio, las proteínas presentan una digestión y oxidación incompleta, por lo que producen un equivalente energético de 4 kcal (17 kJ) por gramo. Mientras que las grasas representan la fuente más concentrada de calorías alimenticias, los hidratos de carbono son la fuente más barata, en tanto que las proteínas son las más costosas. Por otra parte, el etanol aportado por las bebidas alcohólicas produce un valor calórico de 7 kcal (29 kJ) por gramo o 5,6 kcal (23 kJ) por ml.

En el ser humano, carbohidratos, proteínas y grasas tienen vías metabólicas interrelacionadas e interconvertibles (Figura 8.1). Los primeros son una fuente económica de calorías, que el organismo puede usar con rapidez para una gran variedad de funciones fisiológicas: respiración, calor corporal, trabajo muscular. Sin embargo, también los otros dos grupos de nutrientes pueden proporcionar energía a través de sus interrelaciones con el acetil coenzima A, que le comunica con el ciclo de Krebs.

A través de su oxidación, los carbohidratos proporcionan la formación del ácido orgánico requerido para que las grasas se oxiden de modo completo hasta anhídrido carbónico y agua, a través del ciclo de Krebs. Por ello, los carbohidratos ejercen un efecto economizador del consumo de proteínas y grasas, puesto que el organismo sólo acude a oxidar estos dos tipos de nutrientes cuando tiene agotadas las fuentes de carbohidratos y necesita de una fuente energética adicional. En estos casos, acude a la oxidación de grasas y proteínas.

Cuando las grasas no pueden ser oxidadas de modo completo, se producen compuestos cetónicos que, al acumularse en la sangre, provocan la situación patológica conocida como cetosis. Desde 1989 se recomienda que la grasa total de la dieta no supere el 30 % de la ingesta calórica y que menos del 10 % de esta cantidad proceda de los ácidos grasos saturados.

Ante una situación deficiente en carbohidratos y grasas, los requerimientos energéticos se satisfacen a partir de las proteínas y a expensas de las necesidades corporales proteicas, siempre dependientes del *pool* de aminoácidos a disposición del organismo: *N* no proteico celular, proteínas funcionales celulares, proteínas cir-

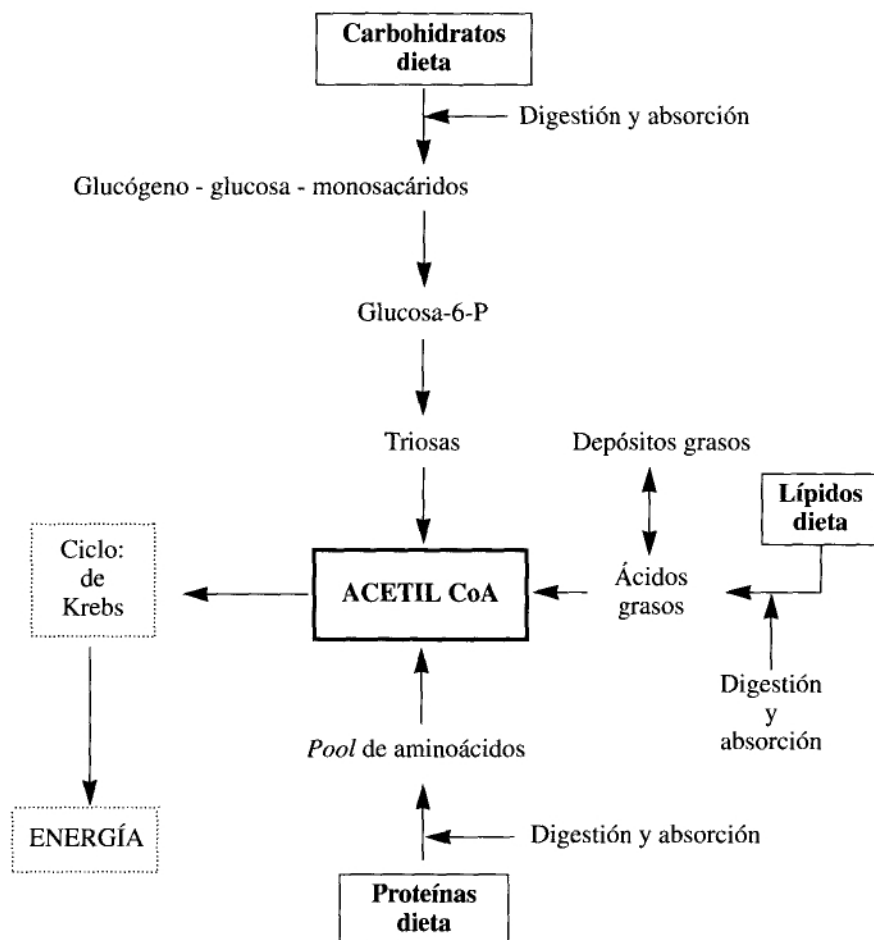


Figura 8.1. Interrelación metabólica de los nutrientes energéticos.

culantes, proteínas no esenciales (que actúan como depósitos de aminoácidos), proteínas estructurales, etc.

El *requerimiento energético* se define como el nivel de ingesta energética que, procedente de los alimentos, equilibra el consumo de energía presentado por un individuo. Un desequilibrio algo prolongado entre la ingesta calórica y el consumo energético producen tales modificaciones en las reservas corporales, que se traducen en cambios en la composición del cuerpo o en el peso.

Estos requerimientos energéticos, como los de los demás nutrientes, se suelen afectar por numerosos factores de características diferentes:

— Factores humanos: estado de reposo, actividad física, respuesta metabólica

- a los alimentos, edad, sexo, crecimiento, talla corporal, etc. A veces, también influye algún tipo de patología que se pueda padecer.
- Factores dietéticos: la forma y cantidad del nutriente, la incidencia de los procesos industriales y culinarios, las interacciones con otros componentes, etc.
 - Los factores ambientales relacionados con el clima y que inciden en el desarrollo de la actividad vital: condiciones de temperatura, humedad, etc.

Aplicaciones de nociones nutricionales: ingestas recomendadas, guías alimentarias

Hoy día se admiten tres posibilidades dentro de las funciones nutricionales de los alimentos que integran una dieta:

- Suministrar compuestos energéticos.
- Aportar compuestos que sirven para elaborar estructuras orgánicas esenciales.
- Proporcionar al organismo las estructuras químicas necesarias para regular sus procesos biológicos vitales.

Por ello, se aconseja que las dietas sean elaboradas a base de asociaciones de alimentos, para que el conjunto global aporte las cantidades adecuadas de sustancias que permitan desempeñar tres tipos de funciones nutricionales: energéticas, plásticas y reguladoras.

Aunque los tres grupos de macronutrientes pueden ser fuentes de energía, sin embargo nuestro organismo se ha adaptado para que las proteínas eludan esta función y desempeñen solamente una función de tipo plástico. Respecto de los otros dos tipos, carbohidratos y lípidos, hay que señalar el carácter energético de ambos, aunque con una ventaja de los segundos al proporcionar doble cantidad de energía. Sin embargo, nuestro aparato digestivo posee una capacidad limitada para absorber las grasas de la dieta, por lo que la función energética de las dietas recae de modo principal sobre los carbohidratos asimilables.

Bajo un enfoque científico, los aspectos nutricionales de los alimentos deben ser considerados desde una doble perspectiva:

- Cuáles son los nutrientes que contienen, así como la biodisponibilidad de los mismos.
- Cuál es la estabilidad relativa de cada uno de esos nutrientes y cómo se ven afectados por los procesos de elaboración, almacenamiento y comercialización.

Las propiedades nutricionales de los alimentos se valoran con frecuencia en relación con sus capacidades para contribuir a las dietas con un aporte correcto de nutrientes, que permita al organismo cubrir sus necesidades en todos y cada uno de ellos. En los planteamientos dietéticos, son los alimentos las fuentes de las que se sirve el organismo para obtener no sólo la energía total que necesita, sino también

aquellas estructuras químicas que le permite desarrollar su crecimiento, mantener la regeneración de los tejidos y posibilitar los procesos propios de su bioquímica y fisiología.

Resulta prácticamente imposible establecer unas cifras precisas para expresar las *necesidades nutricionales* (NN) de energía y nutrientes para cada individuo, porque siempre existen variaciones individuales, que impiden disponer de esas cifras como de algo seguro y definitivo. Por eso en la práctica se manejan las denominadas *recomendaciones dietéticas* (RD) o bien las *ingestas recomendadas* (IR), es decir, los niveles de ingesta de nutrientes esenciales que se consideran adecuados para cubrir las necesidades nutricionales del conjunto de las personas sanas.

Las IR o RD para los diferentes nutrientes se expresan por individuo y día. Generalmente, esta cifra es superior al mínimo requerido, pues es normal que esté calculada con el incremento del 20 % sobre el requerimiento medio de cada nutriente; se trata de un margen de seguridad que permite aplicar tales cifras con la garantía de cubrir las necesidades del 95 % de los individuos de esa población.

De todos modos, al planificar las comidas resulta innecesario, desde un punto de vista biológico, diseñar dietas diarias que cumplan las RD de todos los nutrientes, ni que cada comida aporte un porcentaje fijo de la RD de un nutriente. En principio, todo ser humano alimentado de modo correcto suele disponer de reservas suficientes para usar sin problemas cada nutriente; además, las RD son objetivos que deben ser conseguidos a lo largo del tiempo: unos tres días para los nutrientes de renovación rápida y uno o varios meses para los que tengan un metabolismo más lento.

En consecuencia, los menús para los diversos grupos de población se suelen diseñar con una capacidad capaz de cubrir unas RD dentro de periodos que abarquen de cinco a diez días. Cuando se trate de ajustar la energía total, las RD no deben incluir los márgenes de seguridad anteriormente señalados, porque entrañarían un aumento excesivo de peso corporal en la población.

Desde hace años, muchos países publican unas *pautas dietéticas recomendadas* en cuyas tablas se incluyen los valores admitidos para las ingestas recomendadas, que se indican para cada nutriente con unos valores que están de acuerdo con las distintas situaciones fisiológicas que pueden afectar a los diferentes individuos que constituyen el total de una población. En general, suelen ser siete los diversos grupos considerados: lactantes, niños, adolescentes, adultos, tercera edad, madres gestantes y madres que lactan, es decir, dan el pecho a su hijo.

Tales pautas dietéticas suelen ser revisadas de acuerdo con los avances en las investigaciones científicas y, en 1989, dos instituciones relacionadas con la alimentación, el Food and Nutrition Board y el NRC Report Review Committee, aprueban y editan las *raciones dietéticas recomendadas*, que han sido establecidas por un Comité de expertos y disponen del consenso de la opinión científica. Tales instituciones consideran que estas recomendaciones van a ser apropiadas para que los organismos, gubernamentales y privados, puedan apoyarse en ellas para desarrollar los programas de educación nutricional y las estrategias en sus objetivos de prevenir, o de mejorar, la salud pública.

Asimismo, resulta muy útil que además de conocer estas IR, la población pueda manejar unas *guías alimentarias*, con cuya ayuda aprenda la pauta a seguir para conseguir una planificación correcta de sus dietas. Tales guías son publicadas con la ayuda de las Administraciones Sanitarias y tienen como primordial objetivo apo-

yar el desarrollo de políticas nutricionales y conseguir que la población reciba la educación alimentaria más adecuada.

Dentro del contenido de estas guías, los alimentos suelen estar clasificados por grupos de acuerdo con el nutriente de contenido más significativo y en función de los hábitos alimentarios del país, o zona, hacia la que va destinada dicha guía. Un hecho bastante discutido radica en el lugar que deben ocupar las legumbres dentro de esos grupos de alimentos, porque existe la tendencia de situarlas en unión con los cereales, pero dicha práctica puede minusvalorar su importancia como alimento proteico.

Así, en 1992, el Departamento de Agricultura de los EE UU de América difundió la denominada «Food Guide Pyramid» o «Pirámide de Orientación Dietética», diseñada para dar a conocer el número de raciones que deben integrar cada grupo de alimentos para conseguir una alimentación equilibrada. La figura geométrica queda dividida en cuatro partes proporcionales, cada una de las cuales corresponde a los cuatro grupos de alimentos que pueden significar la base de una dieta: 1, leches y equivalentes; 2, carnes, pescados y huevos; 3, verduras, hortalizas y frutas; 4, pan y cereales.

La posible aplicación de esta pirámide a nuestro país adolece de una falta de adecuación a nuestros hábitos alimentarios, y para soslayar este inconveniente, el Ministerio de Sanidad y Consumo publica en 1996 unas pautas dietéticas para una correcta alimentación. Como una orientación práctica se incluye el «Rombo de la Nutrición»: un esquema geométrico dividido en siete áreas de grupos alimenticios cuyas superficies son proporcionales al número de raciones por día que resultan aconsejables consumir: 1, cereales, derivados y legumbres; 2, verduras y hortalizas; 3, carnes pescados y huevos; 4, leche y productos lácteos; 5, frutas; 6, grasas y aceites; 7, azúcar y productos azucarados.

De cada uno de estos grupos se puede hacer un análisis con criterio nutricional, que permita comprender el peso que cada uno adquiere en la elaboración de nuestras dietas. La distribución proporcional de cada grupo ha sido establecida de acuerdo con los estudios realizados acerca de los hábitos alimentarios de los españoles, que ha permitido determinar los tamaños medios para cada ración, así como deducir el modo más adecuado de agruparlos con el fin de conseguir el suministro de los perfiles de energía y nutrientes aconsejados.

Grupo 1: Legumbres, cereales y derivados

Forman un grupo de alimentos recomendados en todas las dietas por aportar importantes cantidades de nutrientes: carbohidratos digeribles y no digeribles; proteínas, de buena calidad en el caso de legumbres; vitaminas del complejo B, tales como B₁, B₆, niacina y ácido fólico, además de la E (de modo especial el germen y el salvado de cereales); minerales diferentes en cereales (Fe, P, Cr, F, Mn, Mo y Si) o legumbres (Cu, Mg y Si).

Los cereales son una fuente importante de almidones, fácilmente digeribles y convertibles en glucosa, además de fibras dietéticas, unas veces en sus formas insolubles como en el salvado de trigo, otras bajo formas solubles como en los salvados de arroz y de avena. También su contribución proteica es valiosa, de modo particular en lo que hace referencia a la cantidad, aunque su contenido en los granos de

cereales se sitúe solamente entre un 8 y un 12 %, bastante inferior al de los granos de leguminosas. El aminoácido limitante de los cereales suele ser la usina, aunque el maíz también es muy pobre en triptófano. La avena es el cereal con mayor contenido en Usina y por ello va adquiriendo un papel más significativo en las dietas.

Por su parte, las legumbres como alubias, guisantes y lentejas aportan, además de fibra dietética, proteínas con un contenido abundante en lisina, leucina y arginina, aunque reducido en metionina, cistina y triptófano. De aquí que se complementen bien con los cereales y los alimentos proteicos de origen animal: lentejas con arroz, arroz con pollo, macarrones con queso, etc.

Su presencia diaria recomendable en las dietas puede alcanzar niveles de seis a diez raciones distribuidas entre pastas, arroz y legumbres (50-100 g), pan (40-60 g), galletas (40-50 g) y cereales para desayuno (30-40 g).

Grupo 2: Verduras y hortalizas

Los alimentos que integran este grupo presentan una gran diversidad en lo que concierne a su estructura física y a su aporte en nutrientes.

Su contenido en proteínas es más bien escaso, aunque dicha proteína pueda ser de muy buen valor biológico. Sin embargo, son abundantes en carbohidratos de todo tipo, destacando entre ellos lo no digeribles, bajo la forma de fibras solubles. Su principal aporte vitamínico radica en ácido ascórbico y en vitamina A, aunque algunos de ellos suelen ser ricos en precursores de esta última vitamina. El tratamiento térmico, tanto el realizado en el escaldado industrial como el culinario, puede destruir con bastante facilidad gran parte del contenido en ácido ascórbico, con lo que el aporte en vitamina C se reduce de modo significativo. Sin embargo, las pérdidas también pueden ser debidas tanto al prolongado almacenamiento, como a la eliminación de aquellas partes del producto vegetal con una mayor riqueza en vitamina C: hojas externas de las lechugas, piel de las patatas, etc. Aunque su aporte en Ca es más bien escaso, sin embargo cuando las dietas son pobres en productos lácteos representan su fuente dietética más importante. También aportan minerales interesantes, como Fe, K, Mg y Cu.

La contribución a las dietas puede ser realizada a través de tres a cinco raciones de unos 150-200 g tanto de cada tipo de verduras como de hortalizas.

Grupo 3: Carnes, pescados y huevos

Debe ser considerado como un grupo importante porque suministra proteínas de alto valor biológico, que suelen ser tomadas como proteínas de referencia para evaluar la calidad aminoacídica nutricional de otras proteínas. Así, por ejemplo, la proteína total de huevo posee tal contenido en tipos y cantidad de aminoácidos, que se considera suficiente para responder con integridad a las necesidades del organismo humano en aminoácidos esenciales. Por ello se le asigna un valor biológico con el nivel máximo de 100. Asimismo, de las proteínas de carnes y pescados se pueden obtener cantidades significativas de lisina y suficientes de metionina.

En cambio, su aporte en carbohidratos resulta ser en general bastante escaso, mientras que la presencia de lípidos es muy variable, tanto en cantidad como en

calidad. La grasa de los rumiantes suele ser bastante rica en ácidos grasos saturados, en tanto que los lípidos de los animales marinos (peces y mamíferos) son una fuente esencial de ácidos grasos poliinsaturados, sobre todo de alto número de carbono y de dobles enlaces.

Suelen ser buenas fuentes de vitaminas hidrosolubles del complejo B: B₁ en hígado y carne de cerdo; B₂ en hígado, carnes y pescados; B₆ en huevos, pescados y carnes; niacina en vísceras, carnes y pescados; B₁₂ en huevos, hígados, riñones, carnes y pescados; ácido fólico en hígado; ácido pantoténico en vísceras y yemas de huevo; biotina en hígado, riñón y yema de huevo. En cambio, las liposolubles se encuentran solamente en las partes grasas: A, D y E están contenidas en hígado, yema de huevo y filetes de pescados grasos; en cambio la K se encuentra en hígados y pollos.

Respecto del aporte de elementos minerales cabe destacar sus contenidos en hierro, sobre todo las carnes (que algunas veces puede representar un 40 % de hierro total de la dieta), así como los órganos glandulares, de modo particular el hígado de cerdo y en menor cuantía pollos y pescados. También la carne y los productos cárnicos transformados representan buenos aportes de P, Na y K. En cambio, vísceras y productos marinos son ricos en I, F, Cr, Cu, Mo, Si y Zn. Por el contrario, la mayoría de los alimentos de este grupo contienen solamente vestigios de Ca y de vitamina C.

Su presencia en las dietas puede ocupar de dos a tres raciones distribuidas entre 100-150 g de carnes y pescados, así como una pieza de huevo.

Grupo 4: Leches y productos lácteos

Los nutrientes aportados por la leche pueden estar presentes en las dietas a través de productos muy diversos: leche fresca o pasteurizada, quesos frescos o madurados, leches fermentadas, requesón, etc.

La contribución primordial de este grupo es triple: *a)* proteínas de buena calidad; *b)* calcio, bajo formas asimilables y en proporciones que resulta difícil conseguir a partir de otras fuentes; *c)* vitamina riboflavina (B₂), aunque su contenido dependa de las condiciones de almacenamiento y conservación, pues la luz solar puede destruirla en un 50 %. No obstante, hay que tener en cuenta que, por lo que respecta al calcio, el requesón es un pobre sustituto de la leche íntegra. Los factores limitantes de la leche y sus derivados son dos: el Fe, que se encuentra en proporciones muy pequeñas, insuficientes para regenerar la hemoglobina en niños con seis meses, alimentados con una dieta exclusivamente láctea; el ácido ascórbico, cuya escasa presencia suele destruirse con la pasteurización. En cambio, proporcionan vitaminas A, D y E, así como minerales P, Na, K, Mg, Cr, I y Zn.

Su contribución a la dieta puede ocupar de dos a tres raciones distribuidas entre 250 ml de leche, 30-40 g de queso curado o 60 g de queso fresco.

Grupo 5: Frutas

Normalmente son consumidas como postres, aunque también pueden aparecer en las dietas de alguna otra forma, como frutos secos, zumos, tomando parte de la

composición de tartas y como guarnición, acompañando algunos platos de carnes o de pescados. Las frutas frescas presentan un elevado contenido en ácido ascórbico, aunque su porcentaje varía con la especie, la madurez, la estación anual, las condiciones climatológicas y el modo como han sido almacenadas. También los zumos de frutas pueden ofrecer notables variaciones en la cantidad de ácido ascórbico de unos a otros. Los frutos secos suelen aportar Ca y Mg en cierta cantidad. Su contribución a las dietas puede corresponder a dos o tres piezas de 120-160 g.

Grupo 6: Grasas y aceites

Alimentos como los aceites comestibles, la mantequilla, las margarinas, las grasas concretas, la nata, etc. están compuestos en su casi totalidad por triacilglicérols. Otros alimentos transformados, tales como embutidos, mayonesas, chocolates, patatas fritas, otras frituras, etc., pueden ser ricos en ellos aunque en menor concentración. En cambio, sus niveles lipídicos son muy reducidos en filetes de pescado graso, legumbres, arroz, pan, etc. Muchos de ellos aportan las vitaminas liposolubles D y E. Debido a las limitaciones que las recomendaciones dietéticas hacen del consumo de grasa, este grupo de alimentos debe estar presente en la dieta con cierta moderación y nunca superar los 80 g por día.

Grupo 7: Azúcar y productos azucarados

No deben de ser consumidos en cantidades que representen más del 10 % de las calorías totales.

Aspectos nutricionales del agua

El agua debe ser considerado como el componente más abundante del organismo humano, pues viene a representar el 70-75 % del peso corporal en un niño lactante y un 60 % en una persona adulta. Además de participar en la composición de los órganos y tejidos, el metabolismo propio de un ser vivo implica una serie de reacciones y fenómenos químicos que se desarrollan en un medio acuoso. De ahí que la ingesta de agua sea todavía más imperiosa que la ingesta de alimentos.

El agua presente en un organismo humano se encuentra distribuida en dos tipos diferentes de compartimentos, aunque entre ellos exista un intercambio acuoso:

- El *espacio extracelular*, que suele representar el 20 % de su peso corporal en la persona adulta.
- El *espacio intracelular*, que también en la persona adulta viene a ser el 40 % de su peso corporal.

En el *espacio extracelular* es preciso distinguir dos partes:

- a) Los líquidos plasmáticos o sangre circulante, que contienen numerosos tipos de sustancias químicas: unas disociadas, como cloruro (Cl^-) y bicarbonato

(CO₃H⁻) sódico (Na⁺); otras no disociadas, como glucosa, urea y proteínas. Suele representar en el adulto un 5 % de su peso.

- b) Los líquidos intersticiales, que envuelven y bañan las células con los mismos tipos y proporciones de electrolitos.

La composición de los líquidos *intracelulares* es muy diferente a la de los líquidos *extracelulares*, de modo particular en lo que respecta al contenido en electrolitos. Una célula contiene 30 veces más potasio que los líquidos que la rodean, muchos más ricos en sodio, porque la célula sólo puede vivir si está bañada por un medio con una elevada concentración de sodio, aunque ella misma apenas lo contenga.

Entre ambos compartimentos existe un constante intercambio, que puede tener lugar a través de las paredes de cada célula (cuando se trata de los espacios intra y extracelular), o bien a través de las paredes de los capilares sanguíneos (cuando es el caso de los compartimentos plasmáticos e intersticiales).

El desarrollo de la vida de todo organismo vivo implica unas pérdidas diarias de agua, que puede tener lugar por diferentes vías: la orina (1.300 a 1.500 ml por día), las materias fecales (entre 100 y 200 ml por día), la respiración y la evaporación cutánea (entorno a los 800 ml por día).

Para equilibrar este balance hídrico, el organismo necesita un aporte de agua, que puede proceder de tres orígenes distintos:

- La ingestión de bebidas (unos 1.200 ml por día).
- El agua de constitución de los alimentos (aproximadamente 900 ml por día).
- El agua producida en las reacciones de oxidación de los nutrientes (unos 300 ml por día).

El metabolismo corporal del agua dispone de unos sistemas homeostáticos de regulación, tanto en lo que hace referencia a los aportes como a las pérdidas. El equilibrio hidroelectrolítico del organismo se alcanza mediante la contribución de dos tipos de mecanismos:

1. La relación con el exterior es regulada por el balance hídrico.
2. La distribución interior es ajustada por osmolaridad.

A través de ellos se mantiene la composición del medio interno, de la que se derivan tres parámetros: volumen total de agua, pH y osmolaridad. Cuando alguna causa altera el equilibrio entre las entradas y salidas, estos parámetros se pueden ver afectados de un modo patológico.

La adecuación de los aportes de agua viene regulada por la sed, cuyo estímulo se controla desde una zona de la región lateral del hipotálamo, que dispone de células muy sensibles a las más ligeras variaciones de la osmolaridad. En cambio, el control de las pérdidas depende del funcionamiento del riñón, compuesto por más de un millón de nefronas que desempeñan un papel esencial en la excreción de orina.

Son varias las hormonas que intervienen en el metabolismo del agua: la vasopresina u hormona antidiurética, sintetizada en el hipotálamo; la aldosterona, sintetizada en las glándulas córtico-suprarrenales, cuya función principal es retener el sodio; y el sistema renina/angiotensina, que interviene en el metabolismo del agua a través de diversos mecanismos. También el sodio, principal catión de los líquidos

extracelulares, desempeña un papel primordial en el equilibrio de la masa hídrica del organismo.

Aunque las necesidades corporales de agua vengan primariamente determinadas por el metabolismo, sin embargo la estimación real de sus requerimientos resulta bastante compleja, porque lo normal es que sea un dato muy variable. Las pérdidas insensibles pueden diferir de modo notable y la composición de la dieta influye en la cantidad de agua necesaria para mantener la carga de solutos en los riñones.

Para fines prácticos, se suele recomendar una ingesta de 1 ml de agua por Kcal de consumo energético; sin embargo, para cubrir variaciones que corresponden a la actividad, sudoración, etc. se suele elevar esta cifra hasta 1,5 ml/kcal. En otros términos, para una persona adulta que desempeñe su vida en un clima templado y realice una actividad física moderada, se estima una necesidad hídrica de 35-45 gramos de agua por kg de peso corporal. Estas necesidades se incrementan con el trabajo muscular intenso y con los ambientes térmicos calurosos; también el embarazo exige mayores necesidades en agua, a causa de la expansión del espacio líquido extracelular, del líquido amniótico y de las necesidades del feto. Asimismo, los lactantes presentan mayores requerimientos porque tienen mayor porcentaje de agua corporal y una tasa más elevada de renovación de la misma.

Para comprender la importancia nutricional del agua basta que se haga referencia a su papel como medio universal en el que se desarrollan todos los procesos fisiológicos esenciales, gracias a sus peculiares propiedades fisicoquímicas:

- Su polaridad le permite establecer uniones entre las moléculas mediante fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno, que explican tanto las solubilidades como las disposiciones espaciales de las macromoléculas.
- Por su elevada conductividad puede actuar como elemento termorregulador.
- Por su alta tensión superficial es el medio en el que pueden tener lugar las corrientes intracelulares.
- Por su capacidad de ionización puede desempeñar funciones como oxidar, reducir e hidratar.
- Por su constante dieléctrica y su polaridad puede actuar como disolvente de muchos compuestos químicos.

La función plástica de las proteínas alimentarias y su evaluación

La principal trascendencia de las proteínas de la dieta radica en el aporte de aminoácidos que liberan en los procesos de digestión y que son absorbidos a través de la mucosa intestinal del organismo.

El ser humano necesita de la contribución de unos veinte aminoácidos para la síntesis general de sus proteínas, aunque algunas de ellas, como la tiroglobulina, puede exigir la presencia de alguna estructura aminoacídica no convencional. Las proteínas, al igual que otras sustancias nitrogenadas, se degradan y se resintetizan de modo continuo en el organismo. Se ha comprobado que la cantidad de proteínas

que diariamente se renuevan en el cuerpo humano es varias veces superior a la consumida con la dieta, lo que significa la existencia de una reutilización de las estructuras aminoacídicas, dentro de la economía del metabolismo proteico.

Por consiguiente, la función primordial de las proteínas recibidas con la dieta es la de proporcionar el nitrógeno alfa aminoacídico necesario para que el organismo pueda utilizarlo en la síntesis de los aminoácidos y de otros componentes nitrogenados que intervienen en la composición corporal. Así pues, no existe la necesidad de suministrar con la dieta los veinte aminoácidos al mismo tiempo, porque el organismo humano tiene capacidad para sintetizar la mayoría de ellos, calificados de *no esenciales*, a partir de hidratos de carbono o de lípidos, con tal que disponga de una fuente adecuada de nitrógeno.

En cambio, carece de rutas metabólicas para la síntesis de unos pocos aminoácidos, y por tanto su aporte a través de la alimentación resulta *indispensable* para que el organismo humano desarrolle todas sus operaciones vitales de crecimiento, mantenimiento y otras funciones metabólicas.

Normalmente, el crecimiento corporal exige la ingestión dietética adecuada de los ocho aminoácidos siguientes:

- Tres de cadena ramificada: leucina, isoleucina y valina.
- Dos aromáticos: fenilalanina (tirosina) y triptófano.
- Dos alifáticos: treonina y lisina.
- Uno azufrado: metionina (cistina).

En la práctica, son diez los aminoácidos que han de ser incluidos en este grupo de aminoácidos esenciales o indispensables, porque la fenilalanina es convertida por el organismo en tirosina (señalada entre paréntesis) y la metionina es metabolizada a cistina (señalada entre paréntesis). Por tanto, es conveniente que la dieta incluya cantidades adecuadas de estos dos aminoácidos, aunque ellos no sean indispensables, para reducir o economizar los requerimientos de sus precursores esenciales.

Hoy día, reciben la consideración de *indispensables* en la dieta otros dos aminoácidos básicos, aunque hasta ahora no eran conceptuados como tales, porque el organismo humano tiene cierta capacidad para sintetizarlos: la histidina y la arginina. Está demostrado que, bajo determinadas situaciones fisiológicas, no se sintetizan en cantidades suficientes para cubrir algunas necesidades fisiológicas especiales. Esto ocurre de modo especial con la histidina en lactantes y también en los individuos jóvenes; o con la síntesis de arginina, que resulta insuficiente cuando el organismo tiene alterada la función hepática.

También son diez las estructuras aminoacídicas que el hígado del organismo humano puede sintetizar a partir de intermediarios metabólicos, mediante diversas reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas: ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, arginina, glicina, hidroxiprolina, histidina, 3-metil-histidina, prolina y serina.

Existen diversas vías metabólicas que permiten conseguir los grupos aminos necesarios para la formación de estos alfa-aminoácidos: en la mayoría de los casos suelen proceder de la desaminación de cualquier estructura aminoacídica proporcionada por la dieta, con el fin de obtener los grupos NH_4^+ . Tales grupos se incorporan a través de la glutamina y el glutamato, mediante reacciones de transaminación catalizadas por diversas transaminasas empleando como cofactor oxidante el

NAD. Sin embargo, para la síntesis del propio glutamato, el organismo utiliza un intermediario del ácido cítrico, el alfa-cetoglutarato, que es aminado mediante la actividad catalítica del enzima glutamato deshidrogenasa, usando el NADHP como cofactor. En cambio, la síntesis de la alanina tiene como precursor la molécula de piruvato, mientras que la síntesis de la serina utiliza el 3-fosfoglicerato.

Por todo ello, no sólo se ha de suministrar con la dieta alimenticia determinadas cantidades de aminoácidos *esenciales* o *indispensables*, sino que también resulta conveniente incluir una cierta cantidad de los demás en cuanto significan fuentes nitrogenadas en la forma amino.

Las fuentes alimentarias que aportan proteínas con una gran riqueza de aminoácidos *esenciales* son los huevos, las carnes, los pescados (aunque los elasmobranchios, como tiburones y rayas, carecen de algunos de ellos) y la leche, todos alimentos de origen animal.

Entre las fuentes de origen vegetal de abundante consumo, caben citar las legumbres, cuyas proteínas son deficientes en aminoácidos azufrados, pero que se complementan muy bien con las de los cereales, a su vez bastante pobres en lisina. Otras fuentes vegetales, como las patatas, pueden contener proteínas bastante completas, pero su porcentaje en el alimento resulta muy escaso.

No obstante, hay que subrayar cómo lo que cuenta para el organismo es el total de aminoácidos suministrados por la dieta, por lo general elaborada a base de una asociación de alimentos, y no el aporte aminoacídico de una proteína concreta individual.

En aquellos casos donde la ingesta aminoacídica no sea equilibrada, bien por evidente desproporción de unos aminoácidos con respecto de otros, o bien porque la ingestión de los aminoácidos esenciales no es simultánea para cubrir las proporciones requeridas en un momento dado, aparecerá una insuficiencia dietética, que cuando se hace crónica se traduce en situaciones patológicas concretas.

Tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, el requerimiento en aminoácidos que puede tener una persona dependerá de su estado fisiológico corporal. Y para que este requerimiento sea cubierto de modo adecuado es preciso que la dieta recibida sea lo más variada posible. En este sentido, se ha comprobado que con una dieta a base de proteínas vegetales resulta muy difícil conseguir un aporte adecuado de aminoácidos, por la deficiencia en algunos aminoácidos esenciales que caracteriza a muchas de esas proteínas: la zeína del maíz carece de lisina y triptófano, la gliadina del trigo tiene un bajo contenido en lisina, etc. Por eso, la mayoría de los regímenes exclusivamente vegetarianos pueden conducir a situaciones de desnutrición. Solamente una combinación bien estudiada de cereales con legumbres puede ser adecuada para ofertar una proteína bastante completa.

El metabolismo proteico corporal puede ser expresado como una diferencia entre el consumo de nitrógeno y su eliminación, es decir, de acuerdo con lo que se denomina balance nitrogenado. El crecimiento suele dar un balance positivo, porque existe una retención proteica exigida por la síntesis de proteínas y depósito de las mismas en los tejidos correspondientes. En cambio, un periodo de malnutrición dará lugar a un balance negativo, porque implica pérdidas de nitrógeno superiores a la ingesta. En tal sentido, el balance nitrogenado de un adulto normal debe ser cero.

Las necesidades proteicas de los adultos se pueden determinar valorando la mínima ingesta proteica capaz de mantener el equilibrio nitrogenado. En la actúa-

lidad se admiten unos valores para los requerimientos proteicos diarios de las personas adultas, que han sido calculados tomando como base unas proteínas denominadas de referencia: proteínas de alta calidad, fácilmente digeribles, como huevos, carnes, leches y pescados. Dicha cifra se sitúa en 0,6 g de proteínas por kg de peso y día; sin embargo, para otras proteínas con menor digestibilidad hay que aumentar esta cifra para compensar las deficiencias en su absorción. Asimismo, para los jóvenes de ambos sexos y también para los ancianos se han establecido 0,75 g/kg y día, tal vez para compensar una posible menor eficacia en su utilización.

El valor nutritivo de un alimento, en cuanto fuente proteica, refleja su aptitud para contribuir con su presencia en la dieta a las necesidades de nitrógeno y aminoácidos del consumidor y asegurar que puede alcanzar un crecimiento y un mantenimiento convenientes. Ahora bien, la capacidad para conseguirlo es función de tres factores: a) el contenido en proteínas que ofrezca; b) el tipo y cantidad de aminoácidos que aporta; c) la disponibilidad de estos aminoácidos para ser absorbidos por el intestino humano.

Históricamente son varios los índices nutricionales, unos químicos y otros biológicos, aplicados para evaluar la calidad nutricional de una proteína alimenticia: *Chemical Scores (egg ratio)* de Mitchell y Block, *índice de aminoácidos esenciales* de Oser (IAE), *coeficiente de eficacia proteica* (CEP) *valor biológico* de Mitchell (VB), *utilización proteica neta* (UPN), etc.

Los métodos químicos reflejan la realidad del alimento antes de ser ingerido, pero no tiene en cuenta la actividad fisiológica del organismo que lo ingiere. Por lo general se basan en el contenido en aminoácidos esenciales, previamente valorados por el análisis químico, y su comparación con las necesidades del ser humano para esos aminoácidos.

Como referencia se puede tomar las dadas en 1973 por la Organización para la Agricultura y los Alimentos (FAO), o bien las establecidas en 1980 por la Sociedad Americana de Nutrición (SAN), aunque se refieran a las necesidades del niño de corta edad (Tabla 8.2).

El primero en ser aplicado fue el denominado *Chemical score* o *Puntuación quí-*

Tabla 8.2

Patrón de aminoácidos esenciales (mg/g de proteínas) necesarios para cubrir las necesidades humanas establecidos por la FAO y la SAN

Aminoácido esencial	FAO	SAN
Fenilalanina + tirosina	60	73
Histidina	0	17
Isoleucina	40	42
Leucina	70	70
Lisina	55	51
Metionina + Cistina	35	26
Treonina	40	35
Triptófano	10	11
Valina	50	48

mica (PQ) de una proteína, establecido por Mitchell y Block, aunque estos autores lo refirieron a la proteína del huevo (*egg ratio*). Queda definido por la ecuación [1]

$$\frac{\text{mg del aminoácido limitante contenido en 1 g de proteína}}{\text{mg del mismo aminoácido por g de proteína de referencia}} \times 100 \quad [1]$$

Se obtiene para el aminoácido esencial que es limitante en la proteína estudiada. Las únicas PQ que en la práctica pueden tener cierta importancia son las que corresponden a la lisina, los aminoácidos azufrados, el triptófano y la treonina, por ser los únicos que aparecen como limitantes en la mayor parte de las proteínas aportadas por las dietas humanas.

Esta PQ permite calcular tanto las necesidades para una sola proteína, como para una mezcla de ellas [2].

$$\text{Consumo necesario de la mezcla proteica} = \frac{\text{consumo recomendado proteína huevo}}{\text{PQ de la mezcla}} \times 100 \quad [2]$$

El uso de las PQ ha permitido desarrollar mezclas de alimentos que ofrecen en su conjunto una cantidad de proteína de alto valor nutritivo, importante para los países en desarrollo. De todos modos, como ocurre con cualquier método químico, no tiene en cuenta la digestibilidad de las proteínas, ni la biodisponibilidad de los aminoácidos. Experiencias biológicas recientes han puesto de manifiesto que la PQ basadas en el patrón de la FAO permiten predecir las mezclas de proteínas más adecuadas para cubrir las necesidades en aminoácidos esenciales de niños en crecimiento en países en desarrollo.

Kuhnaus aplicó en sus experiencias sobre nutrición un *índice integrado* que correspondía a la suma de todos los valores individuales de la relación entre el contenido del aminoácido en la proteína a estudiar y el contenido de ese aminoácido en la caseína de la leche [3].

$$I_k = Am_1p/Am_1c + Am_2p/Am_2c + \dots + Am_ip/Am_ic \quad [3]$$

Este índice fue corregido por Oser teniendo en cuenta el siguiente criterio estadístico: «para que dos sucesos tengan lugar simultáneamente existe una probabilidad que es función de las existencias individuales». Como la síntesis de una proteína exige todos los aminoácidos esenciales necesarios a la vez, quiere decir que la probabilidad de que todos los aminoácidos esenciales estén disponibles a un mismo tiempo en el punto de síntesis es una función matemática de sus productos, nunca de sus sumas. Por ello, Oser estableció el denominado *índice de aminoácidos esenciales* (IAE) de acuerdo con la ecuación [4]:

$$IAE = \sqrt[n]{A_1p/A_1h \times A_2p/A_2h \times \dots \times A_np/A_nh} \quad [4]$$

Para su cálculo, los *egg ratio* obtenidos que superen el valor de 100 se igualan a esta cifra, porque se entiende que toda cantidad superior a la aportada por la proteína huevo, que responde exactamente a las proporciones requeridas por las necesidades del ser humano, no es aprovechada y se metaboliza.

Desde los trabajos de Thomas y de Mitchell, el valor nutricional de una proteína se mide de acuerdo con la realización de un balance nitrogenado (Figura 8.2) mediante el índice conocido como *valor biológico* (VB): «gramos de proteína corporal formada por cada 100 gramos de proteína alimenticia que ha sido ingerida y absorbida por el tracto intestinal».

Es decir, la relación entre el N retenido y el N absorbido, cuyos valores han sido conseguidos a partir del balance nitrogenado obtenido durante una semana con ratas cuya ingestión de dieta y excreción de orinas y heces eran perfectamente controladas [5].

$$\text{V.B.} = \frac{N \text{ retenido}}{N \text{ absorbido}} = \frac{N \text{ ingerido} - (N \text{ urinario} + N \text{ fecal})}{N \text{ ingerido} - N \text{ fecal}} \quad [5]$$

En realidad es un concepto que viene determinado por el contenido absoluto del alimento proteico en aminoácidos esenciales, así como por la relación ponderal entre ellos y con los demás aminoácidos no indispensables. Será tanto más elevado cuanto más se aproximen los aminoácidos de la proteína a las necesidades aminoácidas del organismo que la ingiere.

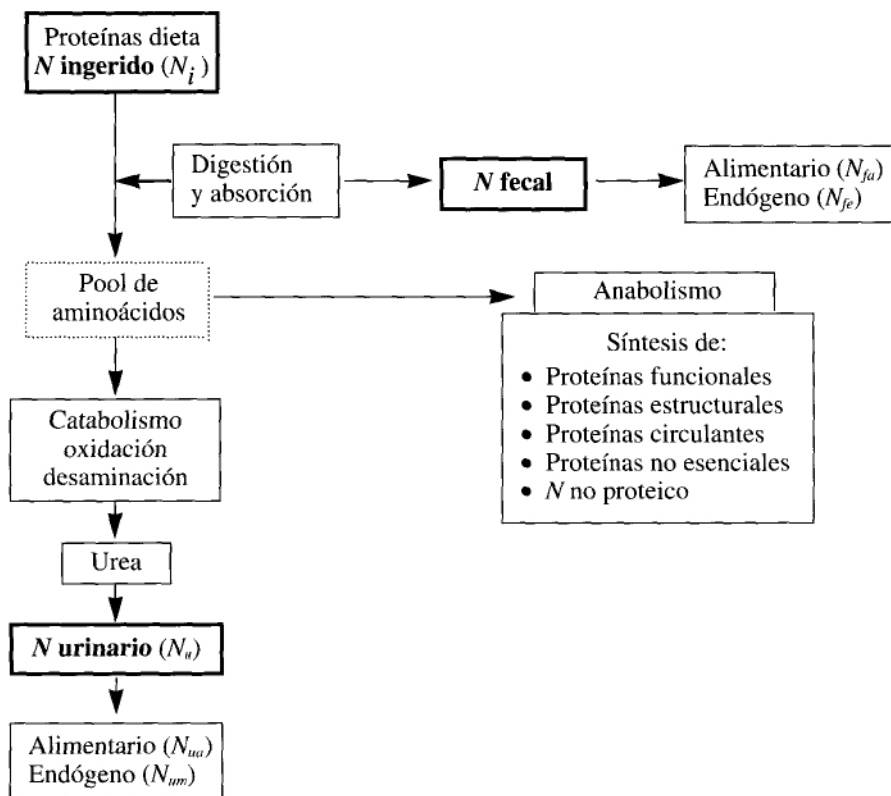


Figura 8.2. Esquema de un balance nitrogenado

Al *valor biológico* se le ha objetado como índice proteico nutricional, no tener en consideración a la proteína que el organismo no es capaz de digerir y se elimina por las heces. Para soslayar este inconveniente se suele manejar otros dos índices, que tienen en cuenta los aminoácidos no absorbidos y excretados, calculados también de los datos del balance nitrogenado:

Coefficiente de digestibilidad (CD). Porcentaje del nitrógeno ingerido que ha sido absorbido [6].

$$CD = \frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ ingerido}} \quad [6]$$

Utilización proteica neta (UPN). Porcentaje del nitrógeno ingerido que ha sido retenido. Se corresponde con el producto del coeficiente de digestibilidad y el *valor biológico* [7].

$$UPN = \frac{N_r}{N_i} = \frac{N_i - [(N_f - N_{fe}) + (N_u - N_{ue})]}{N_i} \times 100 \quad [7]$$

Diversos estudios que correlacionan la cifra de IAE, obtenida de los datos aportados por un análisis químicos, con experiencias biológicas de obtención del *valor biológico* (VB) de la misma proteína, han permitido a Mitchell establecer la siguiente ecuación [8] para determinar, a partir de un simple análisis químico de aminoácidos esenciales, lo que podríamos considerar un *valor biológico teórico* (VB_t):

$$VB_t = 1,09 \times IAE - 11,7 \quad [8]$$

Para muchos efectos se aplica como índice de calidad proteica el denominado *coeficiente de eficacia proteica* (CEP), que se define como la relación entre el incremento de peso conseguido en los animales alimentados durante un mes con una dieta patrón de caseína y el total de proteína ingerida. Los datos obtenidos se suelen ajustar al valor 3,0 para la caseína [9].

$$CEP = \frac{\text{Incremento de peso}}{\text{Proteína ingerida}} \quad [9]$$

Sin embargo, este índice sólo resulta verdadero cuando la dieta alimenticia no provoca cambios en los porcentajes relativos de la composición corporal en grasa, proteínas, carbohidratos y agua.

Todos los índices nutricionales basados en experiencias biológicas, indican la capacidad de cada proteína para contribuir al *pool* de aminoácidos disponibles que posee el organismo para llevar a cabo la síntesis de todas sus proteínas. Hay que tener en cuenta que cada proteína exige para ser sintetizada el concurso simultáneo de todos sus aminoácidos. Cuando el organismo no dispone de ellos ha de romper otras proteínas para hacer uso de los que faltan y catabolizar el resto. El organismo humano no dispone de un tejido especializado en aminoácidos de reserva, como es el tejido adiposo para los ácidos grasos, y en estos casos de necesidad acude a ciertas proteínas del plasma o del hígado.

En este sentido, a las proteínas del huevo total se les califica con un valor biológico 100, porque su oferta aminoacídica se acomoda de modo completo a las necesidades del ser humano en crecimiento. En general, el valor biológico de una proteína viene limitado por la deficiencia en alguno de los aminoácidos esenciales:

lisina, deficiente en las proteínas de los cereales; metionina, deficiente en las proteínas de la carne y la caseína de la leche; treonina, deficiente en el trigo y centeno; triptófano, deficiente en la caseína de la leche, el maíz y el arroz.

Una alimentación deficiente en proteínas provoca trastornos en el organismo humano, que rara vez se presentan como hechos aislados, porque lo normal es que dicha deficiencia vaya unida también a un déficit en calorías y algún otro nutriente. Los síntomas propios de una dieta hipoproteica continuada se suelen observar con más frecuencia en los niños de países con escasos recursos económicos, que por lo general están muy desnutridos. Una alimentación muy pobre en proteínas se traduce para estos niños en unos síntomas externos bastante apreciables: baja estatura, musculatura escasa, edemas, lesiones cutáneas, etc. A ello se une ciertas alteraciones bioquímicas, que se manifiestan con desequilibrios hormonales y una disminución de la albúmina sérica. En cambio, en las personas adultas se observan otros síntomas de modo menos acusados: pérdida de masa muscular, aparición de edemas y un cabello bastante frágil.

Funciones nutricionales y dietéticas de los carbohidratos

Presentes en muchos alimentos, los carbohidratos representan en general una importante fuente de energía para el organismo. Sea cual sea su composición, cuando son digeridos en el tracto intestinal producen monosacáridos que pasan a la circulación sanguínea con la posibilidad de intervenir en el metabolismo energético. En este sentido, debe considerarse a la glucosa como el monosacárido más relevante, puesto que es necesitado por la célula viva como fuente energética para realizar todos sus procesos biológicos: síntesis de compuestos, catabolismo, mantenimiento de gradientes electroquímicos, etc. El organismo posee rutas metabólicas a través de las cuales cualquier monosacárido ingerido puede ser transformado en glucosa. Y esta necesidad básica de glucosa es la que determina los requisitos en carbohidratos a suministrar por una dieta, que nunca debe representar menos del 50 % de la energía total.

Puede afirmarse que la función nutricional de los hidratos de carbono ingeridos con la dieta comienza con los procesos digestivos, que ya se inicia en la cavidad bucal, para continuar con el proceso fisiológico de la absorción intestinal de monosacáridos. Una amilasa segregada por las glándulas salivares inicia la hidrólisis parcial de almidones y glucógeno contenidos en la dieta, que se completa a nivel de intestino delgado por las amilasas segregadas por el páncreas, que liberan unidades de maltosa. Este disacárido, junto con otros que proceden directamente de la dieta, se degradan hasta monosacáridos por la acción de unas hidrolasas intestinales específicas, denominadas disacaridasas.

Glucosa, fructosa, galactosa y algunas pentosas son las únicas estructuras que presentan la capacidad de ser absorbidas por las microvellosidades del intestino delgado, aunque a velocidades distintas en función del modo como son transportadas al otro lado de la barrera intestinal.

A nivel celular, la glucosa representa la forma más versátil de energía y todas las células son capaces de utilizarla a través de las diversas rutas metabólicas que dispone. Pero hoy día se sabe que, de un modo u otro, todos los carbohidratos asimilables terminan siendo un equivalente a la ingestión de una cierta cantidad de glucosa. Además, al considerar los aspectos nutricionales de la mayoría de los carbohidratos de la dieta, cuya función principal es suministrar energía, debe ser tenido en cuenta las posibles interacciones con el metabolismo de los demás nutrientes energéticos, también aportados por la dieta. El nivel de ingesta diaria de cada uno de estos nutrientes desempeñará un papel importante en el equilibrio metabólico de todas y cada una de estas reacciones de interconversión.

En resumen, se podría afirmar que la presencia en la dieta de carbohidratos asimilables no es algo *indispensable*, puesto que el organismo puede sintetizar la glucosa por los numerosos caminos que llevan a la gluconeogénesis. Sin embargo, estos procesos exigen un notable esfuerzo de adaptación metabólica, que implica la inevitable formación de compuestos cetónicos y requiere un mayor gasto de los aminoácidos llamados glucogénicos, como la alanina. De aquí la importancia de que toda dieta suministre carbohidratos en cantidad suficiente para cubrir las necesidades energéticas que le corresponden.

Aparte de los azúcares, las principales fuentes dietéticas de carbohidratos asimilables, capaces de proporcionar energía de modo inmediato, son los almidones que integran las semillas de cereales y leguminosas o las raíces de los tubérculos. No obstante, las dietas de los países occidentales suele abundar también en sacarosa y algo de lactosa.

Cuando el organismo se encuentra con un exceso de hidratos de carbono acude en seguida a las vías que posibilitan su almacenado: primero, en forma de glucógeno; después, al saturarse los niveles de éste, pone en marcha el proceso metabólico de la lipogénesis, es decir, su transformación en moléculas de ácidos grasos, aunque exija una utilización de energía metabólica mucho menos rentable.

En resumen, son tres las funciones nutricionales ejercidas por los carbohidratos aportados por los alimentos de la dieta: fuente energética, participantes en las síntesis de ácidos grasos y de algunos aminoácidos y formación de importantes moléculas, tales como ácidos nucleicos, glucolípidos, glucoproteínas, etc.

Además, los alimentos de la dieta pueden aportar polisacáridos que, por sus estructuras específicas, no pueden ser digeridos por el ser humano, al carecer su tracto digestivo de las enzimas adecuadas para ello. Son los que integran la denominada *fibra dietética*, o mejor aún *polisacáridos no almidones*. Suelen proceder de las paredes y tejidos de cereales, legumbres, hortalizas y frutas, incluso de la adición intencionada para desempeñar alguna función tecnológica.

Estos polisacáridos no representan un aporte de nutrientes para el organismo humano, pero sí desempeñan una función dietética al servir de soporte semisólido al bolo alimenticio, a la vez que presionando sobre las paredes intestinales favorecen el peristaltismo y, por consiguiente, facilitan la defecación. La fibra dietética está formada por compuestos muy diferentes entre sí y sus capacidades de hinchamiento por el agua permite su división en insolubles (celulosas y algunas hemicelulosas) y solubles (pectinas, betaglucanos, gomas, mucílagos, alginatos, carragenatos, etc.).

El salvado de trigo es el principal producto que proporciona una excelente fibra insoluble. También algunas hortalizas, y de modo particular las legumbres, contie-

nen oligosacáridos con enlaces alfa-galactósidos incapaces de ser hidrolizados por las enzimas intestinales, que continúan su paso hacia el colon. Por otra parte, arroz, avena, manzanas, cítricos, algas, etc. también contienen polisacáridos no asimilables por las enzimas del tracto intestinal humano, pero en cambio forman la denominada *fibra soluble*, como consecuencia de las suspensiones viscosas que forman en el contenido intestinal.

A diferencia de la fibra insoluble, estos oligosacáridos y polisacáridos solubles pueden sufrir a su paso por el colon un proceso fermentativo bacteriano, que además de gases (CO_2 y H_2 , CH_4) responsables de flatulencias, producen ácidos grasos de cadena corta, que son absorbidos directamente y pasan al torrente circulatorio donde son metabolizados como fuentes energéticas, con un aporte por gramo de 13 kJ o 3 kcal.

Funciones nutricionales de los lípidos y de los ácidos grasos

El organismo humano necesita ingerir lípidos con su dieta, porque los usa como uno de los posibles medios de obtener energía y como fuente de ácidos grasos, de modo particular los poliinsaturados, para los que carece de capacidad para sintetizar sus estructuras, aunque las necesita para elaborar compuestos esenciales para la vida. Además, los lípidos dietarios actúan de vehículos para las vitaminas liposolubles.

Las grasas consumidas con la dieta son hidrolizadas por las lipasas intestinales a monoacilgliceroles y ácidos grasos, que a través de la mucosa intestinal pasan a la circulación linfática, excepto los ácidos grasos de cadena corta que lo hacen de modo directo a la circulación sanguínea.

Las recomendaciones dietéticas han establecido que la ingesta total de grasa aportada por la dieta nunca signifique más del 30 % de la ingesta calórica total. A diferencia de lo que ocurre con las proteínas, el organismo humano sí puede almacenar las grasas ingeridas en exceso bajo la forma de triacilgliceroles en los tejidos adiposos.

El papel nutricional de estos lípidos comienza en el mismo momento de su ingestión, continua en el tracto digestivo, para culminar en el hígado y acabar en órganos y tejidos, tan importantes como cerebro, músculo y sangre.

Una vez ingeridos, los lípidos necesitan ser digeridos para que puedan ser absorbidos e incorporarse al metabolismo normal del ser humano. Como el 99 % de los lípidos alimenticios están formados por grasas neutras, quiere decir que el problema de su digestión afecta principalmente a triacilgliceroles, cuya digestión o hidrólisis comienza en el estómago, a pesar de su pH ácido, a través de una lipasa lingual que difiere en sus características de las lipasas y esterases pancreáticas. De este modo, se forman monoacilgliceroles y ácidos grasos libres, que son los absorbidos a través de la pared intestinal.

Cuatro son los factores que resultan esenciales para la absorción normal de los lípidos a nivel intestinal:

1. Secreción de enzimas hidrolíticas por parte del páncreas.

2. Secreción de ácidos biliares para emulsionar las grasas y facilitar su hidrólisis enzimática. En los lactantes, también las sales biliares aportadas por la leche ayudan a su digestión.
3. Paso de los productos resultantes hasta las células mucosales del intestino.
4. Formación de micelas para el transporte hasta los vasos linfáticos y de aquí a los vasos sanguíneos.

Algún fallo en estos factores conduce a una inadecuada absorción intestinal de las grasas, con los desarreglos correspondientes. El síntoma principal consiste en la aparición de esteatorrea, que se suele acompañar con pérdidas de vitaminas liposolubles, así como pérdidas de agua y electrolitos por diarrea y reducción del nivel energético aportado por la dieta.

La función nutricional de los lípidos que aportan los alimentos de la dieta se proyecta en dos ámbitos diferentes:

- a) Como estructuras químicas que pueden suministrar el mayor nivel de energía por gramo, cuando en las mitocondrias son activadas, betaoxidadas e integradas en el ciclo de Krebs.
- b) Como estructuras químicas que son necesarias para que el organismo pueda llevar a cabo la síntesis de sustancias necesarias, o esenciales, para desarrollar las funciones biológicas más diversas.

Algunos tejidos, como el muscular, exigen una combinación previa con la carnitina para la entrada de ácidos grasos en las mitocondrias. Se forma así un compuesto reversible y permeable, que le posibilita su transporte a través de las membranas mitocondriales.

En el metabolismo de los lípidos, el papel central lo desempeñan las células hepáticas, unas veces de modo directo, como ocurre con la biosíntesis de colesterol, ácidos biliares y fosfolípidos; otras veces, de modo indirecto al modificar o regular los depósitos grasos de los tejidos.

Los ácidos grasos que participan en los procesos metabólicos del hígado pueden proceder de tres fuentes diferentes:

- a) De los quilomicrones formados en el tracto gastrointestinal a partir de las grasas ingeridas con la dieta.
- b) Los que llegan con el plasma sanguíneo por haber sido liberados de los depósitos del tejido adiposo.
- c) De los triacilglicerolos de las propias células hepáticas, que activan sus lipasas intracelulares como resultado de una inducción ejercida por el AMP-cíclico.

También el hígado puede sintetizar muchas estructuras de ácidos grasos, aunque nunca con más de un doble enlace, a través del proceso denominado lipogénesis. Los mamíferos carecen de la capacidad de sintetizar el ácido linoleico a partir de su precursor lógico, el ácido oleico, porque les falta la enzima delta-12-deshidrogenasa que permita añadir un segundo doble enlace. Sin embargo, cuando la dieta proporciona cantidad suficiente de ácido linoleico, las células hepáticas sí pueden dar lugar mediante reacciones de desaturación y elongación a la cadena de AGPI w-6, entre los que precisamente destaca el ácido araquidónico. Por ello, éste ácido sólo resulta imprescindible en la dieta cuando el aporte de linoleico es escaso.

El ácido linolénico, que encabeza la serie w-3, también debe ser considerado esencial, porque se ha demostrado que su deficiencia alimentaria da lugar a trastornos visuales y alteraciones del comportamiento, que se justifican debido a la riqueza de la retina y de las membranas cerebrales en ácido ADH, que el organismo sintetiza a partir del linolénico, aunque le pueda llegar también a través de una alimentación que contenga grasas de pescados, que lo incorporan del fitoplacton.

Está comprobado que el organismo humano sintetiza a partir de los ácidos linoleico (w-6) y linolénico (w-3) toda una cadena de ácidos grasos (Tabla 8.5) muy importantes para el funcionamiento de los procesos biológicos, porque son precursores de compuestos lipídicos importantes:

- Los compuestos eicosanoides que toman parte de las estructuras de prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos. Todos ellos son reguladores de procesos fisiológicos diversos, tales como la función plaquetaria y las respuestas inflamatorias. Se ha comprobado que los contenidos de la dieta en AGPI repercute en la producción de tales compuestos eicosanoides.
- Los fosfolípidos, componentes fundamentales de las membranas celulares y de la mielina. Se ha confirmado que los ácidos linoleico y araquidónico son esenciales para mantener la estructura y la función de las membranas celulares y subcelulares. La deficiencia de ácido linoleico se detecta porque en el plasma se elevan los niveles de los eicosanoides derivados de la serie w-9, formados a partir del ácido oleico.
- El colesterol, precursor de las hormonas esteroideas en la corteza suprarrenal y en las gónadas, así como de los ácidos biliares, sintetizados en el hígado. También interviene en la formación de membranas celulares.

Se ha sugerido que para una persona adulta media la ingesta diaria en AGPI no debe superar el 10 % de las calorías totales, para evitar que sus oxidaciones induzcan un envejecimiento precoz de las células, particularmente en la piel. No obstante, todavía no se han establecido las recomendaciones dietéticas para los AGPI de las series w-3 y w-6, aunque se ha aconsejado que el consumo de los ácidos w-3 debe representar del 10 al 20 % del contenido en linoleico.

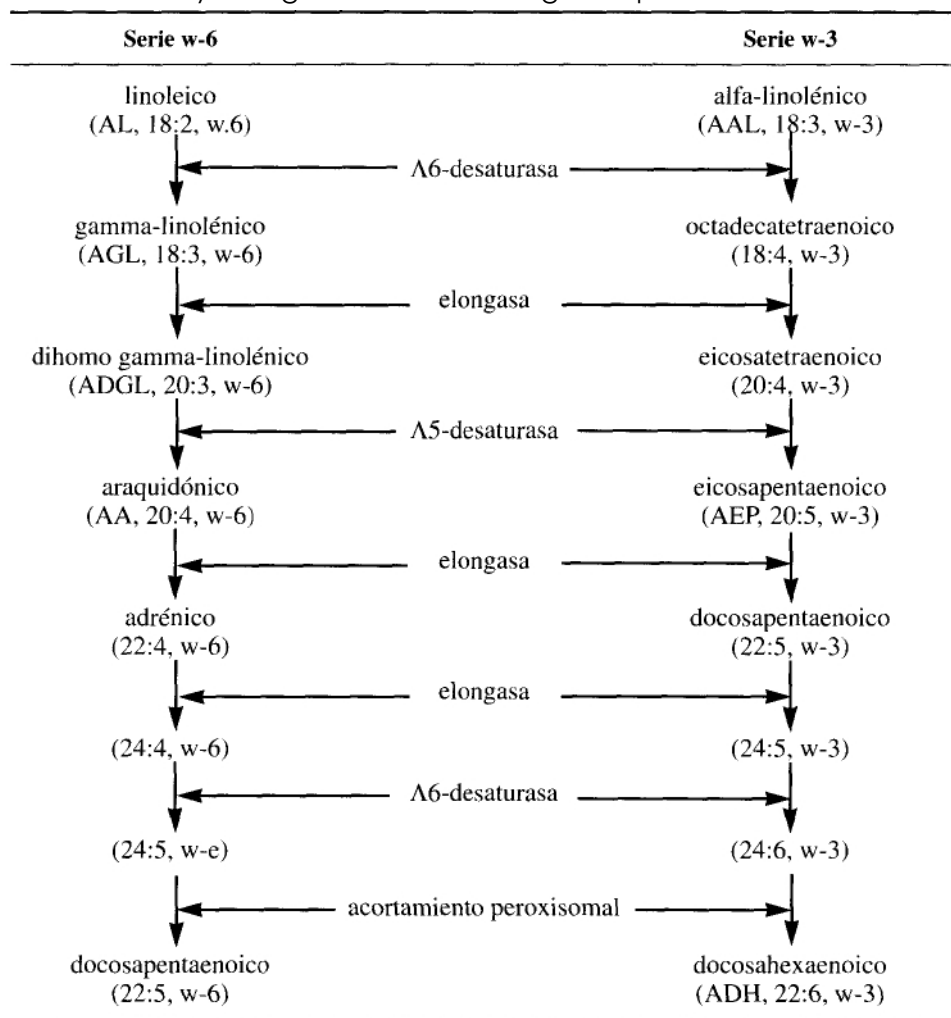
Se conoce que las relaciones existentes en la dieta entre el ácido linolénico y los AEP y ADH puede influir en el desarrollo de ciertas enfermedades crónicas, como la cardiopatía coronaria y la artritis reumática.

Desde luego, la presencia de grasas en la dieta debe ser la adecuada. Una carencia de cierta cantidad y tipos puede acarrear trastornos en el organismo humano, pero también un exceso puede ocasionar con frecuencia trastornos digestivos y metabólicos, con repercusiones más o menos graves sobre la salud: el exceso de ingestión de grasas implica un mayor contenido de esteroides y ácidos grasos en las heces, que las bacterias del colon pueden transformar en sustancias potencialmente carcinogénicas.

Asimismo, algunas estructuras grasas pueden acarrear problemas sanitarios, como las configuraciones *trans* de los dobles enlaces, que no corresponden a sustancias naturales. Hoy día se fabrican alimentos, tales como margarinas, que entre sus materias primas utilizan aceites vegetales (soja, maíz, algodón, etc.) parcialmente hidrogenados. En este proceso tecnológico aparecen isómeros *trans* de los ácidos grasos insaturados naturales, como el ácido elaídico con respecto al ácido

Tabla 8.5

Reacciones metabólicas que dan lugar a las series omega-6 y omega-3 de los ácidos grasos polinsaturados



oleico. Aunque la isomerización no afecta a los procesos de digestión y absorción, sí repercute en la velocidad de utilización metabólica a través de la vía de la beta-oxidación. Igualmente, el organismo los utiliza para la síntesis de fosfolípidos y ésteres de colesterol, modificando con ello las propiedades fisicoquímicas de estos compuestos, profundamente influidas por la naturaleza de los ácidos grasos, al disminuir el porcentaje de ácido oleico de estos compuestos en favor del ácido eláidico.

Aspectos nutricionales de los micronutrientes

Existen dos grupos de nutrientes cuya presencia en los alimentos y por tanto en las dietas responde a cantidades bastante reducidas, desde miligramos hasta microgramos. Por ello, suelen recibir el nombre de micronutrientes: vitaminas y minerales.

Las *vitaminas* son compuestos orgánicos de estructuras muy variadas, que desempeñan en el organismo humano funciones específicas, pero que son vitales para las células y tejidos corporales. Presentan la particularidad común de no poder ser sintetizadas por la bioquímica humana, aunque sean compuestos esenciales para el desarrollo normal de la vida. Por tanto, son sustancias que han de ser proporcionadas por los alimentos de la dieta.

Los *elementos minerales* también son especies químicas que resultan esenciales para la vida, aunque su presencia en el organismo humano represente una pequeña proporción de sus tejidos orgánicos. Sin embargo, son importantes tanto por su calidad de elementos estructurales, como por su intervención en muchos procesos biológicos.

De modo tradicional se vienen distinguiendo dos grupos de vitaminas en función de la solubilidad, aunque en ningún caso haya una similitud estructural: hidrosolubles y liposolubles. En la actualidad, las vitaminas hidrosolubles se suelen clasificar usando como criterio su participación en las actividades enzimáticas del organismo:

- a) Vitaminas que actúan como coenzimas de transporte electrónico o de oxidoreducción: ácido ascórbico (C), riboflavina (B₂) y niacina.
- b) Vitaminas que actúan como coenzimas de transferencias de grupo: tiamina (B₁), relacionada con el aldehído activo; piridoxina (B₆), con el grupo amino; cobalamina (B₁₂), con grupos metilos entre otros; ácido fólico con fragmentos monocarbonados; ácido pantoténico con el grupo acilo; biotina, con grupos carboxilos.

Las vitaminas liposolubles constituyen un grupo de sustancias orgánicas, cuyas estructuras derivan del núcleo isoprenoide y pueden formar complejos con las lipoproteínas en las membranas celulares. En el organismo suelen ser transportadas por proteínas plasmáticas específicas. Son las siguientes: retinol (A), calciferol (D), tocoferol (E) y filoquinona (K).

Históricamente, las vitaminas han sido consideradas como nutrientes de necesaria presencia en la alimentación para evitar que surjan situaciones patológicas motivadas por una deficiencia aguda de sus estructuras específicas. Cuando la alimentación es variada y equilibrada puede asegurarse una ingestión de vitaminas en las cantidades suficientes.

Por lo general, se piensa que con la alimentación propia de la sociedad occidental se cubren de modo suficiente todas las necesidades vitamínicas. No obstante, hay que hacer excepción de algunas personas cuya situación fisiológica incrementa las necesidades en algunas vitaminas, como A, D, E, piridoxina, folato, ascórbico; etc.:

- Recibir una alimentación poco diversificada.
- Padecer algún tipo de patología.

- Corresponder a grupos de características específicas: alcohólicos, fumadores, diabéticos, personas sometidas a regímenes dietéticos, los que toman contraceptivos orales, etc.

Las personas ancianas suelen reducir sus necesidades de ingesta en un 25 %, pero no así sus requerimientos vitamínicos, por lo que deben recibir una alimentación más rica y equilibrada en vitaminas. Asimismo, las mujeres gestantes, o las que crían a sus hijos al pecho materno, tienen aumentadas sus necesidades en un 13 y 30 % respectivamente.

Por otra parte, resulta muy difícil controlar la cantidad de vitaminas aportadas por las dietas, porque la valoración de su contenido en los alimentos frescos suele ser laboriosa y compleja, aparte de resultar casi imposible predecir la magnitud de los efectos deletéreos provocados por las condiciones de almacenamiento de cada alimento, o por la incidencia de los procesos culinarios.

Además, no se está en condiciones de establecer unas necesidades exactas para cada vitamina y los valores que suelen figurar en las distintas tablas son recomendaciones estimadas o simplemente valores orientativos. En tal sentido, la Unión Europea ha establecido en 1994 unas cantidades recomendables diarias (Tabla 8.6) de una docena de vitaminas y algunos minerales con la finalidad de unificar el etiquetado de los alimentos.

Tabla 8.6

Recomendaciones de ingesta diarias de vitaminas y minerales
(Normativa dada por la Unión Europea en 1994 sobre
el etiquetado nutricional)

Micronutriente	Cantidad	
A. Vitaminas hidrosolubles		
Tiamina (B ₁)	1,4	mg
Riboflavina (B ₂)	1,6	mg
Piridoxina (B ₆)	2,0	mg
Niacina	18,0	mg
Cianocobalamina (B ₁₂)	1,0	µg
Ácido fólico	200,0	µg
Ácido pantoténico	6,0	mg
Biotina	0,15	mg
Ácido ascórbico (C)	60,0	mg
B. Vitaminas liposolubles		
Retinol (A)	800,0	µg
Ergocalciferol (D)	5,0	µg
Tocoferol (E)	10,0	mg
C. Minerales		
Calcio	800,0	mg
Fósforo	800,0	mg
Hierro	14,0	mg
Magnesio	300,0	mg
Yodo	150,0	µg
Zinc	15,0	mg

Es importante señalar que un aporte de vitamina C superior a los requisitos señalados, no aumenta los rendimientos, ni previene o evita los resfriados. Se viene admitiendo de un modo erróneo que la ingestión de megadosis de vitaminas hidrosolubles son inocuas, porque su exceso se elimina con facilidad por la orina. Sin embargo, se ha podido comprobar que en algunas personas han dejado secuelas nocivas colaterales. En realidad, los efectos beneficiosos de una ingesta masiva de vitaminas hidrosolubles con el fin de prevenir situaciones infecciosas, o para mantener un estado óptimo de salud, no han sido contrastado de modo suficiente; además, los datos disponibles hasta el momento no justifican que se hagan recomendaciones elevadas para la ingesta de cualquier vitamina. Por el contrario, una ingesta excesiva de algunas vitaminas conduce a situaciones que son perjudiciales para la salud. Así, las vitaminas liposolubles, en particular las A y D, presentan una toxicidad bien documentada cuando se ingieren en exceso durante un periodo prolongado de tiempo.

Las funciones biológicas más importantes, además de sus fuentes y carencias, se recogen de un modo esquemático en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7

Resumen de los aspectos nutricionales de las vitaminas
con importancia dietética

Tiamina

Funciones. Actúa como coenzima de muchos sistemas enzimáticos. Imprescindible en la utilización de los carbohidratos como fuentes de energía y en el metabolismo del etanol. Necesaria para la formación del acetyl-coenzima A a partir del piruvato y para la eliminación de CO₂ en el ciclo de Krebs. También es coenzima de la transketolasa presente en hígado, riñones y hematíes, que interviene en el enlace de la ribosa con los ácidos nucleicos.

Fuentes. En cantidades de mg se encuentra en carnes (sobre todo la de cerdo), hígados y riñones de ternera, germen y corteza de las semillas de cereales, legumbres secas, nueces y levaduras.

Riboflavina

Funciones. Cofactor del grupo de enzimas flavoproteínas, que intervienen en el metabolismo de los carbohidratos, proteínas y lípidos. Es esencial para la liberación de energía en las células y para el mantenimiento de la normalidad tisular.

Fuentes. A nivel de mg se encuentra en carnes, vísceras, huevos, leches, quesos, levaduras y hojas verdes de hortalizas.

Niacina

Funciones. Actúa como coenzima en el metabolismo energético de las células, esencial para la respiración tisular y la oxidación de la glucosa. Interviene en la síntesis de proteínas y grasas.

Fuentes. Medida en mg se halla en carnes, vísceras, pescados, cereales, patatas y levaduras. El organismo puede sintetizarla a partir del triptófano.

Acido ascórbico

Funciones. No se conoce bien su cometido bioquímico concreto, pero se sabe de su importancia en numerosos procesos vitales: síntesis del colágeno, constituyente de piel y tejido conectivo; interviene en el metabolismo de algunos aminoácidos; favorece la absorción del hierro al convertirlo en su forma ferrosa; activa al ácido fólico a su forma vitamínica; etc.

Tabla 8.7 (Continuación)

Fuentes. En cantidades de mg existe en verduras (lechugas, escarolas, etc.), pimientos, patatas, tomates, zanahorias, rábanos, castañas y, sobre todo, en frutos cítricos y fresas.

Retinol

Funciones. Esencial para la formación de los pigmentos visuales, al combinarse con la opsina y formar rodopsina responsable de la adaptación del ojo a la oscuridad. Desempeña un importante papel en el mantenimiento de las membranas epiteliales y actividad mucosecretora. Interviene en el desarrollo normal de huesos y dientes.

Fuentes. En cantidades de g se encuentra como provitaminas en verduras y frutas. A niveles de ug existe en el hígado de mamíferos y peces, huevos, leches, mantequilla y quesos.

Calciferol

Funciones. Su presencia activa la producción de una proteína en la pared intestinal, que transporta el calcio desde el intestino delgado hasta la sangre y aumenta así la disponibilidad de este catión, que se deposita en los huesos.

Fuentes. En µg se encuentra en hígados y riñones de vaca y cerdo, huevas de pescado, yema de huevo, leches, mantequilla, piel de patatas, espinacas. El organismo la sintetiza a partir del 7-dehidro-colesterol en la piel por la acción del sol.

Muchos de los componentes inorgánicos (elementos minerales) que se encuentran en los tejidos de animales y plantas desempeñan papeles importantes en los procesos vitales. Las diferentes cantidades que el organismo contiene de cada uno de ellos ha dado lugar a su distinción en dos grupos:

- a) Elementos minerales mayoritarios, que superan los 50 mg por kg de peso corporal. Son Ca, Cl, Fe, K, Mg, Na y P.
- b) Elementos minerales trazas, porque sus cantidades son inferiores a los 50 mg por kg de peso corporal. Son todos los demás, entre los que caben destacar Co, Cr, Cu, F, I, Li, Mn, Se, Zn, etc.

Con la excepción de unos pocos (Al, B, Ba), resulta esencial la presencia de los demás en la dieta, porque su ausencia provoca enfermedades carenciales, debido al papel que desempeñan en algunas funciones fisiológicas necesarias:

- Forman y estabilizan los componentes estructurales del cuerpo y los dientes.
- Activan enzimas en los procesos metabólicos.
- Transmiten los impulsos nerviosos bajo la forma de electrolitos.
- Regulan la permeabilidad de las membranas celulares.
- Ayudan a establecer el pH apropiado en cada tejido al tomar parte de los sistemas químicos amortiguadores.
- Mantienen la presión osmótica en las células, debido a variaciones en sus concentraciones.

Sin embargo, algunos elementos minerales pueden resultar tóxicos para el organismo, aunque se encuentre en los alimentos a concentraciones trazas: As, Co, Hg, Pb, Sb, etc.

Ha sido claramente demostrado que la alimentación de amplios sectores de la población, incluso en países desarrollados, resulta algo deficiente en el aporte de elementos minerales del grupo mayoritario. En cambio, solamente se sospecha que niveles de ingestión de algunos minerales trazas podrían ser escasos, porque con los métodos disponibles para su evaluación resulta muy difícil detectar tales deficiencias.

En realidad, los elementos minerales que plantean problemas bien definidos son el calcio y el hierro, mientras que los considerados potencialmente problemáticos son el zinc, el magnesio, el cromo, el selenio y el yodo.

El contenido mineral de los alimentos naturales resulta muy diverso tanto en cantidad, como en sus más variadas formas químicas (mezclados, combinados con proteínas, carbohidratos, lípidos, etc.). Para efectos dietéticos prácticos se suelen usar los valores alimenticios tabulados de calcio, fósforo e hierro, aunque para efectos terapéuticos también hay que incluir el sodio, potasio y magnesio. Algunos, como Cu, I y otros trazas, abundan en las aguas potables y en las cosechas de algunas zonas, mientras que otras carecen totalmente de ellos. En cambio, cloro, azufre, potasio y sodio se encuentran universalmente repartidos por todos los alimentos. Un esquema resumido de sus funciones, fuentes y carencias se recogen en la Tabla 8.8.

No es posible indicar con rigurosidad las cantidades que cada persona necesita de cada elemento mineral, y por ello en las tablas sólo se indican recomendaciones, que a veces solamente significan valores orientativos. No obstante, al igual que con las vitaminas, la Unión Europea estableció en 1994 las cantidades diarias recomendadas para seis de ellos: calcio, fósforo, hierro, magnesio, yodo y zinc (Tabla 8.6). Todas estas necesidades en minerales varían con la edad, el sexo, el estado fisiológico, la situación clínica, etc. Por lo general, cuando se ingiere de modo habitual una dieta variada y equilibrada, se cubren todas las necesidades en elementos minerales.

La suplementación de las dietas con minerales es ya una práctica bastante corriente en la dietética de muchos países, de modo muy particular los suplementos de hierro y de calcio: los de hierro para prevenir casos de anemia en mujeres; los de calcio para evitar los nocivos efectos de la osteoporosis, que afecta a muchas mujeres una vez superada la menopausia.

Cubrir las necesidades en calcio puede complicarse cuando en la dieta abundan los fosfatos, incorporados como aditivos en muchos alimentos procesados. La presencia de fosfatos a nivel intestinal puede dar lugar a interacciones con el calcio, reduciendo su disponibilidad y su absorción; además, su ingestión puede inducir el desarrollo de un hiper-paratiroidismo, que da lugar a una osteopenia y a posibles fracturas osteoporóticas. El riesgo de las dietas con elevados niveles de fosfatos sólo se reduce si, a la vez, se ingieren adecuadas cantidades de calcio. No obstante, se ha demostrado que la ingestión de fosfatos enaltece la síntesis de la forma hormonal de la vitamina D (1,25-dihidroxi vitamina D).

Se está poniendo de moda la administración de cantidades adicionales de magnesio, pero son muy raros los suplementos de cromo y de selenio, tal vez porque apenas se tiene constancia de que puedan existir deficiencias de los mismos. Todavía no han sido publicadas las cantidades permisibles de elementos minerales que pueden estar contenidas en una dieta. Esta circunstancia exige proceder con ciertas cautelas, porque todos esos compuestos pueden llegar a ser tóxicos, cuando alcanzan en el organismo concentraciones elevadas.

Tabla 8.8**Resumen de los aspectos nutricionales de los minerales esenciales****Caldo**

Funciones. Comparte con el fósforo el papel esencial para la formación y estabilidad de huesos y dientes. En cambio se diferencian en otras funciones: se necesita un determinado nivel de calcio en sangre para que pueda tener lugar la coagulación sanguínea; es indispensable en el mantenimiento del tono muscular y en su irritabilidad para la transmisión del impulso nervioso; es activador de sistemas enzimáticos; influye en la permeabilidad de las membranas; etc.

Fuentes. En mg se encuentra en leches y productos lácteos, legumbres, frutos secos y espinacas. En la práctica, sólo se absorbe un 40 % del calcio suministrado por la dieta.

Fósforo

Funciones. Aparte de su acción común con el calcio en lo que respecta al sistema óseo, es un constituyente imprescindible de la célula, al formar parte de los ácidos nucleicos e intervenir en la composición de los fosfolípidos. También ayuda al control de las reacciones ácido-base de la sangre.

Fuentes. En mg existe en carnes y productos cárnicos transformados, leches y productos lácteos, huevos, pescados, cereales y avellanas. En el intestino humano solamente llega a ser absorbido el 70 % del contenido en los alimentos.

Hierro

Funciones. Interviene en la estructura de la hemoglobina de la sangre y en la mioglobina del músculo, con la función de enlazar el oxígeno. Es constituyente parcial de diversas enzimas que catalizan los procesos redox de las células y desempeña un papel importante en la respiración tisular. En todas estas funciones es ayudado por el cobre.

Fuentes. En cantidades de mg se encuentra en hígados, riñones, corazón, carnes, cereales integrales y verduras como las espinacas. Los alimentos de origen animal suelen ofrecerlo bajo forma ferrosa que es más disponible al ser mejor absorbida. La acción reductora de la vitamina C favorece esta absorción. Sin embargo, los taninos dificultan su absorción intestinal al formar complejos no absorbibles.

Iodo

Funciones. Constituyente esencial de la glándula tiroides en el ser humano al tomar parte en la síntesis de sus hormonas.

Fuentes. En cantidades variables (mg o µg) se encuentra en vísceras, pescados de mar, leches, huevos y algas marinas. De todo el yodo ingerido y absorbido, la glándula tiroides toma un 30 % y el resto se elimina por la orina.

Magnesio

Funciones. Es importante para el mantenimiento del potencial eléctrico de nervios y membranas y la normal contractilidad neuromuscular, que exige un cierto nivel de este elemento. Activa los sistemas enzimáticos que actúan en las reacciones productoras de energía a base de carbohidratos, lípidos y proteínas. Asimismo, interviene en el metabolismo de calcio, fósforo, sodio y potasio. Su función en la actividad del músculo cardíaco ha sido puesta de manifiesto en los últimos años. Su presencia resulta crítica para que se realicen con normalidad las rutas metabólicas que generan el ATP, tales como las enzimas ATP-asas.

Fuentes. Se encuentra en cantidades de mg en carnes, mariscos, productos lácteos, cereales, legumbres, frutos secos, verduras, nueces y cacao.

Tabla 8.8 (Continuación)

Zinc

Funciones. Forma parte de la estructura de compuestos importantes, como la insulina y algunas enzimas que intervienen en el metabolismo de los carbohidratos, en la síntesis de los ácidos nucleicos y en el mantenimiento del equilibrio entre el anhídrido carbónico y su forma acida libre.

Fuentes. En mg existe en carnes magras, vísceras, algunos pescados y moluscos, y en productos lácteos.

Flúor

Funciones. Se considera uno de los constituyentes normales de huesos y dientes, sobre todo del esmalte de los últimos. Se tienen pruebas de que es eficaz para el tratamiento de la osteoporosis al aumentar la retención de calcio.

Fuentes. En mg se encuentra en vísceras, pescados de mar, cereales, té negro y, por supuesto, en las aguas de bebida fluoradas.

Propiedades sensoriales

- Introducción.
- El color de los alimentos.
- El sabor de los alimentos.
- El olor de los alimentos
- La textura de los alimentos.
- El flavor de los alimentos

Introducción

Recibe el nombre de propiedades organolépticas o sensoriales de un alimento aquellas que pueden ser captadas a través de los sentidos. El ser humano conoce su entorno físico por las impresiones que le provoca en sus órganos sensoriales. Tradicionalmente, se habla de cinco sentidos: vista, oído, olfato, gusto y tacto; no obstante, algunos autores diversifican este último en lo que denominan percepción somatosensorial: frío, calor y dolor.

Las características organolépticas de un alimento se evalúan a través de atributos que, al ser captados por los sentidos, nos informan de la magnitud y cualidad del estímulo provocado, una vez han sido interpretados por el cerebro.

Con la excepción del gusto, todos los sentidos pueden aportarnos una primera impresión del alimento, puesto que habitualmente se tiene un primer contacto con el producto alimenticio a través de la vista, del oído o del olfato. Así por ejemplo, una impresión visual nos informa del color, brillo, tamaño y forma del alimento; el órgano nasal comunica los estímulos provocados por la llegada de componentes volátiles odoríferos; el tacto manual nos orienta acerca de la consistencia; el oído puede apreciar sonidos que se relacionan con la textura. En un posterior contacto, las papilas gustativas informan de las diversas sensaciones sápidas, a la vez que el tacto realizado con los músculos de la cavidad bucal permite apreciar las sensaciones astringente, ardiente o refrescante, así como el nivel de su temperatura.

El conjunto de todas estas percepciones nos permite elaborar un juicio acerca de la idoneidad del alimento para responder a las características que se esperan del mismo. Cada una de estas percepciones significan la respuesta de cada sentido al comportamiento fisiológico de una estructura química, o de un grupo de ellas.

Sin embargo, parece conveniente que la información organoléptica de un ali-

mento recibida a través de nuestros sentidos no sea considerada como una colección de sensaciones individuales, porque las interacciones de los sentidos humanos también pueden tener lugar en los centros cerebrales superiores. Por consiguiente, parece más adecuado hablar de los sentidos como de un sistema de percepción, cuya información del alimento la recibimos interpretada como un todo.

Sin duda alguna, en la evaluación y aceptación de un alimento están implicados al menos cuatro de los cinco sentidos, anteriormente citados. Sin embargo, en la práctica puede existir una influencia mutua entre ellos que conduce a errores de interpretación. Así, se ha comprobado que ante un vaso de agua con color naranja y sabor de pina, predomina el color sobre el sabor y el consumidor opina que sabe a naranja.

En el conocimiento sensorial que podemos alcanzar de un alimento caben destacar cinco atributos, color, sabor, olor, textura y flavor. Los cuatro primeros se pueden considerar la repuesta de un órgano sensorial concreto: vista, gusto, olfato y tacto; mientras que en el último interviene una asociación de esos órganos.

Estos cinco atributos vienen a ser la base no sólo de sus propiedades organolépticas, sino también pueden determinar los criterios para evaluar la calidad sensorial de un alimento.

Las definiciones correspondientes a estos cinco atributos se recogen en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1.

Principales atributos que determinan las propiedades sensoriales

Color

Propiedad que se aprecia por el sentido de la vista cuando le estimula la luz reflejada por un alimento, que contiene sustancias con grupos cromóforos capaces de absorber parte de sus radiaciones luminosas, dentro de unas determinadas longitudes de onda.

Sabor

Sensación recibida en respuesta al estímulo provocado por sustancias químicas solubles sobre las papilas gustativas.

Olor

Conjunto de sensaciones que se producen en el epitelio olfativo, localizado en la parte superior de la cavidad nasal, cuando es estimulado por determinadas sustancias químicas volátiles.

Textura

Propiedad organoléptica que resulta de la disposición y combinación entre sí de elementos estructurales y diversos componentes químicos, dando lugar a unas micro y macroestructuras, definidas por diversos sistemas fisicoquímicos.

Flavor

Conjunto de percepciones constituidas por estímulos olfatogustativos, táctiles y cinestésicos (experiencia sensorial percibida a través de los músculos de la cavidad bucal), que permite caracterizar lo específico de un alimento e identificarlo como tal.

El color de los alimentos

El color es una cualidad organoléptica de los alimentos que se aprecia por medio del sentido físico de la vista. Suele ser considerado como un factor psicológico de aceptación y un criterio para elegir un alimento; incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de distinguir su grado de maduración y su idoneidad. Sin embargo, no siempre resulta válida la correlación entre color y calidad, porque el uso, y tal vez abuso, de aditivos colorantes puede enmascarar esta apreciación.

En la actualidad, se conocen diversos modos naturales para influir sobre la coloración de los alimentos que se producen: en el caso de productos de origen vegetal, se trata de una selección de sus variedades; para los alimentos de origen animal, se actúa a través de la alimentación, con la que se puede determinar, por ejemplo, el color más o menos amarillento de la yema del huevo.

Sin embargo, los necesarios procesos tecnológicos a los que han de verse sometidas las materias primas alimenticias pueden ocasionar modificaciones, o alteraciones, del color. Tanto los procesos de elaboración o los métodos de conservación, como el almacenamiento durante un tiempo más o menos prolongado, dan lugar a que los colores naturales de los alimentos sean modificados o destruidos. Por ello, la industria alimentaria se ha encontrado ante la necesidad de vigilar la inalterabilidad del color de los alimentos que produce, tanto en lo que respecta a su uniformidad como en lo que afecta a su brillo. En la práctica resulta tan importante evitar que surjan coloraciones anormales, como mantener un color natural. De ahí, que la industria haya acudido al uso de aditivos colorantes para ofrecer el color que considera adecuado para cada alimento.

Los aditivos colorantes han sido siempre muy utilizados en la elaboración artesanal e industrial de los alimentos. En los primeros tiempos se emplearon ciertas especias para dar coloraciones más vivas y hacerlos más agradables. Puede decirse que hasta la mitad del siglo XIX todos los colorantes alimentarios empleados tenían un origen natural: azafrán, cochinilla, cúrcuma, rojo de remolacha, etc. Pero cuando Perkins sintetizó en 1856 la primera sustancia orgánica con propiedades colorantes, los aditivos de origen artificial invadieron la industria alimentaria.

Hoy día se distinguen dos grupos de aditivos colorantes:

1. Naturales (denominados «no certificados» por la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América). Son pigmentos que se han podido obtener de alguna fuente natural, o bien son réplicas sintéticas de la estructura química natural.
2. Artificiales (denominados «certificados» por la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de América). Son compuestos sintéticos cuyas estructuras químicas nunca han tomado parte en la alimentación humana.

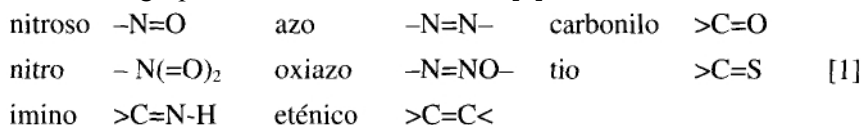
Cuatro pueden ser las causas por las que un alimento manifiesta una coloración determinada:

1. Presencia de pigmentos colorantes naturales (color de la carne, de una manzana, etc.).
2. Formación de pigmentos colorantes como consecuencia de reacciones químicas o enzimáticas (color de la corteza del pan).

3. Adición intencionada de sustancias químicas colorantes (color de las bebidas refrescantes, como las tipo cola, o con sabor a naranja, limón, etc.).
4. Efecto físico de los sistemas fisicoquímicos presentes en el alimento sobre la dispersión de la luz (color blanco de la leche).

Un cuerpo presenta el color de la radiación luminosa que refleja y esto es una función relacionada con la presencia en las moléculas de ciertos grupos funcionales orgánicos que integran sus estructuras químicas. Para que una estructura química presente la propiedad de ser colorante necesita responder a tres requisitos esenciales:

a) Presencia de grupos funcionales cromóferos [1]:



b) Combinación de los grupos cromóferos con estructuras cíclicas, como puede ser el radical bencil C_6H_5 [2]:



c) Incluir en la estructura total grupos *auxocromos*, es decir, grupos ácidos (carboxilos) o básicos (aminos), capaces de estar ionizados según el pH del medio y ofrecer de este modo una coloración determinada.

Dentro de la gran variedad de alimentos que se fabrican hoy día, las sustancias responsables de su color pueden corresponder a estructuras muy diversas, con propiedades químicas variadas. La presencia de estas sustancias puede corresponder, bien a pigmentos naturales contenidos en los ingredientes, o formados en el proceso de elaboración, bien a sustancias colorantes que han sido adicionadas intencionadamente con el carácter de aditivo alimentario.

Si se atiende solamente a la presencia natural de pigmentos colorantes se pueden establecer cinco grupos, que responden a estructuras básicas:

- A. Estructuras químicas derivadas de núcleos tetrapirrólicos: la hemoglobina de la sangre, la mioglobina del tejido muscular y la clorofila de los vegetales verdes.
- B. Estructuras químicas derivadas del isopreno: carotenos, xantofilas y bixina.
- C. Estructuras químicas derivadas del benzopirano: antocianinas y flavonoides.
- D. Estructuras químicas betalainas: los dos pigmentos de las remolacha, las betacianinas de color rojo y las betaxantinas de color amarillo.
- E. Estructuras químicas poliméricas: las melanoidinas y el colorante caramelo.

Las propiedades cromóferas de muchas de estas sustancias resultan explicable cuando se considera su estructura de orbitales moleculares. En este sentido, los cinco grupos anteriores pueden quedar reducidos a dos:

- Estructuras que incorporan porfirinas coordinadas con metales (mioglobina, hemoglobina, clorofila y derivados).
- Estructuras con sistemas conjugados (carotenoides, antocianinas, flavonoides, betalainas, caramelo).

A) Dentro del primer grupo existen dos pigmentos importantes (Fig. 9.1), uno en alimentos de origen animal y otro en los de origen vegetal:

- La mioglobina del músculo, que bajo diferentes formas químicas da lugar al color de la carne y sus derivados.
- Las clorofilas, en sus formas a y b, responsables del color verde de los alimentos vegetales.

La *mioglobina* (Mb) está constituida por una cadena polipeptídica de globina, que a través del N de un residuo histidina se fija a un grupo hemo, integrado por cuatro anillos pirrol enlazados a un átomo de Fe (II). El pigmento presenta colores diferentes, de acuerdo con su forma química: en el estado de Mb, propio del interior de la carne, presenta un color rojo púrpura; cuando el metal se oxigena fijando una molécula de oxígeno, forma la oximioglobina (MbO₂) y adquiere un color rojo brillante; pero si el metal se oxida a Fe (III) da lugar a la forma conocida como meta-mioglobina (MtMb) y la coloración que aparece es parda. En cambio, por la acción del nitrito, como ocurre en los productos cárnicos curados, el metal fija una molécula de NO para dar lugar a la nitrosomioglobina (NO-Mb) con color rosa rojizo.

Las *clorofilas* son porfirinas que forman complejos con el átomo de magnesio y constituyen el pigmento verde del cloroplasto de las hojas de las plantas. Es un grupo químico formado por, al menos, cuatro derivados que se encuentran en diferentes proporciones según la especie vegetal. Una larga cadena lateral hidrocarbonada (radical fitilo) les confiere un carácter liposoluble.

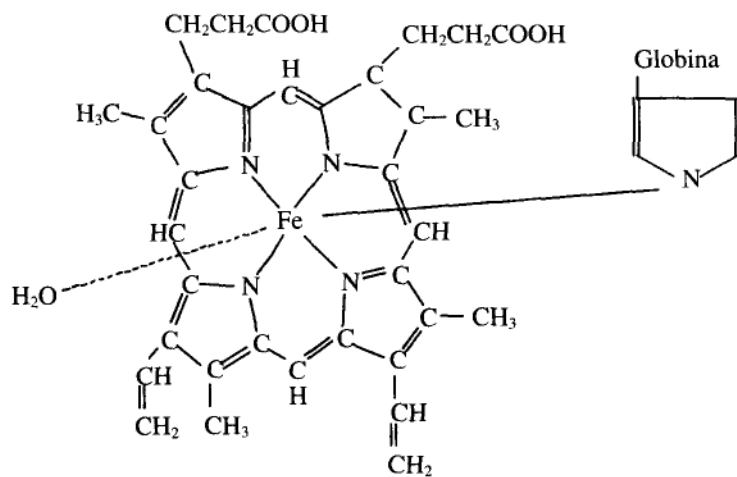
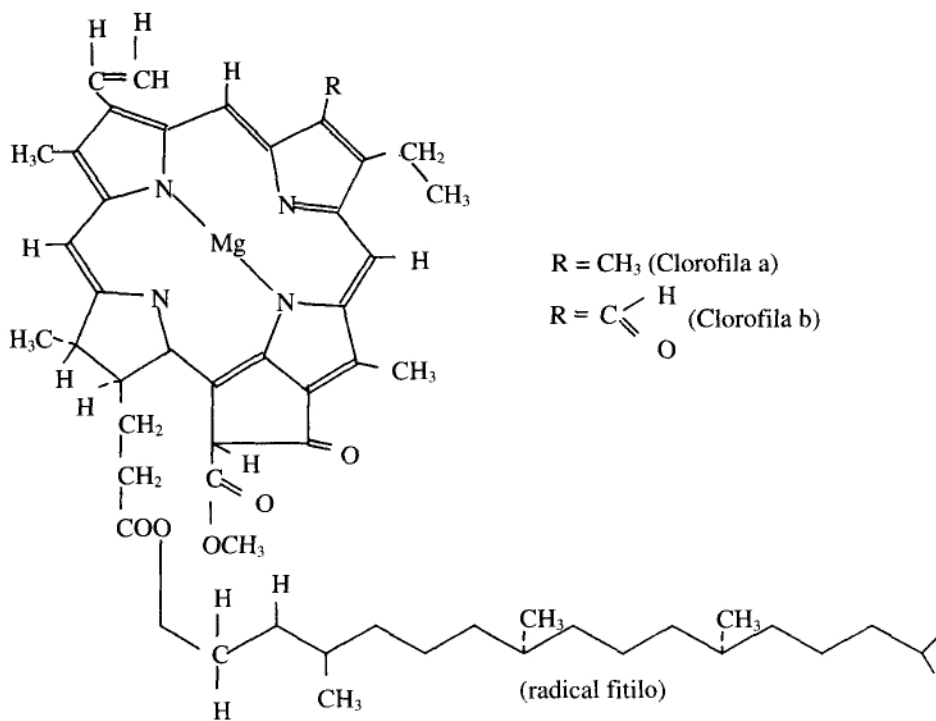
Los distintos procesos y tratamientos implicados en la elaboración y comercialización de los alimentos pueden dar lugar a degradaciones que ofrecen gran interés en la tecnología alimentaria por la repercusión que puede tener sobre la estabilidad del color al aparecer diferentes derivados de las clorofilas.

Los ácidos débiles pueden desplazar al átomo de Mg, dando lugar a la feofitina de color marrón grisáceo. Una hidrólisis provocada por la enzima clorofilasa, o por un álcali diluido, puede conducir a la pérdida de la cadena fitilo con formación de clorofilida, que no implica cambios en la coloración verde, pero sí aportan aromas indeseables cuando el alimento se somete a los procesos culinarios correspondientes.

También el calor le hace perder el átomo de Mg y convertida en feofórbido suele perder el color verde original. El tratamiento térmico suele desnaturalizar la lipoproteína que va ligada a la clorofila y favorece la acción degradante de los ácidos. Para evitarlo sería necesario un pH de 8,0 pues la degradación no ocurre cuando el medio es alcalino. Se puede resolver mediante adición de bicarbonato sódico, pero no resulta recomendable por los efectos secundarios perjudiciales que provoca: destrucción de la tiamina, menos eficacia en la esterilización bacteriana y cambios negativos en aroma y textura.

B) Dentro del segundo grupo hay que citar los *carotenoides*, una de las clases de pigmentos naturales más difundidas entre los alimentos tanto de origen animal, como vegetal: hojas verdes, flores y frutos de plantas superiores, algas, setas, peces, etc.

Con coloraciones que van desde el amarillo al rojo, su grupo cromóforo corresponde a una serie de dobles enlaces (todo- *trans*) conjugados carbono-carbono, dando lugar a un esqueleto carbonado formado por unidades repetidas de isopreno. En total se han identificado más de 300, que se pueden dividir en dos grupos principales:

**Mioglobina****Clorofilas****Figura 9.1.** Estructuras químicas de los grupos hemo de mioglobina y clorofila.

- *Carotenos*, que sólo contienen carbono e hidrógeno.
- *Xantofilas* (oxicarotenoides), que además de carbono e hidrógeno también tienen oxígeno.

Son sustancias liposolubles que en sus formas naturales se encuentran tanto libres, amorfas o cristalinas, como enlazadas a proteínas, azúcares o ácidos grasos. Suelen cambiar de color cuando esta combinación se rompe. Durante siglos se han usado en alimentación en sus formas naturales como los colorantes amarillos del azafrán (derivados de la *crocetina*), los rojos del pimentón (*capsantina* y *capsorrubina*) o del tomate (*licopeno*). En cambio, hoy su empleo se extiende de modo fundamental a los de síntesis, bajo el concepto de aditivos alimentarios. En este sentido se utilizan, obtenidos por síntesis química, tres carotenoides naturales:

- Un caroteno, el *beta-caroteno* (color rojo-naranja), propio de zanahorias, naranjas, melocotones, calabaza, etc.
- Dos xantofilas, el *beta-apo-8'-carotenal* (color rojo), propio de cítricos, alfalfa y plantas verdes, y la *cantaxantina* (color rojo-púrpura o violeta), propia de champiñones, crustáceos, camarones, algas, etc.

Últimamente se comercializa también la *bixina*, un pigmento naranja de la envoltura de los granos de la bija (*Bixa orellana*), arbusto propio de la América tropical. Con el esqueleto básico de los carotenoides, presenta en uno de sus extremos un grupo carboxilo libre y en el otro un grupo carboxilo esterificado. La elevada resonancia de su estructura le aporta un poder colorante muy elevado y buena estabilidad.

Naturalmente liposoluble, la hidrólisis del grupo metilo le convierte en un pigmento, denominado *norbixina*, capaz de ser hidrosoluble en medio alcalino bajo la forma de sal, aunque se insolubiliza y queda en suspensión cuando el pH es ácido. Sin embargo, es muy útil para producir alimentos uniformemente coloreados y que no liberen el colorante: elaboración de cereales para el desayuno cuando no se desea que el colorante pase a la leche.

Las estructuras de los principales colorantes empleados en alimentación que corresponden a este grupo se recogen en la Figura 9.2

Estos aditivos colorantes se comercializan bajo dos formas: unas solubles en aceite y otras dispersables en agua, que facilita una mejor homogenización y permite ampliar su campo de aplicación a bebidas refrescantes, sopas en polvo, bizcochos, galletas, etc.

C) En este grupo se incluyen numerosas sustancias derivadas del benzopirano, fundamentalmente *flavonas* y *antocianos*, que se caracterizan por poseer un esqueleto carbonado C6-C3-C6, que consta de dos anillos aromáticos unidos por una cadena alifática de tres átomos de carbono (Fig. 9.3).

Los antocianos son pigmentos solubles responsables de las variadas coloraciones naranja, roja, azul y violeta de muchas frutas y verduras. Su estructura básica corresponde al denominado catión *flavilium* (2-fenil-benzopirilio). Generalmente se presenta como un ion oxonio, que porta una carga positiva en el átomo de oxígeno incluido en la estructura del heterociclo. Su carácter anfótero permite que el color dependa del pH del medio.

Los utilizados como colorantes alimentarios se obtienen a partir de frutas y verduras comestibles (fresas, cerezas, ciruelas, uvas, berenjenas, cebollas, etc.), apor-

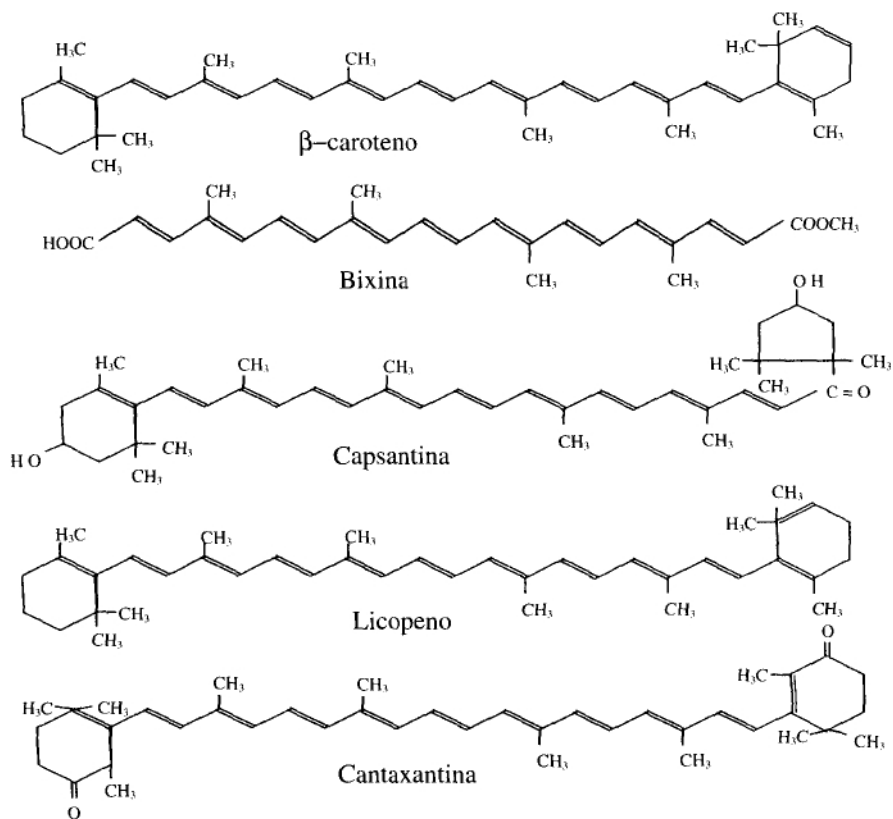


Figura 9.2. Estructuras químicas de pigmentos carotenoides y xantofilas.

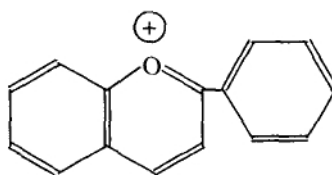


Figura 9.3. Estructura del catión flavilio que sirve de base para flavonas y antocianos.

tan coloraciones desde el rojo violáceo hasta el rojo cereza y se emplean en alimentos cuyo pH se sitúa en la zona de 3,5-5,5. Son estables al calor, pero se oxidan con facilidad y pueden ser decolorados por el anhídrido sulfuroso.

D) El grupo está integrado por pigmentos que responden a una estructura básica de *betalaina* (Fig. 9.4). Muchos de estos pigmentos se encuentran en la raíz de la remolacha roja (*beta vulgaris*) y se pueden reunir en dos grupos: *betacianinas* de

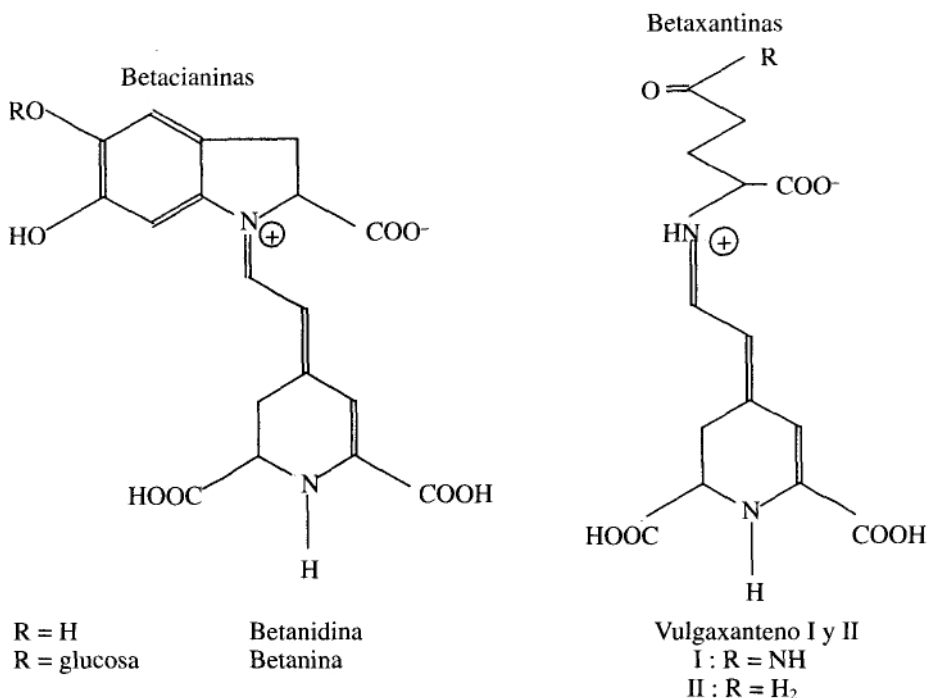


Figura 9.4. Estructura química de las betalaínas.

color rojo-violeta (betanina, betanidina, prebetanidina) y *betaxantinas* de color amarillo (vulgaxantina I y II).

En la naturaleza se encuentran en forma de sales hidrosolubles, que se extraen con agua en forma de jarabe rojo oscuro, convertible en polvo. El colorante comercializado como rojo de remolacha presenta una gran tolerancia a las variaciones de pH en la zona de 3,5-7,0, pero es muy sensible a la acción del calor que degrada su color rojo.

E) En este grupo se pueden incluir las *melanoidinas* formadas en el seno del alimento como consecuencia de la reacción de Maillard y el colorante *caramelo*, obtenido por una caramelización de los azúcares provocada por la acción del calor.

El caramelo es un producto amorfo, de color marrón oscuro, formado por una mezcla compleja de polímeros de composición no definida. Se obtiene mediante tratamiento térmico controlado de una solución de moléculas de carbohidratos sencillos, tales como glucosa, lactosa, sacarosa, hidrolizados de almidón, etc. En un principio, para mejorar los rendimientos se hacía intervenir en el proceso amoníaco o sales amónicas, pero esta práctica ha sido prohibida porque pueden formarse pirazinas e imidazoles, que son nocivos para la salud.

En sustratos acuosos forman soluciones coloidales portadoras de cargas eléctricas. La carga neta del pigmento resulta crítica para elegir la aplicación que se le debe dar al producto. Dependiendo del proceso de fabricación y del pH del medio,

el pigmento se puede cargar en solución acuosa de modo positivo o negativo. Los que se apliquen a la elaboración de bebidas refrescantes deben tener una carga negativa elevada; mientras que los destinados a la producción de cervezas, salsas y repostería debe tener carga positiva. Para las bebidas tipo cola (con cafeína) se usa un caramelo *resistente a la acidez*, que presenta compatibilidad con el ácido fosfórico incorporado a esas bebidas.

El sabor de los alimentos

El sabor de un alimento es una combinación de sensaciones químicas que se percibe en la cavidad bucal con la intervención de las papilas gustativas, donde se localizan los receptores, situados en lugares muy diversos: el paladar blando, en la pared posterior de la faringe, en la epiglotis y, sobre todo, en la lengua, donde son más abundantes.

Para que una sustancia química ofrezca un sabor necesita cumplir tres requisitos:

- a) Ser soluble en agua.
- b) Tomar contacto con el receptor, una vez que se ha disuelto en la saliva.
- c) Disponer de una estructura química concreta, aunque no se puedan dar reglas generales a este respecto.

Desde un punto de vista fisiológico, la percepción de un sabor es el resultado final de un mecanismo integrado por la sucesión de los siguientes fenómenos:

- El receptor situado en las papilas gustativas modifica su conformación como consecuencia del contacto con la estructura química y aparece una perturbación.
- Esta perturbación provocada se propaga hacia el polo basal del receptor.
- A su vez, se produce una alteración de la permeabilidad de la membrana, que permite la entrada de iones Na^+ .
- Como una consecuencia de todo ello, las vesículas sinápticas emigran hacia las terminaciones nerviosas, dando lugar a un estímulo que, por un vía aferente, se transmite hasta los centros nerviosos.
- Finalmente, los centros nerviosos devuelven, por una vía eferente, el estímulo completamente interpretado.

Las papilas gustativas de la lengua son capaces de percibir con toda claridad cuatro tipos de sabores que, tradicionalmente, se han considerado básicos o fundamentales: *dulce*, *salado*, *ácido* y *amargo*. Las papilas específicas del sabor dulce se localizan de modo fundamental en la punta de la lengua; a continuación, y en los bordes, vienen las del sabor salado; le siguen las del sabor ácido; al final y en la zona central, se encuentran las del sabor amargo. El paladar también tiene capacidad para distinguir tanto los sabores ácidos como los amargos. No obstante, algunos autores (de modo particular japoneses), incluyen un quinto sabor básico que denominan *umami*, aunque todavía se desconoce en qué zonas de la lengua se localizan sus receptores.

Como consecuencia de las observaciones realizadas en torno a las respuestas neuroeléctricas de las fibras nerviosas, se tiende hoy día a reconocer que no existen células específicas para cada sabor, sino que una sola célula gustativa puede poseer múltiples puntos receptores, cada uno de ellos con su propia especificidad.

Se ha comprobado que la sensibilidad de las papilas gustativas varían según los diferentes estímulos, es decir, los receptores gustativos solamente responden cuando la intensidad de su estímulo correspondiente supera cierto nivel. Con ello se indica que para reconocer un sabor determinado resulta necesario que la sustancia química provocadora del estímulo alcance un nivel mínimo de concentración, denominado *umbral absoluto*, que varía con el tipo de sabor y con la sustancia. Los umbrales más bajos los proporcionan los sabores amargos (0,00003 g de sulfato de quinina/100 ml de agua) y los más elevados corresponden a los salados (0,2 g de ClNa/100 ml de agua). Para que se note cambio en la apreciación de un umbral absoluto hace falta variaciones del 20 % en la concentración de la sustancia, aumentándola o disminuyéndola en un orden de 1/5.

También es variable la velocidad a la que tiene lugar la percepción consciente de un sabor, una vez que la sustancia ha tomado contacto con la lengua. Por ello, se habla de sabores inmediatos (acidez del ácido cítrico) o sabores lentos (acidez del ácido málico).

Todos los sabores básicos suelen proporcionar variables sensaciones de placer o desagrado, en función de la concentración del agente saborizante. La medida de los umbrales de sensibilidad es el procedimiento más corriente para realizar el estudio psicofísico del gusto. Para ello, se maneja el denominado *umbral de reconocimiento* que significa la concentración necesaria para que se llegue a reconocer un sabor específico. En la práctica, se han establecido soluciones patrones cuya concentración proporciona una identificación correcta del estímulo:

Dulce	sacarosa al 0,5 %
Salado	cloruro sódico al 0,1 %
Ácido	ácido tartárico al 0,002 %
Amargo	cafeína al 0,015 %

Una acción prolongada en un estímulo puede reducir la sensibilidad del órgano gustativo para el sabor correspondiente. Se trata, al parecer, de un fenómeno de adaptación, que solamente se produce a nivel de receptores y nunca a nivel cerebral. La mayoría de las veces, este fenómeno tiene un tiempo de recuperación, que puede durar sólo unos segundos.

También hay que señalar fenómenos de compensación, que se podrían considerar como fenómenos de enmascaramiento, cuando se trata de mezcla de algunos sabores. A diferencia del color, los sabores no se mezclan para dar lugar a otro diferente: ante una mezcla de sabores puede ocurrir una inhibición, o reducción de uno de ellos, pero nunca un nuevo sabor, como ocurre con la mezcla de los colores primarios.

Sin embargo, sí existen factores que pueden modificar la intensidad de un sabor:

- Tanto el ClNa como la sacarosa reducen el amargor de otras sustancias; pero a su vez, se influyen mutuamente: la sacarosa reduce el sabor salado del ClNa, mientras que la sal rebaja el poder edulcorante del azúcar.

- Los sabores dulces y ácidos de los alimentos aparecen más pronunciados en caliente que en frío, mientras que los sabores salados y, en particular, los amargos resultan menos intensos en los alimentos calientes.
- Las temperaturas extremas ejercen una acción reductora sobre la sensibilidad de los sabores, aunque de un modo temporal.
- Bajo determinadas circunstancias pueden existir fenómenos de contrastes, que suelen acentuar la sensación del agente saborizante, a pesar de no variar su concentración: una fruta puede aparecer ácida o madura, según se coma a continuación de un alimento dulce o de otro ácido, respectivamente.
- Todos los sabores son más difíciles de detectar en alimentos sólidos, tipo geles, que en los líquidos, porque las sustancias sápidas, todas hidrosolubles, necesitan estar solubilizadas para penetrar por los poros de las zonas gustativas y conectar con el receptor a través de la solución acuosa salival.
- Algunas sustancias químicas poseen dos sabores, aunque uno suela enmascarar al otro. Así, el sabor dulce del ácido cítrico resulta siempre encubierto por la primera impresión del sabor ácido más representativo de esa sustancia.

Todos estos fenómenos anteriormente enumerados son de enorme interés, tanto en las prácticas culinarias, como a nivel de industria alimentaria, donde hay que preparar alimentos con cualidades organolépticas aceptables.

¿Qué relación existe entre el tipo de sabor percibido y el agente químico que lo estimula? Los estudios acerca de los aspectos moleculares del sentido del gusto son bastante numerosos, con el intento de encontrar una correlación entre la sensación aparecida y la estructura química del agente responsable. Es decir, se han buscado, sin completo éxito, las bases científicas que permitan explicar el sabor provocado por una sustancia química determinada. No obstante, pueden señalarse algunos avances positivos en lo que respecta a dos tipos de sabores: ácidos y salados; pero cuando las teorías se aplicaron a los sabores dulces y amargos, las interpretaciones obtenidas eran bastante problemáticas. En estos casos, ha resultado prácticamente imposible predecir el tipo de sensación en función solamente de la estructura química.

Todavía no ha sido posible establecer una teoría global capaz de explicar de modo adecuado los resultados que ofrece la experiencia. Así, por ejemplo, los sabores amargos se suelen asociar con alcaloides como la quinina, pero no todas las sustancias amargas son alcaloides. Para el sabor salado se precisa el catión Na^+ , pero no todas las sales de sodio son saladas. Además, sustancias químicamente muy diferentes pueden provocar el mismo tipo de sabor; incluso, sustancias que originan sabores dulces o amargos pueden implicar a fibras nerviosas diferentes, tal vez como consecuencia de ámbitos fisiológicos no aclarados todavía. No obstante, para cada tipo de sabor se han podido establecer algunos criterios importantes, al menos desde un punto de vista teórico.

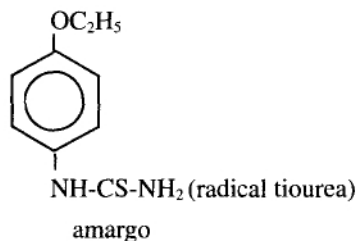
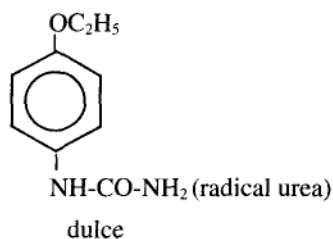
El *sabor dulce* se asocia generalmente con la molécula de sacarosa, o azúcar común, pero es una propiedad que también presenta una gama muy amplia de estructuras químicas. Además de la sacarosa, caben citar algunas hexosas (fructosa, glucosa), los polialcoholes (sorbitol, manitol, xilitol), algunos aminoácidos de la serie D y los denominados edulcorantes artificiales (sacarina, ciclamato, aspartame, etc.). De todos los sabores básicos, el sabor dulce puede ser considerado

como el más complejo, puesto que pequeños cambios en las moléculas pueden ser suficientes para que aparezcan resultados muy dispares. Entre otros casos, esto ocurre con las moléculas de dulcina o de sacarina (Fig. 9.5):

La sustitución por un átomo de S del O situado en el radical urea de la estructura química de la para-etoxi-fenilurea (dulcina), cambia el sabor dulce en amargo.

Asimismo, la introducción de un grupo nitró en el anillo bencénico del edulcorante artificial orto-sulfimida-benzoica (sacarina) lo convierte en una sustancia muy amarga, mientras que si el grupo a introducir fuera un metilo, o la sal sódica, la estructura resultante no vería afectado su sabor dulce inicial. En cambio, la sustitución del H enlazado al N por un grupo metilo le convierte en una sustancia insípida.

Dulcina:



Sacarina:

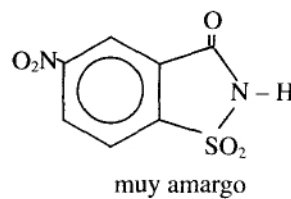
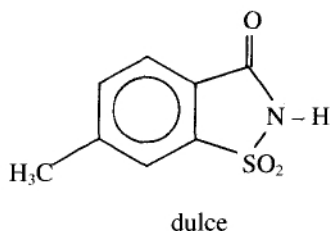
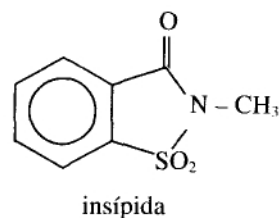
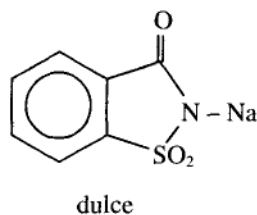
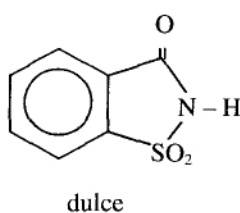


Figura 9.5. Modificaciones del sabor por introducción de grupos funcionales en la estructura molecular de edulcorantes.

En 1969, aisló Moncrieff una proteína de las papilas gustativas de la lengua del buey, que ofrecía la particularidad de combinarse con un gran número de sustancias que coincidían en su propiedad edulcorante, aun cuando no hubiera ninguna afinidad entre sus estructuras químicas. En base a este hecho, la escuela de Shallemberger en la Universidad de Cornell sugirió la teoría de la existencia de un par ácido-base intramolecular, capaz de reaccionar con un enlace complementario del receptor.

En la actualidad, se acepta ampliamente la correlación entre el sabor dulce y la presencia de una estructura tripartita en la molécula (Fig. 9.6):

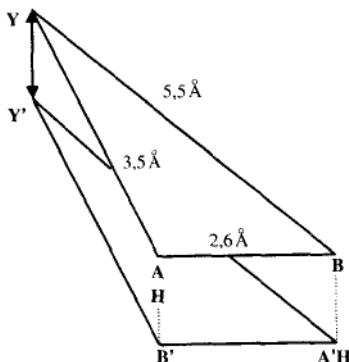


Figura 9.6. Requisito estructural tripartito para provocar sabor dulce en las papilas gustativas: AH, B, Y.

En su esencia, el glucóforo o responsable del sabor dulce de una sustancia consiste en dos unidades, AH y B, junto a un tercer componente Y, dispuesto el conjunto según un esquema tripartito. La unidad AH puede ser un grupo que contenga un átomo de O, o de N, portador de un átomo de H (OH, NH, NH₂). La unidad B puede ser un grupo que contenga O, N o un centro electronegativo, capaz de atraer un átomo de H para establecer un enlace puente de hidrógeno. La unidad Y puede ser un lado hidrofóbico de la molécula, que no necesita ser un grupo funcional específico.

Las distancias entre estas unidades deben respetar unas reglas:

AH, B $\rightarrow$ 2,6 Å

B, Y $\rightarrow$ 5,5 Å

Y, AH $\rightarrow$ 3,5 Å

así como la distancia orbital entre B y el protón de AH debe corresponder a una distancia que oscila entre 2,5 y 4,0 Å.

En un esquema tridimensional, sería el lado molecular que corresponde al grupo glucóforo el que se enlaza con la zona correspondiente del receptor (A'H, B', Y'). El sabor dulce aparece cuando se forma un puente de hidrógeno intermolecular entre el par AH-B del glucóforo y una unidad A'H-B' similar situada en el receptor. La función del tercer componente Y sería dirigir y alinear la molécula para que encaje en el receptor. Este grupo glucóforo puede detectarse en la estructura química de todos los compuestos calificados como edulcorantes, aunque su capacidad relativa para endulzar sea muy variable (Tabla 9.2).

Tabla 9.2

Relación de sustancias edulcorantes y su capacidad relativa para endulzar (referida a la sacarosa)

Edulcorante	Poder edulcorante relativo
Lactosa	0,3
Maltosa	0,4
Sorbitol	0,5
Manitol	0,6
Glucosa	0,7
Xilitol	0,9
Sacarosa	1,0
Glicina	1,5
Fructosa	1,7
L-Alanina	1,8
D-Fenilalanina	7,3
Ciclamato	30-80
Aspartame	150-200
Sacarina	200-700
Taumatina	1.000-5.000

El sabor *amargo* es el que corresponde al estímulo provocado por un grupo numeroso de sustancias con estructuras muy variadas: los alcaloides, los glucósidos flavonoides, los compuestos terpenos, la cafeína, la mayoría de los L-aminoácidos, muchos péptidos, algunos productos de la reacción de Maillard, ácidos grasos oxidados, etc.

La diversidad de estructura hace difícil aventurar una hipótesis que explique la correlación con el estímulo amargo provocado. Parece que los compuestos amargos requieren la presencia de un grupo polar (electrofílico o nucleofílico), además de un grupo hidrófobo. No obstante, algunos opinan que también puede ser explicado por la existencia de un par ácido-base, aunque en este caso la distancia entre AH y B ha de situarse entre 1,0 y 1,5 Å.

El *sabor salado* es provocado por las sales inorgánicas de bajo peso molecular (como el cloruro sódico), porque las sales de peso molecular elevado pueden ser tanto amargas (yoduro potásico), como dulces (cloruro de berilio). No está bien aclarado el mecanismo por el cual se desencadena el sabor salado, aunque se acepta que la condición previa es el carácter iónico de las sales. No obstante, se ha podido comprobar que en la sensación salada puede influir tanto el catión como el anión; incluso podría ser que el anión fuera el determinante de la intensidad. En este sentido, se ha podido establecer la siguiente serie de intensidades [3] para un conjunto de sales sódicas a la misma concentración.



Sin embargo, se ha observado que la parte aniónica de la sal puede determinar la adición de otros sabores e, incluso, ocultar totalmente el sabor salado.

En general, puede afirmarse que el sabor salado queda tipificado por la sal común, única sal que produce una sensación pura para este sabor, ya que otras sales proporcionan sabores que son mezclas de salado y de amargo, como ocurre con el bromuro sódico o el cloruro potásico.

El *sabor ácido* lo originan los protones H^+ , o mejor dicho, los iones hidronio H_3O^+ de los ácidos, aunque no baste por sí solo la presencia de estos iones para que resulte un sabor ácido. Sin embargo, la sensación acida percibida no resulta siempre directamente proporcional a la concentración protónica del medio, medida por su pH, aunque se puede observar que cuánto más bajo sea el pH de un alimento más ácido será el sabor provocado. Esto quiere decir que toda modificación que se haga del pH de un alimento implicará una alteración de la sensación de acidez. Precisamente este hecho ha motivado la práctica del empleo de aditivos acidulantes en la elaboración de algunos alimentos.

Es indudable que existe una cierta influencia de la estructura molecular, pues muchos alimentos deben su sabor ácido a la presencia de ácidos orgánicos: cítrico, acético, láctico, tartárico, etc. En cambio, entre los ácidos inorgánicos cabe citar solamente el ácido fosfórico, que se emplea como agente acidulante en las bebidas refrescantes tipos cola. No obstante, se ha visto que la acidez de la solución con capacidad para excitar las papilas gustativas de la lengua depende de tres factores:

1. De la naturaleza acida de la estructura química.
2. De la velocidad con que este ácido se separa del conjunto del alimento donde está integrado.
3. De la cantidad de saliva.

Desde luego, las sensaciones provocadas por los fluidos que proceden de la comida ingerida son bastante más complejos que las soluciones puras y, por tanto, sus efectos resultan más difíciles de interpretar. Así, cuando un vino se diluye con agua, apenas se modifica su pH pero sí se reduce su sabor ácido.

El *sabor umami*, todavía no definido con claridad, se aplica a la sensación gustativa provocada por un grupo heterogéneo de sustancias, entre las que caben destacar las sales (principalmente la monosódica) del ácido glutámico (GMS) y las sales disódicas de los purin-5'-monofosfatos, en especial inosín-5'-monofosfato (IMP), guanosín-5'-monofosfato (GMP) y adenosín-5'-monofosfato (AMP), recogidas en la Figura 9.7.

Con la excepción de este último, los demás compuestos cumplen con los requerimientos estructurales que han sido establecidos para provocar el estímulo de este sabor: dos cargas negativas, separadas por una cadena de 3 a 9 átomos de carbono, aunque las separaciones que más abundan sean las de 4 a 6. Esta circunstancia explica que el efecto *umami* del AMP sea inferior al de los demás compuestos.

Todos ellos suelen integrar la composición de numerosos productos alimenticios y también se comportan como potenciadores del sabor. En la práctica, no queda bien delimitada la divisoria entre lo que es un potenciador de sabor y este quinto sabor básico. A partir del jugo de carne de vacuno se ha purificado un octapéptido (Lis-Gli-Asp-Glu-Glu-Ser-Leu-Ala), que posee un sabor *umami* de intensidad parecida al GMS. Cuando se le deja en una cadena de seis aminoácidos, con eliminación de la lisina y glicina, pierde su sabor *umami*.

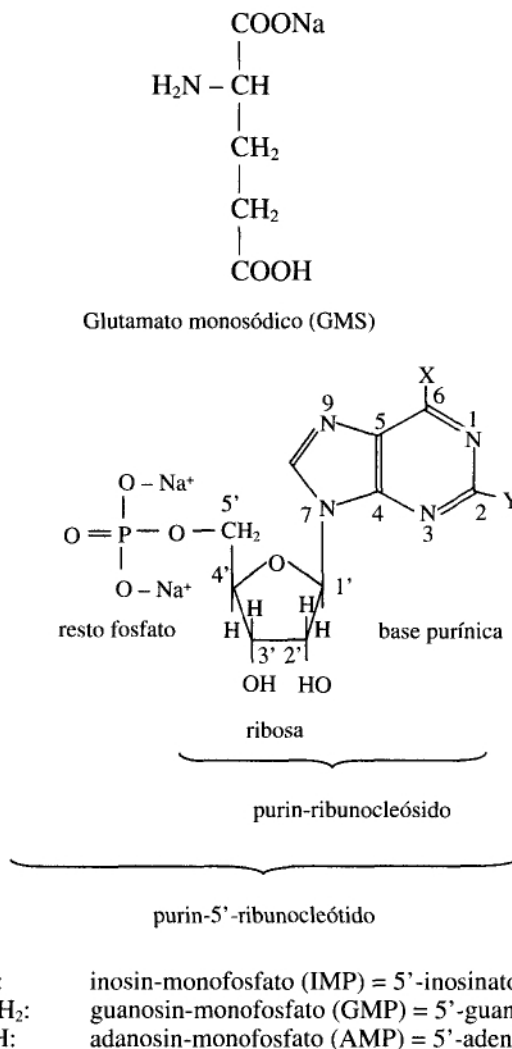


Figura 9.7. Estructuras químicas de sustancias con sabor *umami*.

El olor de los alimentos

El olor de un alimento es el estímulo provocado por las sustancias volátiles liberadas desde un alimento en el sentido del olfato, localizado en la cavidad nasal. Para ser oloroso, un compuesto ha de ser volátil y llegar hasta la interacción física con el correspondiente receptor, situado en el epitelio nasal. Aquí existen células de sostén y unas neuronas especiales, enervadas por el nervio trigeminal y situadas dentro de un área de unos 5 a 10 cm². Poseen de seis a diez dendritas o vellos olfa-

torios, que son los que toman contacto con las estructuras moleculares responsables del estímulo olfativo. Estas células receptoras (alrededor de cinco millones en total) se encuentran recubiertas de líquido mucosal y se activan cuando la molécula olorosa atraviesa la capa líquida o se disuelve en ella.

El sentido del olfato resulta extraordinariamente sensible para detectar olores, pues le bastan unas pocas moléculas de una sustancia volátil para manifestar la sensación olfativa, que abarca un número casi infinito de olores cualificados. Su sensibilidad va más lejos que la de cualquier instrumento analítico y es capaz de detectar componentes volátiles a concentraciones molares tan ínfimas (10^{-18} molar), que vienen a ser veinte mil veces menores que las necesarias para detectar el sabor.

El umbral de percepción, o cantidad necesaria para detectar un olor, varía con la naturaleza de la sustancia e, incluso, depende del modo como tome contacto con el receptor. Hay que señalar que no todas las moléculas volátiles que llegan a la cavidad nasal desde el alimento son capaces de conectar con su receptor. Se admite que el ser humano tiene capacidad para distinguir de 2.000 a 4.000 impresiones olfativas diferentes, estimuladas por las más de 17.000 sustancias odoríferas que existen.

Un olor puede ser atribuido a la combinación de numerosos compuestos volátiles, cada uno de los cuales por separado huele de un modo específico. La diferencia de las características de ciertos olores se debe, en parte, a las distintas proporciones de cada componente volátil. Aquellas sustancias volátiles contenidas en un alimento que resultan responsables de unas características olorosas esenciales, reciben el nombre de *compuestos con carácter de impacto*, aunque todavía muy pocos de ellos han sido identificados.

En el reconocimiento de los olores por el sentido del olfato pueden influir varias propiedades moleculares:

- a) Peso molecular. La mayoría de las moléculas olorosas suelen ser compuestos de bajo peso molecular y, por tanto, de tamaño pequeño. Pueden ser ácidos carboxílicos, fenoles, tioles, aldehídos y sustancias semejantes.
- b) Isomerías *cis/trans* y otras estereomoleculares. Pequeñas variaciones estructurales, como pueden ser el paso de una isomería *cis* a otra *trans*, modifica la características olorosas de las moléculas.
- c) Longitud de las cadenas hidrocarbonadas insaturadas. Los ácidos grasos de cadena corta ofrecen un mayor poder oloroso que los de cadena larga.
- d) Polaridad molecular y aromaticidad.
- e) Distribución molecular de las cargas eléctricas, porque posiblemente un neurorreceptor esté implicado en las reacciones de transferencia de carga.
- f) Respuestas electroquímicas discriminantes de los receptores olfativos a las diferentes estructuras moleculares.
- g) Flexibilidad conformacional de las estructuras moleculares, puesto que las moléculas rígidas son menos olorosas que las flexibles.

No está bien definida la naturaleza química de las sustancias capaces de estimular el sentido del olfato y sólo puede afirmarse que son sustancias orgánicas cuyos pesos moleculares oscilan entre 15 y 300. Para explicar a nivel molecular los mecanismos de la percepción del olor se han establecido muchas y diversas hipótesis: estereoquímica, enzimática, dipolar, etc., pero ninguna de ellas ha sido capaz de interpretar todos los casos posibles.

La más aceptada es la hipótesis estereoquímica, que considera irrelevante la naturaleza química de la sustancia, situando la importancia en el tamaño y forma de la molécula. Esta hipótesis es compatible con muchas de las propiedades moleculares anteriormente citadas, aunque está muy lejos de ser perfecta. Según ella, aparecerán unos olores primarios cuando se produzca un acoplamiento entre la molécula química y el receptor correspondiente, de modo similar al mecanismo de una llave en su cerradura. Según esta teoría, cuando el receptor es capaz de complementarse con el tamaño, la forma y el estado electrónico de la molécula olorosa, pueden aparecer siete olores primarios: los olores canfóreos, etéreos y almizclados, que son dependientes del tamaño; los olores florales y mentolados, que dependen de la forma; los pútridos y acre o picantes, que se originan por el estímulo de moléculas nucleofílicas y electrofílicas respectivamente. Cuando la molécula olorosa es capaz de acoplarse a más de un receptor puede desencadenar más de un olor primario; en la práctica, las impresiones olfativas características de un alimento pueden ser consideradas como mezclas diversas de los olores primarios.

La textura de los alimentos

De modo general, la textura de un alimento puede ser definida como el conjunto de atributos que, de un modo subjetivo, son apreciados por los sentidos de la vista, el tacto y el oído, y que hacen referencia a la impresión percibida de su peculiaridad física, en cuanto resultado de una deformación sufrida por el alimento. En cierto modo, viene a ser una manifestación del modo como son estimulados los receptores mecánicos de la boca durante la degustación del producto alimenticio.

En realidad, se trata de un concepto bastante ambiguo, que ha sido definido de muy diversas maneras, debido a la participación de varios sentidos aplicados con amplitudes diferentes. De todos modos, siempre se manifiesta como una consecuencia externa de un cambio en la disposición de los elementos estructurales, o de los diversos componentes químicos, así como de sus combinaciones. Por ello, no puede hablarse de la textura de un alimento como un factor único que le caracteriza, sino como un elenco de atributos que aportan al alimento sus propiedades o sus características de textura.

La percepción de la textura depende de la actividad de sistemas sensoriales diferentes, aunque las sensaciones más importantes procedan de la actividad muscular (cinestesia): tacto y presión. Como normalmente trabajan juntos en la percepción de la textura, resulta muy difícil distinguir la parte que corresponde a cada uno.

Las impresiones aportadas por las características geométricas, o las procedentes de la naturaleza líquida del alimento, vienen dadas de modo primario por las sensaciones del tacto. En cambio, para percibir las impresiones derivadas de las características mecánicas del alimento se requiere la contribución de los movimientos de boca y mandíbulas, dependiendo de la magnitud de la fuerza, o presión, requerida para fracturar el alimento o simplemente modificar su forma.

Cuando se muerde y mastica un alimento se activan los receptores de presión localizados en las encías, a la vez que lo hacen los receptores cinestésicos de mus-

culos, tendones y articulaciones de las mandíbulas. Tales receptores conducen la información en función de la intensidad de la contracción muscular y movimiento mandibular, originando la sensación de dureza, tenacidad, masticabilidad, etc.

En resumen, la degustación bucal de la textura de un alimento llevada a cabo por medio del tacto, de la presión y de la posición con la intervención de dientes, lengua y cavidad bucal, informa de una serie de percepciones geométricas y mecánicas, que permiten evaluar propiedades como dureza, fragilidad, viscosidad, plasticidad, succulencia, desintegración, etc.

Teniendo en cuenta las características aportadas por los parámetros fisicoquímicos que definen la textura de un alimento, se pueden establecer ocho grupos de productos alimenticios:

1. *Líquidos*. Presentan una viscosidad relativamente elevada (leches).
2. *Geles*. Plásticos, en general, aunque también pueden ser elásticos (de pectinas, de gelatina).
3. *Fibrosos*. Presencia de fibras, que pueden ser de celulosa o de proteínas (espárragos, carnes, pescados).
4. *Agregados*. Constituidos por células turgentes que resultan jugosas a la masticación (frutas, verduras).
5. *Untuosos*. Suaves al tacto, lubricados (mantequillas, margarinas, helados).
6. *Friables o frágiles*. Desmenuzables, secos, granulosos o cristalinos (bizcochos, patatas fritas, azúcar).
7. *Vitreos*. Estructuras no cristalinas que se disuelven lentamente en la boca (caramelos).
8. *Esponjosos*. Semielásticos y plásticos (la miga del pan).

Los atributos responsables de la textura de un alimento se relacionan con el sentido del tacto. Es decir, son atributos que hacen referencia a las cualidades del alimento percibidas a través del tacto con dedos, lengua, paladar y dientes. Las zonas terminales de los músculos contienen receptores de la presión y del movimiento que, al recibir los correspondientes impulsos, los transmiten hacia el cerebro por medio del nervio trigémino.

A medida que se ha podido profundizar en el conocimiento de las características de los alimentos se han ido modificando los conceptos que se tenían acerca de la textura. En 1972 sugería Kramer que el término textura debería ser aplicado cuando se desee indicar los aspectos de la calidad sensorial relacionados con las respuestas de los alimentos a las fuerzas y movimientos musculares de la cavidad bucal. Por ello, la textura debe de estar representada por una serie de características mecánicas, geométricas y de composición, que pueden ser *primarias* cuando se relacionan con una propiedad (fuerza, deformación energía), o *secundarias* cuando son una consecuencia de la combinación de las anteriores. Todas ellas están vinculadas al modo de reaccionar un alimento frente a fuerzas que pueden ser medidas con los texturómetros: tracción, torsión, tensión, etc.; sus magnitudes vienen marcadas por las presiones ejercidas sobre dientes, lengua y paladar durante el proceso de la masticación. En la práctica, no existe una definición de lo que debe ser una textura deseable, porque viene a ser una conveniencia particular de cada alimento, variable de un caso a otro.

Son atributos mecánicos aquellos que informan acerca del comportamiento frente a la deformación: adhesividad, cohesividad, dureza, elasticidad, fragilidad,

viscosidad, gomosidad, masticabilidad. La distinción entre primarios y secundarios se encuentran en la Tabla 9.3.

Son atributos geométricos los relacionados con la forma o la orientación de las partículas del alimento: aspereza, cristalinidad, esponjosidad, fibrosidad, flexibilidad, fragilidad, granulosis, tersura.

Son atributos de composición los que indican de modo aparente la presencia de algún compuesto químico: aceitosidad, farinosidad, humedad, succulencia.

Todos estos atributos de textura ofrecen magnitudes que se sitúan dentro de rangos de valores muy amplios; cualquier desviación encontrada para un atributo, dentro de los límites de valores esperados, debe ser interpretada como un defecto en la calidad del alimento. Sin embargo, para emitir un juicio de valor hay que proceder con cierta cautela, porque la textura de un alimento, al igual que su color, no suele permanecer constante a medida que transcurre el tiempo. Así, el agua desempeña un papel importante en la causa de estas variaciones, pues ligeras modificaciones en su contenido pueden traducirse en alteraciones de textura, como ocurre en los procesos de maduración de frutas y verduras.

En los alimentos procesados, la textura depende de la presencia de ciertas estructuras químicas que corresponden a formas moleculares poliméricas, cuyas propiedades fisicoquímicas determinan las características texturales. Así, por ejemplo, los almidones son espesantes, los lípidos son ablandadores y lubricantes, etc.

Aparte de las características mecánicas, los atributos de textura también pueden responder a determinadas características geométricas en las que importa el tamaño de las partículas, su forma o su orientación: granulosis, fibrosidad, aspecto cristalino, etc.

Tabla 9.3

Definición de las características mecánicas desde un punto de vista físico

Primarias

Dureza. Fuerza necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada.

Cohesividad. Fortaleza que mantiene unidos los enlaces internos que existen entre las distintas partículas que integran un alimento.

Adhesividad. Trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas entre las superficies de los materiales de un alimento puestos en contacto.

Elasticidad. Velocidad a la que un alimento, deformado por una fuerza externa, recupera su condición inicial una vez que ha desaparecido la acción de dicha fuerza.

Viscosidad. Velocidad con la que fluye un alimento por unidad de energía aplicada, o de fuerza que le obliga a moverse.

Secundarias

Fragilidad. Fuerza con la que se puede fracturar el material que integra un alimento.

Masticabilidad. Energía requerida para masticar un alimento sólido y convertirlo en una forma o situación, adecuada para su deglución.

Gomosidad. Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido hasta una situación que sea apta para su deglución.

La mayoría de los alimentos responden por su textura a diversos tipos de sistemas alimentarios. Los más frecuentes son las denominadas «Dispersiones alimenticias», que se pueden definir como «Sistemas formados por una fase continua, que tiene dispersa en forma de micelas, una o varias fases discontinuas». De acuerdo con el tamaño de las micelas se pueden distinguir tres tipos:

- a) *Dispersión molecular*, tamaño < 1 nm.
- b) *Coloide*, tamaño entre 1 nm y $0,5\ \mu\text{m}$.
- c) *Dispersión grosera*, tamaño $> 0,5\ \mu\text{m}$. Los sistemas difásicos pueden corresponder a combinaciones entre los tres estados físicos: sólido, líquido y gas, aunque pueden darse sistemas polifásicos interesantes. En las Tablas 9.4, 9.5 y 9.6 se dan las principales características de los geles, soles y emulsiones alimenticias.

Tabla 9.4
Geles alimenticios

Definición

Sistema coloidal formado por una fase continua acuosa y unas micelas sólidas como fase dispersa, orientadas en el espacio, y formadas por un conjunto de macromoléculas unidas entre sí y otras entremezcladas.

En la formación de la red tridimensional pueden intervenir cuatro tipos de fuerzas de enlaces:

- Electrostáticos.
- Hidrofóbicos.
- Covalentes.
- Puentes de hidrógeno.

Parámetros que determinan sus características

- Grado de rigidez.
- Elasticidad.
- Fragilidad.

Factores de los que depende su formación

- Tipo de agente gelificante.
 - Concentración del agente gelificante.
 - Contenido salino.
 - pH de la fase acuosa.
 - Temperatura (algunos son termorreversibles).
-

Tabla 9.5
Sol alimenticio

Definición

Sistema alimentario formado por una dispersión difásica sólida/líquida, con partículas sólidas o semisólidas, que están dispersas dentro de una fase continua líquida.

Características de interés presentadas por los más importantes

- Carácter liofilico: afinidad de las partículas dispersas por la fase continua acuosa.
- Superficie micelar portadora de una carga electrostática.
- Viscosidad de la fase acuosa muy superior a la del agua pura, que se aumenta de modo notable con la concentración y se reduce con la temperatura.
- Comportamientos Teológicos muy diversos (fenómenos de deformación y de flujo de materia).

Factores de los que depende la distribución uniforme de las micelas sólidas

- Tamaño de las micelas.
 - Forma de las micelas.
 - Concentración de las micelas.
 - Densidad de las micelas.
 - Viscosidad de la fase continua líquida.
 - Fuerzas que actúan en la interfase.
-

Tabla 9.6
Emulsiones alimenticias

Definición

Sistema coloidal difásico que consiste en una dispersión, conseguida por agitación mecánica, de gotas líquidas (fase dispersa) en un líquido (fase continua) con el que no es miscible.

Tipos de emulsiones alimenticias

- Emulsiones de grasa (*oil*) en agua (*water*), [O/W].
- Emulsiones de agua (*water*) en grasa (*oil*), [W/O].

Factores de estabilidad

- Tamaño reducido y volumen pequeño de las micelas.
- Elevada viscosidad de la fase continua (se favorece mediante el uso de hidrocoloides).
- Presencia de cargas electrostáticas de mismo signo sobre las micelas.
- Resistencia, firmeza y flexibilidad de las películas que determinan las interfases, factores favorecidos por el uso de agentes emulsionantes.

Mecanismos de desestabilización

- *Decantación*. Acusada diferencia entre las densidades de las fases no miscibles.
 - *Floculación*. Aumento de tamaño de las micelas como consecuencia de uniones provocadas por cambios bruscos en la regulación de las cargas electrostáticas superficiales.
 - *Coalescencia*. Fusión de varias micelas provocadas por choques mecánicos entre ellas.
-

El flavor de los alimentos

El primer conocimiento que obtenemos de un alimento ocurre cuando todavía se encuentra situado a cierta distancia de nosotros; son percepciones que nos llegan a través del olfato, la vista y/o el oído. Sin embargo, el conocimiento más completo y definitivo lo alcanzamos, una vez que el alimento ha sido introducido en la cavidad bucal y masticado para su deglución, mediante un conjunto de percepciones que se conocen con el nombre de Flavor.

De una parte, los componentes químicos solubles se disuelven en la saliva e interaccionan con los receptores del sabor, es decir, con las papilas gustativas. De otra parte, se escapan sustancias volátiles, algunas de las cuales resultan arrastradas desde la garganta, por la vía retranasal, hacia el interior de la cavidad nasal. Una pequeña proporción de estas sustancias volátiles toman contacto con las células receptoras del sentido del olfato, situadas todas ellas en el epitelio olfativo. A ello se une el tacto bucal facilitado por el proceso de masticación: la actividad de los músculos de la lengua y carrillos detectan ciertas propiedades cinestésicas del alimento e interpreta una serie de características: viscosidad, blandura, etc. Asimismo, la presión sobre los alimentos de los elementos bucales origina sonidos, que son captados por el órgano del oído. Finalmente, durante la deglución se estimulan receptores que completan este fenómeno sensorial.

En su mayor parte, el flavor de un alimento viene determinado por la mezcla de los sabores provocados por algunos de los componentes solubles y de los olores aportados por innumerables sustancias volátiles. Todo ello justifica que aparezca como un factor sensorial extraordinariamente complejo y que todavía no haya podido ser completamente descrito para la mayoría de los alimentos conocidos.

A lo largo de los años se han dado del flavor las más diversas definiciones, pero todas ellas ponen un énfasis especial en considerarle como una experiencia global, que resulta de la participación de varios sentidos, aunque con cierto predominio del olfato y del gusto.

Entre las definiciones más clásicas cabe destacar la atribuida a Hall: «El flavor es la suma de aquellas características del alimento introducido en la boca, que son percibidas principalmente por los sentidos del gusto y del olfato, junto a la contribución de los receptores de la presión y del tacto, situados en la cavidad bucal, en cuanto recibida e interpretada por el cerebro.»

También se puede citar la ofrecida en 1975 por la British Standard Institution: «Combinación de sabor y olor, que puede ser influida por otras sensaciones de tacto, calor, frío y presión.»

En realidad, todos los especialistas concuerdan en que el flavor consiste en un fenómeno sensorial, que aparece una vez que el alimento ha sido introducido en la boca y ha tomado contacto e interacciona con ciertos órganos sensoriales.

En estas definiciones se da especial relevancia a los aspectos relacionados con estímulos y sensaciones, en cuanto responsables único del flavor. Sin embargo, la Society of Flavor Chemistry lo define a partir de una perspectiva más amplia, incluyendo también a las especies químicas provocadoras de esos estímulos, entre las que se encuentran los *agentes flavorizantes*, que suelen ser adicionados en la elaboración de muchos alimentos:

«Un *agente flavorizante* es una entidad química, que puede ser una sustancia química individual, o una mezcla de ellas, de origen natural o sintético, cuyo objetivo primario es suministrar en todo, o en parte, un efecto flavor particular a cualquier alimento, o cualquier producto, que se ha de introducir en la boca.»

Se puede admitir que el papel primario del flavor de un alimento es el de hacerle apetecible. Como muchos de los productos alimenticios que se comercializan no resultan atractivos, el industrial acude a la práctica de adicionar *agentes flavorizantes*. El empleo de tales aditivos puede añadir a la dieta alimenticia una cierta variedad, a la vez que convierte a muchas materias primas en ingredientes más rentables y funcionales. Sin embargo, la aplicación de la tecnología de *agentes flavorizantes* a la industria alimentaria depende en gran parte de la posibilidad de identificar los componentes químicos responsables de una actividad sensorial concreta y determinada. Se debe subrayar que la mayoría de los «flavores sintéticos» son meras imitaciones de los componentes naturales del flavor de un alimento.

Sin duda, la mayoría de las veces resulta esencial la contribución aportada por las sustancias solubles (que confieren un sabor determinado, o una mezcla de sabores) al flavor. Sin embargo, suele ser considerado de una importancia crítica el papel desempeñado por las sustancias orgánicas volátiles. La aplicación de las modernas técnicas analíticas instrumentales ha puesto de manifiesto la existencia de diversos componentes primarios del flavor, que coexisten con otras muchas sustancias químicas, y reciben el nombre de *compuestos de impacto característico*.

En los últimos años ha sido posible establecer la naturaleza química de aquellos grupos capaces de incluir los componentes primarios del flavor:

- a) *Compuestos alifáticos que contienen ciertos grupos funcionales: hidroxilo, carbonilo, éster, tiol...*

Aunque dentro de esta serie de sustancias orgánicas las posibilidades resultan infinitas, son los ácidos grasos, aldehídos y alcoholes las principales especies químicas que contribuyen al flavor. Así en la serie de ácidos grasos, el ácido fórmico aporta sabor agrio, olor rancio y aroma irritante, pero tales estímulos se van mitigando a medida que se incrementa la longitud de la cadena hidrocarbonada.

Cuando los ácidos grasos se encuentran en forma de éster etilo o de otros esteres algo más superiores, suelen manifestar olores frutales, aunque no siempre signifique olores deseables, pero sí menos detestables que el de sus ácidos libres. En cambio, los derivados aldehídos de los ácidos grasos son bastante irritantes, aunque también pierden parte de su irritabilidad a medida que se incrementa la longitud de la cadena.

Los alcoholes inferiores, como metanol y etanol, exhiben generalmente olores espirituosos, reduciendo su volatilidad a medida que aumenta su peso molecular y con ello se disminuye su posibilidad de contribuir al flavor.

Las cetonas imparten sabores muy significativos de muchas frutas, vegetales y algunos productos lácteos fermentados, dentro de una gama bastante amplia.

Las iononas y sus derivados también desempeñan papeles importantes en los sabores delicados, asociados a las cerezas y a otras frutas.

- b) *Estructuras aromáticas con los mismos tipos de grupos funcionales anteriores*

Las estructuras químicas orgánicas que contienen anillos aromáticos suelen ofrecer una variedad muy confusa de olores, que van desde los dulzones para los fenoles, hasta los alcanforados, amaderados y almizclados de los sistemas anulares

sustituidos. Sustancias con anillos aromáticos y funciones fenoles, aldehídos o ésteres suelen ser importantes contribuyentes de sabores de extractos vegetales. Su aportación se acentúa cuando la presencia de oxígeno conlleva alguna polaridad y una presión de vapor razonable. A veces, la esterificación de un grupo carboxilo provoca un efecto positivo convirtiendo a la especie química de inodora en olorosa.

c) *Estructuras moleculares que contienen átomos de N y S*

Los compuestos, tanto alifáticos como aromáticos, que contienen átomos de N y de S suelen ser sustancias críticas para la química del flavor de un alimento.

Especial reconocimiento merecen los compuestos azufrados por su elevada volatilidad y reactividad, además de un valor umbral extraordinariamente bajo, pues la mayoría sólo necesitan de una concentración de 0,2-0,5 microgramos por litro de agua para que ya puedan ser detectados.

El amplio espectro de posibilidades estructurales (monosulfuros, disulfuros, isotiocianatos, tiazoles, tiofenos, etc.), así como su gran labilidad, complican en gran manera la química de estos compuestos. Muchos de ellos son responsables de los sabores picantes de las plantas crucíferas, ajos, cebollas, etc. También frutas, productos lácteos y bebidas alcohólicas pueden contener vestigios de estos compuestos, que en gran parte proceden de los tratamientos térmicos usados en su preparación o en su conservación.

Numerosas aminas aromáticas, derivadas de aminoácidos y otros compuestos nitrogenados heterocíclicos, ejercen un notable impacto sobre el flavor de muchos alimentos. En los últimos años se ha centrado la atención de un modo especial sobre las pirazinas, presentes en alimentos que han sido tratados por el calor: productos de panadería y bollería, cacao, café tostado, etc. También se pueden encontrar en productos vegetales como pimientos, tomates y legumbres, aunque solamente en cantidades vestigiales.

d) *Estructuras isoprenoides, lactonas y otras*

Los derivados isoprenoides son constituyentes naturales del metabolismo de las plantas, que cuentan con sistemas reactivos que consumen acetil-coenzima A. Las especias y muchos aceites esenciales contienen mezclas complejas de estos compuestos.

Algunas estructuras que incluyen grupos OH y COOH pueden adoptar formas cíclicas de lactonas, sustancias que pueden estar presentes en los alimentos de un modo natural, o como una consecuencia de la acción del calor.

Estructuras de furanonas, piranonas, furilcetonas y ftálicas también imparten en muchos alimentos sabores característicos, a pesar de sus bajas concentraciones. En general, son compuestos que se forman, la mayoría de las veces, con el tratamiento térmico culinario.

Son abundantes los estudios que han sido realizados para profundizar en el origen de todos estos compuestos responsables del flavor; sin embargo en su mayor parte responden a trabajos realizados con sistemas modelos, que no son un fiel reflejo de la realidad. De todos modos, se ha puesto de manifiesto la complejidad de las reacciones químicas y bioquímicas, que generan los principales sabores. Se sabe que muchos de ellos, y de modo especial aquellos que corresponden a frutas y vegetales, son productos o subproductos de diversas vías metabólicas que conducen a fenoles, terpenos, lactonas, ésteres insaturados, hexanal, pirroles y pirazinas.

La evaluación del flavor de un alimento es un proceso muy difícil de llevar a cabo por lo subjetivo de su naturaleza. Suele ser normal obtener bastantes diferencias en los juicios valorativos de los diferentes jueces, que toman parte en un análisis sensorial, por las notables divergencias que puede existir en sus sensibilidades individuales para detectar olores y sabores.

Un mismo alimento puede ser percibido bajo criterios muy diversos en función de factores biológicos y culturales propios de cada persona. Incluso puede darse cierta interacción entre la apariencia del alimento y el flavor que se aprecia del mismo. A esta interacción se le conoce con el nombre de «flavor visual». Así, en la actualidad se comercializan esencias de sabores naturales que contienen sustancias químicas totalmente incoloras; unos catadores poco expertos pueden encontrar dificultades para reconocerlos, debido a la asociación subjetiva entre color y flavor.

El color contribuye a la apariencia de un alimento, pero también puede quedar integrado en el flavor: una mermelada aromatizada con sabores de limón puede ser juzgada como mermelada de fresa si en vez de color amarillo se le proporciona un colorante escarlata; una solución de un edulcorante puede ofrecer intensidades diferentes según los cambios en su color, sin modificar los demás factores.

De modo similar, los fenómenos sensoriales normalmente asociados a la textura pueden ejercer una cierta influencia sobre la percepción del flavor de un alimento. Y al revés, el reconocimiento de un flavor puede mediatizar el juicio que se haga acerca de la textura de un alimento. Asimismo, se conocen interacciones entre los fenómenos visuales y los texturales.

Por todo ello, en la práctica resulta imposible establecer una interpretación psicológica bien precisa del flavor de un alimento. En realidad no está bien claro si el flavor es un fenómeno sensorial complejo pero integrado en un todo, o simplemente debe ser considerado como una agregación de características sensoriales individuales que se combinan de acuerdo con una base individual arbitraria.

Propiedades tecnológicas de los alimentos

• Introducción. • Propiedades de hidratación.	• Propiedades de asociación y de estructuración. • Propiedades de superficies interfaciales.

Introducción

Los alimentos suelen ser sistemas microheterogéneos formados por partículas de pequeño tamaño (entre 0,01 y 1 μm) que se integran en fases dispersas: líquido en líquido (*emulsiones*), gas en líquido (*espumas*), sólido en líquido (*suspensiones y agregados*) o líquido en sólido (*productos poco hidratados*). Cuando todas las partículas ofrecen un mismo tamaño forman un sistema *monodisperso*, mientras que los formados por partículas con tamaños diferentes constituyen los sistemas *polidispersos*.

Al margen de sus propiedades nutricionales, varios de los componentes de los alimentos pueden ser también responsables de otras propiedades de carácter funcional, entre las que hay que destacar las que desempeñan un papel importante en la tecnología de fabricación de los mismos, muchas de ellas relacionadas con la textura del alimento. Son las denominadas propiedades *tecnológicas* que rigen el comportamiento de los sistemas alimentarios durante su procesado, su almacenamiento y su preparación. De ellas dependen, en gran parte, la buena conservación y la calidad del producto comercializado. Es decir, tanto las pequeñas moléculas de agua, como las macromoléculas de proteínas, carbohidratos y lípidos, desempeñan en la preparación y procesado de los alimentos funciones de gran importancia y, en muchos casos, son las responsables de las características específicas de cada sistema alimentario.

En la práctica, las propiedades tecnológicas vienen determinadas por diversos parámetros fisicoquímicos que, aunque sean de naturaleza diferentes, actúan de modo simultáneo y resultan interdependientes.

Asimismo, en los sistemas alimentarios existen macromoléculas en cuya conformación estructural y en su estado de asociación, tanto entre ellas o con otras, pueden influir tres tipos de factores, en grado más o menos intenso:

- Tamaño molecular.
- Grado de organización, determinante de su estado físico.
- Composición del medio: pH, fuerza iónica, agua, proteínas, carbohidratos, lípidos, etc.

Estos factores intervienen de algún modo, o son determinantes, de la naturaleza de las fuerzas de enlaces que están implicadas en las interacciones de las macromoléculas con el solvente (agua), o con otras moléculas presentes en el alimento. En tal sentido, los tratamientos físicos que hayan podido recibir (calor, frío, desecación, acciones mecánicas, etc.) influyen de modo notable sobre el grado de organización molecular responsable en gran manera de las interacciones y de la naturaleza de las fuerzas que intervienen en ellas. Por su parte, los tratamientos químicos (como actividad enzimática, agentes reductores, etc.) también pueden actuar sobre la composición del medio en lo que hace referencia a parámetros como contenido acuoso, pH y fuerza iónica, que son factores decisivos acerca del tipo de interacciones que van a tener lugar con otras moléculas.

Las propiedades *tecnológicas* observadas en los distintos sistemas alimentarios y que derivan del comportamiento de las diferentes sustancias que entran en su composición, se pueden clasificar en tres grupos, de acuerdo con la naturaleza de los enlaces y según los tipos de fuerzas implicadas en ellos:

1. Propiedades de *hidratación*, que vienen determinadas por el comportamiento de las macromoléculas frente al agua y que se reflejan en parámetros como la capacidad de retención de agua, la solubilidad o la viscosidad. Los enlaces implicados en estos fenómenos fisicoquímicos suelen ser de dos tipos: enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals; no obstante, en los casos donde exista una solvatación de los grupos ionizables, también han de intervenir fuerzas iónicas.

2. Propiedades de *asociación* y de *estructuración*, que son una consecuencia de interacciones entre las macromoléculas, con una importante repercusión en fenómenos como el poder espesante y la gelificación, o su reflejo en la fijación de aromas, la retención de lípidos o la adsorción de agua. En todos estos casos, las asociaciones se hacen posibles gracias a la participación de fuerzas iónicas, fuerzas hidrofóbicas y enlaces covalentes.

3. Propiedades de *superficies interfaciales*, asentadas sobre la actividad de moléculas anfipolares cuando se sitúan en las superficies de separación entre dos fases no miscibles. En ellas intervienen aquellas fuerzas que originan las características de los sistemas polidispersos, así como de las emulsiones y espumas.

Propiedades de hidratación

Las propiedades de hidratación de todo sistema alimentario están vinculadas a la capacidad de sus macromoléculas para fijar en sus estructuras una cierta cantidad de moléculas de agua. De este modo, tales macromoléculas presentarán unas pro-

piedades muy específicas, dependientes tanto de su conformación estructural como de las interacciones con el agua.

Todo sistema alimentario posee siempre una determinada cantidad de agua, cuyas moléculas pueden desempeñar funciones muy heterogéneas: disolvente, difusión, reactiva, estructural, etc. Sin embargo, los efectos que pueden derivarse de cualquiera de esas funciones son mucho más dependientes de las interacciones con los solutos presentes que de la cantidad del agua presente.

Los tipos de grupos capaces de intervenir en estas interacciones pueden ser muy diversos:

Grupos polares cargados negativamente, solvables a través de enlaces iónicos

- Carboxilos (COO^-) de los ácidos orgánicos, polisacáridos y los restos de aspártico y glutámico en la cadena proteica, cuando $\text{pH} > \text{pK}_a$.
- Fosfatos (PO_4H^-) de polifosfatos, fosfoproteínas, fosfolípidos y nucleótidos.
- Ácidos siálicos de glicoproteínas.
- Sulfatos ($\text{SO}_4=$) de sulfatos libres o de algunos polisacáridos.
- Aniones minerales (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , etc.).

Grupos polares cargados positivamente, solvables a través de enlaces iónicos

- Aminas ($-\text{NH}_3^+$) e iminas ($-\text{NH}^+$) de los restos moleculares de usina, histidina, arginina y prolina en las cadenas proteicas, bases nitrogenadas, osaminas, poliaminas, aminas biógenas, etc., cuando $\text{pH} < \text{pK}_a$.
- Cationes minerales divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}) bien libres, bien asociados a proteínas o polisacáridos.
- Cationes minerales monovalentes (Na^+ , K^+ , etc.).

Grupos polares no ionizados, que actúan a través de enlaces de hidrógeno

- Hidroxilos ($-\text{OH}$) de carbohidratos, polioles y restos de serina, treonina y tirosina en proteínas.
- Carboxilos ($-\text{COOH}$) de polisacáridos y restos moleculares de aspártico y glutámico en la cadena proteica, cuando en el medio $\text{pH} < \text{pK}_a$.
- Amina ($-\text{NH}_2$) del resto de lisina de proteínas.
- Amida ($-\text{CONH}_2$) del enlace peptídico.
- Tiol ($-\text{SH}$) de la cisteína.

Grupos no polares

- Grupo $-(\text{CH}_2)_n-$ de los hidrocarburos alifáticos de los lípidos, ácidos grasos, restos laterales de alanina, valina, leucina, isoleucina, metionina, prolina, lisina y argina de la cadena proteica, pigmentos carotenoides, etc.
- Grupos anillos de hidrocarburos cíclicos, aromáticos o no, de proteínas, pigmentos hemo, antocianinas, polifenoles, taninos, dextrinas cíclicas, etc.

Los niveles de hidratación varían de modo considerable de acuerdo con la naturaleza de cada grupo, destacando en magnitud los que corresponden a los grupos

polares neutros, con la influencia de su posición en la molécula. No obstante, las interacciones de todos los grupos, polares y no polares, suelen contribuir a la estabilidad estructural de las macromoléculas.

Toda hidratación molecular provoca unos movimientos internos de las cadenas, que conducen a una cierta reorganización estructural acompañada de una pérdida de rigidez, además de un hinchamiento. En este sentido, el agua desempeña dentro del sistema alimentario un papel plastificante.

En la práctica, los fenómenos de hidratación desembocan en comportamientos diferentes, según se trate de alimentos sólidos o de alimentos líquidos, y dentro de esta distinción anterior también hay que considerar algunas divergencias en función del tipos de macromoléculas que intervienen: proteínas y polisacáridos. Estas discrepancias ocurren porque los principales factores que influyen en ella, así como sus consecuencias prácticas, son bien distintos.

Sistemas alimentarios sólidos

En estos casos, muchas propiedades de hidratación están vinculadas, o son dependientes, de que puedan ocurrir otros fenómenos como la *mojabilidad* o *dispersabilidad*. El que se puedan dar o no tales fenómenos permitirá, o en su defecto impedirá, que las moléculas de agua adsorbidas puedan quedar distribuidas por toda la masa.

Se entiende como *mojabilidad* la facilidad con la que un producto fija moléculas de agua. Esta propiedad es de gran importancia para la práctica tecnológica, porque existen algunos productos proteicos muy difíciles de humedecer, debido a causas muy diversas. Entre otras cosas, una gran afinidad por el agua puede conducir a la formación de zonas superficiales compactas, que impiden la penetración de las moléculas de agua, por lo que su interior quedaría seco. Esta circunstancia exige tomar algunas cautelas en las prácticas de fabricación de muchos productos.

Por otra parte, la *dispersabilidad* de las moléculas de agua por toda la masa depende, en gran manera, de las fuerzas capilares vinculadas a la microestructura; tales fuerzas son producidas como una consecuencia de la organización molecular del soluto y serán tanto más intensas cuanto menor resulte el tamaño de la malla estructural. Este fenómeno se puede apreciar de modo bastante claro en varios ejemplos prácticos: cuajadas de quesería, emulsiones finas y suspensiones concentradas de polisacáridos.

Cuando se trata de *sistemas proteicos* existen además otros factores que desempeñan un papel fundamental en la retención de agua:

- El pH del medio por su incidencia sobre la ionización superficial, que favorece la hidratación. Sin embargo, hay que señalar la excepción del punto isoeléctrico de las proteínas (valores de pH entre 5 y 6), donde esa retención se hace mínima debida al incremento de las atracciones electrostáticas entre los grupos COO^- y NH_3^+ . Este efecto provoca una contracción de la red y ofrece la mínima capacidad de retención de agua.
- El área interfásial de las partículas.
- El número de lugares de fijación en la superficie.
- La porosidad de las partículas. El número y el tamaño de los poros de la matriz proteica determinan el área de sorción total, mientras que el tamaño

de los poros y sus propiedades interfasiales marcan la velocidad y magnitud de la hidratación. En la práctica es el diámetro de cada poro el que controla las velocidades de entrada, o de salida, del agua.

- La desnaturalización proteica puede incrementar la hidratación en un 10 % al permitir con el despliegue de las cadena polipeptídicas una mayor exposición de los grupos amida del enlace peptídico y de los grupos polares ionizados.

En el caso de *polisacáridos*, todo resulta mucho más simple. Solamente existe dependencia del pH del medio cuando se trata de polisacáridos que portan cargas negativas. En estos casos, pueden aumentar su capacidad de hidratación cuando se encuentran en soluciones con pH alcalinos.

No obstante, tanto en uno como en otro caso, la presencia de sales (por ejemplo, la adición de ClNa) atenúa el efecto del pH sobre la hidratación, porque los iones Cl^- y Na^+ neutralizan las cargas y reducen las atracciones o las repulsiones.

Precisamente, en las salazones cárnicas y en la elaboración de quesos fundidos, se aprovecha la acción secuestradora de los polifosfatos, o de los citratos, sobre los cationes Ca^{2+} , para conseguir una disociación de los puentes de calcio de las proteínas, tanto en las miofibrillas de la carne como en las micelas de caseína, para incrementar la absorción del agua por una mayor apertura de las cadenas polipeptídicas.

Sistemas alimentarios líquidos

Para estos sistemas se pueden señalar como muy importante tres aspectos de los comportamientos de los agentes texturizantes, sean proteínas (de origen animal) o polisacáridos (de origen vegetal): la *solubilidad*, la *conformación* y el *volumen hidrodinámico*.

La *solubilidad* suele ser considerada como el principal factor que rige la hidratación de las moléculas de soluto y marca su magnitud. La solubilidad de una macromolécula depende de las atracciones entre las moléculas del soluto y del disolvente, de modo particular cuando esas atracciones predominan sobre las interacciones soluto-soluto. Por ello, resultan bastante numerosos los factores que pueden modular esta solubilidad, en función de la naturaleza química de las macromoléculas: polisacáridos o proteínas. En la práctica, se suele usar, como sinónimo de solubilidad, el término *dispersabilidad*. Sin embargo, desde un punto de vista fisicoquímico son conceptos que difieren de modo esencial en el tamaño de las partículas, una vez que se disocian en el agua.

En el caso de *polisacáridos*, la solubilidad de sus moléculas depende de modo esencial de su estructura, caracterizada por la posesión de numerosos grupos hidroxilos. Para explicar las diferencias que manifiestan en las características resultantes, es preciso distinguir entre varios tipos de moléculas:

- a) Lineales neutras, tales como amilosa y celulosa poseedoras de enlaces (1 $\rightarrow$ 4), que resultan muy difíciles de disolver al existir zonas pocos accesibles para el agua, originadas por las fuertes interacciones moleculares.
- b) Ramificadas neutras, en las que caben distinguir dos grupos claramente diferenciados:

- Estructuras como los dextranos, que en su cadena principal incorporan ramificaciones con enlaces ($1 \rightarrow 6$) y están dotadas de mayor flexibilidad en los enlaces que les hace completamente solubles en el agua.
 - Estructuras como los galactomananos, que también disponen de ramas laterales repartidas a lo largo de la cadena principal y presentan solubilidades variables de acuerdo con la magnitud de sus agolpamientos: cuando son poco numerosos (caso del garrofin) resultan poco solubles, incluso en agua caliente; mientras que su abundancia (caso de la goma guar) incrementa la solubilidad e incluso resultan parcialmente solubles en agua fría.
- c) Cargadas negativamente, como es el caso de las moléculas de polielectrolitos, cuya solubilidad va a depender de su estado salino o iónico: cuando se encuentran bajo la forma salina resultan fácilmente solubles, mientras que en la forma iónica son prácticamente insolubles.

La *conformación* que ofrecen estos hidrocoloides cuando se encuentran en medio acuoso puede ser de tres tipos:

- En ovillo, que comprende un reparto estadístico en el espacio de la cadena macromolecular.
- Rígida extendida, que viene a ser un caso particular de la anterior, que se da cuando la cadena tiene limitada su flexibilidad.
- En hélice, que sólo se puede adoptar cuando las uniones intramoleculares estables permiten que se establezca una estructura helicoidal.

El *volumen hidrodinámico* de las macromoléculas va a depender de la naturaleza de las uniones osídicas que tengan lugar, del peso molecular y de las interacciones del polímero con el solvente (agua).

Las interacciones de los polisacáridos con el agua se establecen a través de enlaces de hidrógeno, que no repercuten en los numerosos enlaces intermoleculares y por tanto la mayor o menor solubilidad se mantiene con independencia del pH del medio.

En el caso de *proteínas*, no se forman verdaderas soluciones en agua, debido a su tamaño molecular; por eso, cuando se habla de solubilidades proteicas se está haciendo referencia al sistema dispersión coloidal. En este sentido se puede afirmar que la solubilidad de proteínas es una propiedad molecular dependiente de diversos factores: concentración proteica, pH, fuerza iónica, temperatura, etc.

Así, por ejemplo, las proteínas desnaturalizadas precipitan en el pH del punto isoelectrico, con una insolubilidad tanto mayor cuanto más elevada haya sido la temperatura que provocó el fenómeno desnaturalizante. Estos efectos se atenúan con la adición de sales, siempre que éstas se encuentren a bajas concentraciones.

Se admite que una proteína soluble presenta mejores propiedades tecnológicas que las insolubles. La conformación de una proteína en solución depende de modo fundamental de sus interacciones con el agua. No hay que olvidar que en la mayor parte de los sistemas alimentarios intervienen sólidos hidratados, donde el comportamiento de sus proteínas está influido, o determinado, por las moléculas de agua presentes y su disponibilidad.

En primer lugar, las moléculas proteicas anhidras adsorben moléculas de agua al fijarlas sobre sus zonas polares. Después, se forman capas múltiples de moléculas

las de agua, también por adsorción. Con posterioridad, se produce una condensación de agua líquida y por último aparece una hinchazón de dicha molécula. Con este proceso de hidratación progresiva se relacionan diversas propiedades tecnológicas: fijación de agua, hinchazón, mojabilidad, cohesión, adhesión, etc. En cambio, la *viscosidad*, que es un factor determinante del poder espesante, y también la *dispersabilidad* necesitan todavía de un paso posterior constituido por la solvatación-dispersión.

Tanto en el caso de polisacáridos como de proteínas, las propiedades de hidratación también tienen su reflejo en cambios que afectan a la *viscosidad*, pues a medida que se incrementan las interacciones moleculares se aumentan las fuerzas de fricción, que determinan la viscosidad de la disolución, así como su comportamiento reológico: viscosa, viscoelástica, elástica o plástica.

De todos modos, los carbohidratos hidrocoloides poseen la propiedad de aumentar de modo considerable la viscosidad del medio acuoso cuando se encuentran a bajas concentraciones, más o menos próximas al 1 %. Desde luego, este poder espesante varía mucho de unos a otros y resulta elevado para los galactomananos, los carragenatos, los derivados de la celulosa y la goma xantana, más limitados para las pectinas, la goma arábica y los almidones modificados.

Pueden darse algunas reglas de tipo general, que son válidas para considerar la influencia aportada por la naturaleza de la sustancia y su conformación molecular:

- A igualdad de concentración, los polisacáridos y las proteínas globulares dan soluciones menos viscosas que las proteínas fibrosas y las proteínas desnaturalizadas.
- La viscosidad de los polielectrolitos se puede controlar a través de dos factores diferentes:
 - La fuerza iónica.
 - La adición de cationes di y polivalentes, que son capaces de provocar una repulsión electrostática.

Propiedades de asociación y de estructuración

Muchos sistemas alimentarios contienen macromoléculas de proteínas o de polisacáridos con propiedades tecnológicas muy interesantes, cuya característica común es su naturaleza polimérica integrada por uniones de monómeros específicos.

Suelen ser moléculas hidrocoloides que se disuelven, o dispersan, fácilmente en el agua y poseen la propiedad de aumentar de modo considerable la viscosidad del medio acuoso cuando se encuentran a bajas concentraciones, próximas al 1 %. Esto produce una propiedad espesante, cuyo poder varía de unos a otros: muy elevado para galactomananos, carragenatos, derivados de la celulosa y la goma xantana; más limitado para pectinas, goma arábica y almidones modificados. En algunos casos pueden dar lugar a la formación de geles.

Los numerosos estudios efectuados acerca del comportamiento en medio acuoso de tales estructuras poliméricas ha permitido conocer las bases fisicoquímicas

que regulan los mecanismos propios del *espesamiento* y de la *gelificación*, al parecer vinculados de modo especial a interacciones entre las moléculas entre sí y con el agua.

Normalmente, cuando en una solución aparece algún efecto desestabilizador, suele deberse a la aparición de cierto desequilibrio entre las fuerzas atractivas y repulsivas, como consecuencia de la acción de algunos factores, como pH, fuerza iónica, temperatura, etc.; de este modo, surge una tendencia a la asociación molecular. Es decir, la perturbación ocasionada provoca una evolución del equilibrio hacia un sistema más estable, aunque dicha evolución puede ocurrir de un modo tan lento, que puede durar desde algunas horas hasta varios días.

En todo equilibrio entre fuerzas atractivas y repulsivas suelen intervenir dos tipos de interacciones: electrostáticas y estéricas. Las primeras se deben a la capa de iones superficiales que existen en la macromolécula y dependen de la fuerza iónica. Las segundas están determinadas por la naturaleza de las cadenas que forman las macromoléculas y el tipo de disolvente que interacciona con ellas.

La tendencia para la asociación depende mucho de la movilidad de las partículas. De ahí, la clara influencia de la temperatura, pues el calor aumenta el movimiento browniano. Las diferencias en la densidad entre las partículas y el disolvente, también influye en el movimiento, siempre limitado por las fuerzas de fricción.

Muchas veces los fenómenos asociativos tienen lugar como una consecuencia de la formación de puentes intermoleculares. Este tipo de asociación molecular puede originar la formación de un gel, unas veces por transición de los sistemas coloidales tipo sol, otras veces por la aparición de una reticulación espacial como consecuencia de diversos mecanismos: puentes disulfuro, enlaces hidrofóbicos o atracciones iónicas.

La *gelificación* es una propiedad tecnológica propia de proteínas y polisacáridos, que desempeñan un papel importante en la elaboración de un gran número de alimentos: productos lácteos, gelatinas, productos texturizados de origen animal o vegetal, masa panaria, etc. Tanto unas como otros son estructuras hidrocoloides que forman dispersiones coloidales y bajo determinadas condiciones experimentales permiten, en algunos casos, la formación de geles.

Como no todos los geles presentan las mismas propiedades, resulta prácticamente imposible hacer un estudio generalizado del proceso de formación; por ello, se habla de los geles de gelatina, geles de pectinas, geles de miosina, geles de albúmina de huevo, etc. No obstante, puede afirmarse que se trata de un fenómeno en el que los tipos de fuerzas de enlaces en juego marcan las principales características del gel. Cuando tales fuerzas se desarrollan entre grupos funcionales puede aparecer en el gel un retículo tridimensional bastante estable, incluso frente a la agitación. En cambio, cuando predominan los enlaces de hidrógeno, la estabilidad del gel producido es tan escasa, que se puede destruir por cualquier acción mecánica.

En realidad, no se conoce con profundidad el mecanismo de la gelificación, pero se piensa que precisa de un despliegue de las moléculas poliméricas, para facilitar la ordenación espacial. No obstante, en el caso de proteínas hay que diferenciar el fenómeno de la gelificación de cualquier otro que pueda significar una rebaja en el grado de dispersión de la solución molecular: agregación, precipitación, floculación o coagulación.

En la práctica, es muy difícil definir de modo satisfactorio lo que propiamente es un gel, porque no existe una clara diferencia entre lo que es una solución muy

espesa y lo que es una solución gelificada. En un principio, el gel puede ser considerado como algo intermedio entre el estado líquido (algunos geles pueden contener hasta un 99 % de agua) y el estado sólido (su organización permite mantener una cierta forma y resistir ciertas fuerzas o tensiones).

En cierta manera, podría ser definido como un sistema difásico constituido por una red macromolecular tridimensional sólida, que en su malla retiene una fase líquida. Con esta definición se establece un distinción conceptual importante: las soluciones entrañan un cierto «desorden» molecular, mientras que los geles implican la existencia de un cierto «orden» en la distribución de las moléculas.

De todos modos, el estado de gel no puede ser considerado como un equilibrio, porque suele evolucionar con el transcurso del tiempo, debido a que su fundamento físicoquímico no radica en los enlaces covalentes o iónicos, que prohíben toda reversibilidad, sino en uniones mucho más débiles, que resultan estables gracias al gran número que se producen de ellas. En cierto sentido, el estado de gel viene a significar una situación de compromiso entre unas asociaciones polímero-polímero y unas asociaciones polímero-solvente, con la posibilidad de manifestar dos tipos de propiedades, vinculadas siempre a sus estructuras específicas: unas comunes a las de macromoléculas insolubles y otras muy semejantes a las de moléculas solvatadas hidrosolubles.

En la mayoría de los casos, la *melificación* es un fenómeno que requiere el concurso de un tratamiento térmico, que debe ser seguido por el correspondiente enfriamiento, y no faltan los casos que necesitan de una ligera acidificación, o bien la presencia de sales, de modo particular iones Ca^{2+} , para alcanzar una formación más acelerada o una mayor firmeza en el producto.

Por transición de un sistema sol, se pueden obtener geles de proteínas, o de polisacáridos, siempre que se encuentren en soluciones diluidas y reciban un tratamiento térmico a una temperatura elevada, capaz de potenciar las fuerzas hidrofóbicas y formar cadenas helicoidales.

No obstante, tanto la gelatina como algunos polisacáridos pueden formar geles a concentraciones superiores cuando alcanzan temperaturas relativamente bajas, porque el enfriamiento potencia la formación de enlaces de hidrógeno y les capacita para originar una red tridimensional formada por asociaciones de cadenas de dobles y triples hélices.

Para que ocurra lo mismo con alginatos y pectinas hace falta el concurso de cationes divalentes, como el Ca^{2+} , que favorecen las fuerzas electrostáticas que permiten la formación de los puentes correspondientes.

Muchas proteínas gelifican mediante una reticulación covalente al romperse los puentes disulfuro por el calor y producirse una nueva reorganización molecular.

Se ha comprobado que la mezcla de algunos hidrocoloides, sean o no agentes gelificantes, pueden presentar fenómenos de sinergia que conducen a comportamientos tecnológicos diferentes, entre los que es posible una gelificación. Como ejemplo se puede señalar las mezclas de carragenatos y garrofin, de alginatos y pectinas o de garrofin y goma xantana, cuyos efectos sinérgicos se ha sabido aprovechar en beneficio de la industria alimentaria.

También cabe citar la existencia de interacciones entre algunas moléculas de poliósidos y de proteínas, con aplicaciones prácticas en la industria alimentaria, pues de las interacciones entre proteínas y polisacáridos dependen en gran parte las características físicas de los alimentos. Tal es el caso del comportamiento de los

carragenatos frente a las proteínas de la leche, que permiten preparar postres lácteos con una textura determinada.

Muchos polisacáridos empleados en la tecnología alimentaria, disponen de grupos funcionales muy reactivos, como son los grupos carboxilos y sulfates, que fácilmente reaccionan con los grupos activos de las proteínas. En el caso de polisacáridos neutros, como los almidones, la reacción se lleva a cabo con gran dificultad, pero los de tipo iónicos, como alginatos, carragenatos o pectinas, interactúan con cierta facilidad mediante enlaces iónicos, más frecuentes que los enlaces covalentes y las fuerzas hidrófobas. Como detalle negativo conviene señalar el perjuicio que se produce sobre la pérdida de digestibilidad de las proteínas, hasta el punto que este efecto negativo es la explicación de la pérdida de disponibilidad provocada por los taninos sobre algunos aminoácidos esenciales de las proteínas.

Asimismo, se pueden estabilizar algunas suspensiones de proteínas lácteas en presencia de poliósidos iónicos dentro de la zona de pH próxima a 4,0, e incluso bajo ciertas condiciones de pH, se puede llegar a conseguir la precipitación de las proteínas. Resulta un tipo de coprecipitación que se aprovecha en la actualidad para recuperar proteínas de ciertos desechos de la industria alimentaria, como ocurre con el lactosuero en las queserías o con el plasma sanguíneo en los mataderos.

La fabricación de alimentos gelificados se fundamenta, como es lógico, en las propiedades particulares de cada hidrocoloide. Por ello, para la elección de un agente gelificante se debe tener en cuenta dos factores: el tipo de las características buscadas (textura y aspectos del gel) y la presencia de otros componentes del alimento. Así, numerosos postres lácteos gelificados llevan en su formulación carragenatos para aprovechar sus posibles interacciones con las proteínas de la leche.

De otra parte, si el alimento gelificado se tiene que someter a una pasteurización, resulta más apropiado emplear pectinas ligeramente metiladas con el fin de conseguir geles ligeros y estables al calor y a los pH ácidos; son geles que se forman después de la liberación, o adición, de iones Ca^{2+} . Un campo de aplicación muy de actualidad para los alginatos y pectinas, son los alimentos simulados, que se presentan como sucedáneos de carnes, frutas, caviar, etc. y suelen responder a patentes basadas en la formación de geles no termorreversibles.

Se parte de purés coloreados y aromatizados, que llevan añadida la forma sódica de una pectina o de un alginato. La liberación progresiva de Ca^{2+} se consigue mediante la adición de un complejo cálcico (por ejemplo, fosfato tricálcico) y asegurando la progresiva caída del pH mediante la adición de la delta-gluco-lactona. De este modo se consiguen geles térmicamente irreversibles, muy apropiados para ser sometidos a los más diversos tratamientos térmicos, como appertización, cocción o fritura. Lo mismo se puede conseguir cuando, en el caso de proteínas, se origina la red tridimensional como consecuencia de uniones covalentes disulfuro. Es el caso de los geles de ovoalbúmina o de beta-lactoglobulina, que también son térmicamente irreversibles.

Por el contrario, algunos hidrocoloides dan lugar a geles termorreversibles, muy interesantes para la elaboración de algunos productos alimenticios determinados. Tales geles se obtienen por dispersión del hidrocoloide en caliente y posterior gelificación cuando se enfría. Así ocurre con los geles de gelatina, siempre estabilizados de modo principal por enlaces de hidrógeno, pero funden cuando se calientan alrededor de los 30 °C. Incluso, el ciclo de gelificación y fusión podría ser repetido varias veces.

Finalmente, habría que señalar la posibilidad de que se produzcan casos de cogelificación: algunas proteínas bastante diferentes son capaces de gelificar cuando se calientan juntas.

Propiedades de superficies interfaciales

Se trata de aquellas propiedades vinculadas a la actividad de las moléculas que se sitúan en una interfase entre sustancias que no constituyen fases miscibles y pueden ser de naturaleza líquida, sólida o gaseosa. Tales sistemas suelen ser inestables en el tiempo desde el punto de vista termodinámico, de tal modo que las micelas de la fase dispersada tienden a reagruparse y separarse de la fase continua o dispersante. En consecuencia, para evitar este fenómeno alterante de los sistemas por una separación de sus fases, se pueden utilizar sustancias conocidas con el nombre de agentes tensoactivos.

Son compuestos anfífilos, es decir, disponen de estructuras químicas que incluyen unas zonas con carácter hidrófilo y otras de naturaleza hidrófoba. Precisamente estos tipos de estructuras tan particulares les permite desarrollar su actividad en la zona de las interfases y contribuir a la estabilidad de los sistemas difásicos no miscibles.

En el seno de un líquido puro, las moléculas se encuentran en equilibrio como resultado de fuerzas atractivas, tipo de Van der Waals. Sin embargo, en la superficie de ese líquido, las moléculas se encuentran dentro de un campo desequilibrado de fuerzas, porque en la interfase líquido/aire, las moléculas situadas en la superficie son atraídas hacia el seno del líquido por una energía libre superficial. Aparece así el fenómeno de la tensión superficial.

Lo mismo ocurre en la interfase de dos líquidos no miscibles, de tal modo que la energía interfaseal viene determinada por la desigualdad de las fuerzas atractivas en el seno de los dos líquidos. La intensidad de estas fuerzas atractivas varía con el disolvente y con los solutos presentes, porque la especie molecular que sea atraída con menos fuerza hacia el seno del líquido será la que quede adsorbida de modo preferente en esa interfase.

Los agentes tensoactivos tienden a concentrarse de modo particular en las superficies de las interfases. Dentro de los diferentes grupos químicos de lípidos, polisacáridos y proteínas, existen compuestos anfipolares que presentan esta propiedad. Entre ellos cabe distinguir tres grupos bien diferenciados:

- a) *Liposolubles*. Son moléculas cuya zona hidrófoba puede estar formada por una cadena de hidrocarburo, mientras que la otra zona hidrófila lo está por algunos de los grupos alcohol ($-\text{OH}$), ácido ($-\text{COOH}$) o amina ($-\text{NH}_2$).
- b) *Hidrosolubles*. Son moléculas capaces de disolverse en el agua gracias a que en sus estructuras contienen ciertos grupos ionizados salinos, bien aniónicos ($-\text{COO}^-$ de los jabones sódico y radicales sulfato $-\text{SO}_4=$ o sulfonato $-\text{SO}_3^-$), o bien catiónicos (grupos amonio cuaternario, R_4N^+).
- c) *No iónicos*. Son compuestos solubles tanto en el agua como en las grasas, según tengan preferencia hacia una u otra fase de acuerdo con el número de

grupos oxietileno ($-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) que exista en una cadena hidrocarbonada. En la práctica suelen estar caracterizados por el denominado balance hidrofílico-lipofílico (BHL), es decir, la relación entre los grupos hidrófilos y los grupos hidrófobos. Cuando su valor está representado por un número bajo significa que el agente tensoactivo tiende a ser más soluble en aceite que en agua.

En los sistemas alimentarios, las propiedades de interfase se traducen principalmente en dos tipos de actividades que originan fenómenos texturales de gran interés práctico: la *emulsificación* y la *formación de espumas*. En ambos fenómenos también desempeña un cierto papel relevante las propiedades de hidratación, al contribuir a la difusión de moléculas en las interfases, así como a la formación de películas interfaciales viscosas.

El proceso que implica la dispersión de un líquido en otro líquido con el que no es miscible se denomina emulsificación y su resultado es una *emulsión*. Muchos son los alimentos que cuentan entre sus sistemas fisicoquímicos emulsiones formadas por dos fases líquidas no miscibles, una acuosa y otra lipídica.

Tales sistemas coloidales son dispersiones de una fase líquida dispersada, en forma de micelas o gotitas (de tamaño 0,1 a 10 μm), en otra fase líquida dispersante no miscible. En la práctica, los alimentos pueden corresponder a dos tipos de emulsiones: a) de aceite en agua (o/w, *oil in water*); b) de agua en aceite (w/o, *water in oil*).

Se considera fase dispersada aquella cuyo volumen es mucho menor que el de la otra, considerada fase dispersante. Se reconoce qué tipo de emulsión se ha formado cuando la emulsión se diluye al añadir más cantidad de fase dispersante, pues en caso contrario ocurre la separación de las dos fases. El paso de un tipo de emulsión a otra puede seguirse con facilidad si se mide la conductividad eléctrica, pues una fase dispersante acuosa la tendrá elevada debido a los iones que contiene, mientras que una fase lipídica dispersante resulta muy mal conductora.

Para que se forme un sistema emulsión es preciso que se produzca un incremento en el área interfaseal, que se acompaña con un aumento de la energía libre; cuanto más débil sea la tensión interfaseal tanto más fácil resultará la formación de dicho sistema. Precisamente en ello radica la actividad de los agentes tensoactivos, puesto que reducen la tensión interfaseal cuando son adsorbidas en la interfase. El índice BHL de cada uno permite prever, de un modo teórico, la eficacia de cualquier estructura química para estabilizar una determinada emulsión.

Para la utilización eficaz de un agente emulsionante resulta muy conveniente conocer con profundidad todos los mecanismos de formación de las emulsiones, así como las causas de su ruptura.

Para que tenga lugar lo primero, es decir, para que se forme una emulsión se necesita un aporte de energía o de trabajo que ayude a la dispersión de las micelas. Este trabajo o energía se utiliza para aumentar el área interfaseal y para que se consiga la mínima relación superficie volumen. Por ello, las micelas adquieren la forma de una esfera.

Las micelas emulsionadas se ven rodeadas de una fina película como resultado de la asociación de tres componentes del sistema alimentario: aceite-agente emulsionante-agua. Las características Teológicas de esa película dependerá del estado líquido-cristalino del agente emulsionante en la zona de la interfase. En la práctica,

la mayoría de tales agentes corresponden a estructuras lipídicas. Con la excepción de la lecitina que es un fosfolípido, casi todos los demás agentes emulsionantes suelen responder a estructuras químicas de ésteres de ácidos grasos o de ésteres de polioles con otros ácidos orgánicos. El que algunos monoacilgliceroles sean capaces de estabilizar emulsiones de aceite-agua a pesar de su reducido índice BHL, se explica por la existencia de estructuras cristalinas líquidas.

La formación de complejos de los agentes emulsionantes lipídicos con las macromoléculas de almidón o de proteínas, constituye una de las bases esenciales para su empleo en la tecnología alimentaria. Así, por ejemplo, en panificación se aprovecha la propiedad de la amilosa para formar complejos de inclusión con numerosas sustancias, entre ellas los monoacilgliceroles, cuya cadena grasa puede penetrar dentro de la hélice del polisacárido; con ello, se limita la velocidad de endurecimiento de la miga del pan.

También se conoce que la formación de complejos con las proteínas tiene unas consecuencias positivas sobre algunas características tecnológicas de la masa panada: la retención de gas (CO_2), la maxalabilidad, la retención de agua, la textura del producto, etc., aunque en este caso se desconozca el mecanismo implicado en dicho fenómeno. No obstante, dentro del conjunto de alimentos con sistemas lípidos-proteínas, ha sido muy estudiado el complejo formado por este tipo de sustancias en la membrana de los glóbulos grasos de la leche. Son numerosos los productos alimenticios en los que las proteínas desempeñan un papel relevante en la estabilización de algún sistema emulsión: pastas finas cárnicas, cremas, helados, quesos fundidos, salsas mayonesas, etc.

Precisamente, el uso de proteínas alimentarias como aditivos emulsionantes se basa en la capacidad de formar estructuras lipoproteicas muy estables, como ocurre con los aislados proteicos de soja o los caseinatos en la elaboración de productos cárnicos transformados. No obstante, las proteínas suelen actuar como mediocres estabilizadores de las emulsiones agua/aceite, porque su carácter predominantemente hidrofílico obliga a que la mayor parte de la estructura molecular adsorbida quede situada en la zona acuosa de la interfase. La capacidad emulsionante de las proteínas difiere en función de la relación proporcional entre los aminoácidos hidrófilos e hidrófobos contenidos en las moléculas.

En realidad, los lípidos pueden interaccionar con las moléculas proteicas mediante la formación de enlaces hidrófobos y enlaces iónicos, aunque también puedan hacerlo a través de puentes salinos con iones divalentes, como el Ca^{2+} . En cambio, los enlaces covalentes apenas se dan en la formación de los complejos proteínas-lípidos.

Aparte de la naturaleza de la proteína usada como agente emulsionante y su concentración, existen numerosos factores que influyen en las características del sistema emulsión resultante: intensidad del aporte energético, velocidad de adición del aceite, volumen de la fase lipídica, pH del medio y su fuerza iónica, presencia de azúcares, etc.

El pH del medio puede influir de formas muy diversas, pues en las proximidades del punto isoeléctrico de las proteínas, reduce su solubilidad y ello resulta suficiente para disminuir su aptitud como agente emulsionante. Con frecuencia se puede observar una correlación positiva entre la solubilidad de una proteína y su capacidad emulsionante o el poder estabilizante de la misma, puesto que las proteínas sin disolver no contribuyen al proceso de emulsificación, tal vez por la imposibilidad de emigrar hacia la interfase.

Las emulsiones pueden ser desestabilizadas por circunstancias muy diversas:

- Por un choque térmico producido por variaciones bruscas de temperatura, como ocurre en los casos de congelación seguidos de descongelación.
- Por los mismos mecanismos que se desestabilizan las dispersiones coloidales; por un desequilibrio entre las fuerzas electrostáticas que provoca una repulsión entre las micelas y la fuerzas de Van der Waals entre los dipolos creados por las fluctuaciones en la densidad electrónica de las moléculas de grasa, que poseen un carácter de atracción micelar. Cuando existe una asociación de las micelas se produce el fenómeno de la *floculación*, que por lo general es reversible. Si los flóculos se fusionan de modo intenso puede desembocar en el fenómeno irreversible de la *coalescencia*. Ambos procesos negativos pueden ser frenados cuando se incrementa la viscosidad de la fase continua por adición de agentes emulsificantes, en su mayor parte de naturaleza lipídica.

La utilidad de estos agentes lipídicos puede ir más allá de su simple propiedad emulsificante, porque pueden desempeñar múltiples funciones tecnológicas. Por eso, se ha propuesto que se les clasifique como *agentes de textura lipídica*, en base a sus dos características comunes: su naturaleza grasa y su papel como agente texturizante. Se piensa que con esta designación queda englobado el conjunto de propiedades funcionales que son capaces de realizar. No obstante, dentro del amplio espectro de posibilidades de uso, cabe destacar entre sus actividades de mayor interés las que derivan de sus características emulgentes y las que ofrecen la posibilidad de formar complejos con macromoléculas, tanto proteínas como polisacáridos.

Sin duda, desde el punto de vista práctico, el empleo de agentes emulsionantes para la elaboración de alimentos exige un buen conocimiento de las condiciones de aplicación específica de cada uno de ellos, con el fin de alcanzar en todos los casos unas mejoras en las características texturales de los alimentos, a la vez que unos buenos rendimientos.

En las aplicaciones de estos agentes emulsificantes caben destacar dos de ellas por sus repercusiones de tipo práctico: la elaboración de salsas emulsionadas y su incidencia en los productos de cocción al horno.

Las salsas emulsionadas suelen ser, por lo general, emulsiones aceite/agua, que difieren en su contenido en aceite. Responden a mezclas complejas en las que la fase continua acuosa puede integrar una gran variedad de sustancias: proteínas, azúcares, polisacáridos, sales minerales, acidulantes, etc. El agente que actúa como estabilizador de la emulsión forma una película en la interfase y evita la coalescencia de las gotitas de aceite.

Los criterios aplicables para elegir el aditivo emulsionante más adecuado deben estar enfocados hacia la mejor contribución a las características Teológicas de esa película interfaseal, así como al comportamiento mesomórfico del emulgente, con capacidad para formar diversas capas líquido-cristalinas en dicha interfase.

Cuando se trata de aplicar su uso a los productos de cocción al horno caben distinguir dos tipos de actuaciones, según se trate de productos fermentados o simplemente esponjados de modo químico.

En el primer caso, se debe buscar un doble efecto:

- Un efecto antiendurecedor, que sólo se puede conseguir con monoacilglicérols o con estearil-lactilatos, únicos agentes capaces de formar complejos con la amilosa.
- Otro efecto acondicionante de la masa, que se consigue con los estearil-lactilatos o con los derivados de monoacilglicérols y diferentes ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico o tartárico diacetilado), denominados DATEM, capaces de formar complejos con las proteínas.

Para los productos esponjados de modo químico, hay que proceder de modo diferente, según lleven, o no, adicionadas materias grasas. Cuando se trata de productos sin grasa, es el emulgente el que la sustituye en el proceso de aireación de la masa, aparte de estabilizar la compleja emulsión que integra el producto.

En la tecnología alimentaria, y de modo particular para evitar el endurecimiento en los productos de panificación, resulta muy básico el empleo de agentes emulsificantes con capacidad para formar complejos con almidones y proteínas. Los mejores resultados se consiguen con mezclas de agentes, tales como derivados de monoacilglicérols y lecitinas, que en galletería y panificación pueden desempeñar las siguientes funciones:

- Mejora de la distribución de las sustancias grasas.
- Estabilización del complejo gluten.
- Aumento de la capacidad de retención de agua.
- Incremento de volumen en el producto acabado.
- Evitar, o al menos minimizar, la retrogradación del almidón.
- Etcétera.

Cuando la fase dispersa es gaseosa y, además, ocupa fracciones del volumen muy variables dentro de una escala mucho mayor a lo que ocurre con los sistemas emulsión, aparece el sistema bifásico conocido como *espuma*, que con frecuencia resulta más inestable, porque posee una mayor superficie en la interfase.

Por lo común, las *espumas* están presentes en productos que corresponden a batidos alimenticios formados por dispersiones de micelas de gas en una fase, líquida o semisólida, estabilizadas por la presencia de agentes surfactantes solubles. En el comercio alimentario existe una gran variedad de estos productos con las más diversas consistencias: merengues, cremas batidas, helados, soufflés, cervezas, etc.

Algunos de ellos, como los helados, se caracterizan por ser sistemas coloidales muy complejos, que contienen varias fases:

- Una emulsión de glóbulos grasos, especialmente sólidos y reunidos en pequeños grupos.
- Una suspensión de cristales de hielo dispersos.
- Un gel de polisacárido.
- Una solución concentrada de azúcares y proteínas.
- Burbujas de aire.

En muchas ocasiones, la fase gaseosa dispersada está formada por el aire, mientras que la fase continua es una suspensión o solución acuosa, que contiene proteínas. En estos casos, es frecuente que las burbujas sean de mayor tamaño que las partículas coloidales y se obtengan por acciones mecánicas de agitación o principalmente por batido.

En un principio, las burbujas de aire suelen ser esféricas, pero poco a poco se asocian entre ellas para adoptar una estructura más compacta, aunque separadas unas de otras por una película muy delgada. La diferencia de presión entre una y otra parte de la interfase hace que las burbujas adopten una asociación poliédrica, separadas por una laminilla plana.

Debido a su gran inestabilidad necesitan siempre del concurso de un agente tensoactivo que las estabilice, entre los que destacan los no iónicos y los polímeros hidrosolubles. En el caso de proteínas, se forman capas interfaciales sólidas y elásticas, al producirse una desnaturalización de su conformación y volverse insolubles de modo irreversible.

Modernamente se viene usando el concepto de transconformación para expresar el cambio que sufren algunas proteínas en su topología bajo los efectos de agentes químicos (sales, ácidos, álcalis, metales pesados, etc.) o físicos (calor, radiaciones ultravioletas, vibraciones ultrasónicas, etc.). En el caso que estamos considerando, este fenómeno se produce también por la acción mecánica del batido. Aparece un cambio estructural relacionado con un despliegue o una distorsión de la molécula proteica, cambio que difícilmente resulta reversible, porque la distensión de las cadenas polipeptídicas conduce a roturas de enlaces, con escasa probabilidad de una reorganización molecular semejante a la que tenía en su estado anterior.

Uno de los casos más típicos es el que se da en el batido de la clara de huevo, proceso de bastante frecuencia en la elaboración de muchos productos alimenticios, tales como en las cremas heladas. Las proteínas desplegadas se expanden fácilmente por la interfase y forman películas con el grosor de un simple péptido (9-10 Å), que al no poderse replegar proporcionan una cierta estabilidad al sistema. Por ello, al batir la clara de huevo resulta una espuma estable, excepto en el caso de prolongar demasiado la acción mecánica, porque entonces se provoca una precipitación de las proteínas.

Las cremas heladas se pueden describir como una espuma congelada con un 40-50 % de aire. En ella, la fase continua incluye bastantes sustancias disueltas o dispersas: azúcar, proteínas, materias grasas en forma de glóbulos emulsionados y estabilizados por las proteínas de la leche, etc. En su proceso de fabricación caben distinguir dos fases: primero se forma la mezcla, durante la cual se procura dispersar al máximo los glóbulos de grasa y las burbujas de aire para conseguir una completa homogeneidad. Después se procede a su congelación, durante la cual se produce una rotura de la emulsión y una cristalización de las materias grasas, cristalización que desempeña un papel importante en la textura del producto acabado.

A menudo las proteínas desnaturalizadas ofrecen proporciones diferentes a las originales de los grupos -SH de la cisteína, así como de los grupos fenólicos e índoles de tirosina y triptófano. Al quedar tales grupos en libertad, quedan más accesibles para las enzimas las cadenas polipeptídicas y la molécula proteica se hace más reactiva.

Para aportar estabilidad al sistema se requiere que las proteínas cumplan con una propiedad esencial:

- Poder formar una película viscoelástica a través de unas interacciones intermoleculares.

En cambio, parece que la propiedad de una proteína para formar espumas

requiere dos condiciones moleculares, que superan a la necesaria para conferir a la espuma formada una mayor estabilidad:

- Poder ser adsorbida con rapidez en la interfase aire-agua.
- Hacer posible un cambio conformacional y una reestructuración molecular en la interfase.

Por otra parte, la estabilidad de la espuma depende de varios factores: de la rigidez de la película interfasial; de la viscosidad de la fase líquida y de la presencia de partículas sólidas, que estabilizan la película interfasial.

Esencialmente, existen tres mecanismos que conducen a una desestabilización de una espuma:

- Drenado, o pérdida por la acción de la gravedad, del líquido que integra la lámina líquida, que puede ser frenado mediante un incremento de la viscosidad de la fase líquida.
- Difusión del gas contenido en las burbujas pequeñas hacia otras de mayor tamaño, por disolución en la fase acuosa.
- Rotura de la laminilla líquida que separa las burbujas de gas unas de otras, lo que provoca al principio una coalescencia para acabar en la desaparición final de la espuma.

En algunos alimentos podemos encontrar sistemas mixtos de emulsión y espuma, porque en realidad corresponden a emulsiones esponjadas o bien espumas emulsificada. Tales sistemas existen, por ejemplo, en las pastas de hígado o de carne, en algunos dulces de confitería, en las cremas batidas, en las cremas heladas, etc.

La complejidad de estos sistemas proviene de tres circunstancias características:

- La presencia simultánea de varias fases: líquida, sólida y gas.
- La existencia de varios tipos de interfases: gas/líquido, líquido/líquido, sólido/gas y sólido/líquido.
- La posibilidad de varios estados físicos: cristalino, amorfo, solución, etc.

En los sistemas polidispersos, en los que hay que conseguir un esponjamiento de la masa con intervención del aire, el agente tensoactivo desempeña varias funciones importantes:

- Aportar volumen.
- Proporcionar una textura correcta.
- Asegurar la estabilidad del sistema frente a la sinéresis.

Propiedades saludables

• Introducción. • Funcionalidad saludable de proteínas, péptidos y aminoácidos. • Agentes probióticos. • Efectos saludables de los ácidos grasos insaturados.	• Propiedades saludables de algunos carbohidratos. • Beneficios saludables de sustancias con actividad antioxidante. • Propiedades saludables de algunas sustancias fitoquímicas

Introducción

Además de las estructuras nutrientes implicadas en la actividad metabólica normal del organismo humano, los alimentos pueden contener algunos componentes químicos con la posible capacidad de proporcionar algún beneficio saludable. Así, entre los productos alimenticios tradicionalmente usados, unas veces como ingredientes, otras como simples condimentos y a veces como postres, caben citar ejemplos que han demostrado manifestar algún efecto saludable. Unos pocos son de origen animal, pero la mayoría corresponden a productos de origen vegetal, que desde siempre han ocupado un lugar importante, de una u otra forma, en la alimentación humana. En la Tabla 11.1 se recogen los potenciales efectos saludables de estas sustancias, unos reconocidos, otros en vías de investigación.

Durante siglos, los alimentos lácteos han tenido una buena consideración dietética como una fuente valiosa de nutrientes e incluso, a raíz de los trabajos de Metchnikoff en 1908, las leches fermentadas han sido valoradas de modo muy positivo en cuanto posibles responsables de la vida saludable y prolongada de aquellas poblaciones que las consumen de modo habitual.

No en vano, en los momentos actuales se siguen comercializando productos lácteos tradicionales, que gozan de cierta popularidad por ejercer una actividad fisiológica saludable. No cabe duda que la leche, en cuanto primer alimento destinado al recién nacido, contiene diversos compuestos dotados de funciones fisiológicas

Tabla 11.1

Actividad saludable potencial atribuida a grupos de alimentos frecuentes en la alimentación humana

Alimento	Efecto saludable
<i>Pescados grasos</i>	Prevención de enfermedades cardiovasculares. Mejora de la función inmune.
<i>Productos lácteos</i>	Actividades opioide, inmunomodulante, enlazante de minerales y antihipertensora de algunos péptidos de caseína. Aumento de los niveles de glutatión y de IgM por la acción de proteínas del suero lácteo.
<i>Salvado de trigo</i>	Regula la función intestinal. Alivia el síndrome de colon irritado, constipación y diverticulosis. Posible prevención de cáncer de colon y mama.
<i>Salvado de arroz</i>	Efecto hipocolesterolémico.
<i>Avena</i>	Los polisacáridos solubles viscosos modifican los lípidos séricos y atenúan tanto la glucémica como la respuesta insulínica.
<i>Crucíferas</i>	Eficaces en el tratamiento de patologías infecciosas. Posible protección frente al cáncer de colon.
<i>Cítricos</i>	Eficaz protección frente a la tumorigénesis.
<i>Uvas tintas</i>	Protección del riesgo cardiovascular y cáncer, por su actividad antioxidante.
<i>Cebollas y ajos</i>	Propiedades antimicrobianas, hipolipídica, antitrombótica, antiinflamatoria, antioxidante y antimutagénica.
<i>Mostaza</i>	Sus mucílagos regulan la función del colon, normalizan los niveles lipídicos séricos y atenúan la glucemia postprandial.

importantes, de modo particular en el terreno inmunológico, o son precursores de agentes de cierta significación biológica. Por tanto, su consumo puede representar un factor beneficioso para la salud.

En la actualidad, la industria láctea ha modificado parte de sus tecnologías tradicionales con el fin de elaborar productos que realcen algunos de tales efectos beneficiosos. Como una importante consecuencia de ello, se han precisado nuevos conceptos vinculados a los actuales productos comercializados. Son las recientes denominaciones de agentes probióticos y de sustancias prebióticas, incluidos en productos alimenticios que reclaman acciones saludables consecuentes a su consumo.

En la misma línea, han sido obtenidos péptidos derivados de la caseína que en algunas experiencias han evidenciado algunas actividades de gran interés relacionadas con la salud. Sin embargo, aunque muchos de los resultados obtenidos aparecen como prometedores, todavía hace falta investigaciones adicionales para que dichos productos puedan alegar, con cierta garantía, que su consumo conlleva unos efectos favorables para la salud.

Igual interés parecen tener hoy día las proteínas del suero lácteo, un subproducto de las industrias queseras, aunque adolecen del inconveniente de su reducida

concentración en las materias primas. Asimismo, hay que resaltar otros componentes como el calcio que, además de nutriente, desempeña un papel regulador de la presión sanguínea y parece tener un potencial efecto preventivo de la carcinogénesis, o el ácido butírico de su grasa, al que se le supone un atractivo efecto sobre la eliminación de células cancerosas en el colon.

Los productos de la pesca han tomado parte de la alimentación humana desde la más remota antigüedad como una fuente importante de nutrientes. Sin embargo, la observación de la escasa incidencia de enfermedades cardiovasculares entre el pueblo esquimal, cuyas dietas tienen como base estos productos, ha centrado el interés de los nutriólogos para aclarar los efectos saludables de este tipo de grasa.

En efecto, los aceites de pescado contienen una gran riqueza en AGPI, tanto w-6 como w-3, y se diferencian de los lípidos de los animales terrestres en que muchos de estos AGPI son de cadena larga, principalmente ácidos eicosapentanoico (AEP, 20:5, w-3), docosahexaenoico (ADH, 22:6, w-3) y en menor cantidad docosapentaenoico (ADP, 22:5, w-3), todos ellos procedentes del fitoplacton y acumulados a través de la cadena alimenticia. Estos compuestos tienen el inconveniente de su rápida oxidación, que la industria alimentaria intenta soslayar mediante el uso de antioxidantes, e incluso recientemente con la tecnología de microencapsulación.

Los efectos saludables señalados para la ingestión habitual de estos tipos de compuestos hacen referencia a tres áreas de gran interés para la salud:

- Las cardíaca y circulatoria, que incluyen la prevención, o el tratamiento, de la aterosclerosis, la trombosis, la hipergliceridemia y la hipertensión.
- La inmunológica, donde se considera los tratamientos de asma, artritis, migrañas, psoriasis y nefritis.
- La cancerígena, que abarca a los tumores de mama, colon y próstata.

El papel beneficioso del pan integral sobre el intestino humano fue puesto ya de relieve nada menos que por Hipócrates (siglo v antes de Cristo). Después de veinte siglos, se ha vuelto a resaltar el interés por las propiedades saludables de algunos cereales debido a su contenido en polisacáridos no digeribles, que resultan muy eficaces para la prevención y tratamiento de algunas enfermedades crónicas severas. Esta fibra resistente a las enzimas digestivas se encuentra de modo importante en la fracción salvado del grano de los cereales.

Entre los cereales destaca el trigo, que además del salvado, rico en fibra insoluble, contiene varias sustancias fitoquímicas capaces de ofrecer algún tipo de efecto beneficioso para la salud. Entre tales sustancias caben resaltar tres: los compuestos fenólicos (que incluyen lignanos y fitoestrógenos), los tocotrienoles y el ácido fítico.

Al trigo le sigue en importancia el arroz, que constituye uno de los principales cultivos mundiales de cereales, puesto que representa la principal fuente de alimentos para la mitad de la población humana. Contiene varias sustancias de interés: almidón, fácilmente energético; proteínas, hipoalergénicas y con un buen valor nutritivo; fibra dietética en el salvado, muy estimada para corregir algunas situaciones patológicas relacionadas con el metabolismo glucídico y lipídico; aceite en el germen, que ha demostrado poseer la propiedad de ser hipocolesterolémico.

También hay que citar la avena, bastante introducida en estos últimos años en la alimentación humana. Bajo diversas formas alimenticias, ha sido relacionada con la facultad de aliviar, o de reducir, el riesgo de algunas enfermedades crónicas, tales

como la diabetes o las cardiopatías. Debido a las propiedades demostradas, la FDA de EE UU ha reconocido que la avena rebaja con claridad los niveles de LDL-colesterol sin afectar a los de HDL-colesterol, como un efecto de los beta-glucanos, su principal componente activo. Además, contiene otros componentes capaces de modular los niveles séricos de los lípidos o de conferir otros beneficios fisiológicos.

Desde la publicación de los efectos de la soja sobre la reducción de los niveles del colesterol sérico, abundan los trabajos acerca de los efectos saludables de las leguminosas. En tal sentido, se ha puesto de manifiesto una clara y positiva influencia de la ingesta a base de legumbres sobre el metabolismo del colesterol.

En algunos países asiáticos se consume la linaza, semilla oleosa del lino (*Linum* sp), que no sólo contiene un aceite extraordinariamente rico en ácido alfa linolénico, sino también proporciona una proteína de buena calidad nutricional. Además, la linaza representa una fuente natural de varios componentes biológicamente activos con un interés potencial acerca de sus efectos saludables: ácidos fenólicos, ácido fitico, flavonoides, lignanos, polisacáridos y tocoferoles.

Entre los productos vegetales empleados bajo el concepto general de verduras, merecen especial mención las correspondientes a las plantas crucíferas conocidas bajo el nombre general de berzas: brécoles, col lisa o repollo, col morada o lombarda, col rizada o de Milán, col china, coliflor, coles de Bruselas, etc. En el ámbito de las propiedades saludables hay que destacar su contenido en componentes azufrados. Desde tiempo inmemorial han tomado parte de la medicina popular y su eficacia en el tratamiento de enfermedades infecciosas ha sido corroborada al descubrirse y caracterizarse algunas sustancias fitoquímicas antimicrobianas que contienen esta familia de verduras.

El uso como condimento de semillas de mostaza, otra planta crucífera, se conoce desde hace cientos de años, con referencias en textos sánscritos y suméricos. Aunque éste haya sido su uso primario en la alimentación, en la actualidad se han encontrado nuevas e importantes aplicaciones bajo la forma de harina, aceite, mucílago o salvado, debido a sus contenidos en ditiltionas, fitatos, gomas e isotiocianatos.

En cuanto a las frutas, la atención se ha centrado en los potenciales efectos beneficiosos de los cítricos y de las uvas. Se piensa, por ejemplo, que algunos componentes fenólicos de las uvas (*Vitis vinífera* L.) pueden desempeñar un papel significativo en la prevención o retraso de una serie de enfermedades, incluido el cáncer y las dolencias cardiovasculares. Suelen ser metabolitos secundarios de estas plantas, entre los que hay que destacar varios: antocianinas, catequinas, flavonoles y taninos.

Asimismo, se conoce una gran variedad de constituyentes biológicamente activos de las dietas ricas en verduras y frutas, responsables de los efectos beneficiosos para la salud. Entre ellos destacan los frutos cítricos (limones, mandarinas, naranjas, toronjas, etc.) que incluyen en su composición una gran variedad de sustancias fitoquímicas con actividad biológica.

Dos plantas del género *Allium*, la cebolla (*A. cepa*) y el ajo (*A. sativum*), que en la alimentación humana hacen el papel de condimentos, han sido empleados por la medicina popular desde hace miles de años para la cura de numerosos desórdenes patológicos, tales como artritis, aterosclerosis, enfriamiento común, diabetes, malaria, tumores y problemas cardíacos. La ciencia moderna ha demostrado que tales condimentos contienen varios componentes químicos con propiedades terapéuticas.

La confirmación científica de los efectos beneficiosos de todo este conjunto de productos alimenticios tradicionales ha estimulado el interés en el consumidor por incluir en su dieta alimentos que reportan algún beneficio para su salud. En los últimos años se ha podido identificar la naturaleza química de un conjunto amplio de sustancias contenidas en los alimentos, cuyas estructuras se vinculan con actividades fisiológicas específicas, que tienen una proyección saludable para el organismo que las ingiere. Algunas desempeñan también el papel de nutrientes, pero otras son totalmente independientes de cualquier función nutricional.

Es interesante señalar cómo la legislación alimentaria japonesa ha reconocido un grupo de ingredientes cuyas propiedades pueden favorecer la salud cuando se consumen de modo habitual: proteínas y péptidos; bacterias acidolácticas; ácidos grasos poliinsaturados; oligosacáridos; fibra dietética; polialcoholes; isoprenoides; vitaminas; etc.

Funcionalidad saludable de proteínas, péptidos y aminoácidos

Desde siempre, el ser humano ha utilizado las proteínas aportadas por los alimentos como una fuente esencial para cubrir sus necesidades nutritivas en aminoácidos. Sin embargo, en los países occidentales más desarrollados se reconoce, incluso a nivel popular, que las proteínas de la dieta desempeñan en el organismo humano un papel provechoso para la salud, además de su tradicional función como nutrientes.

Entre las *proteínas* alimentarias que han reclamado un cierto interés por sus propiedades saludables hay que citar las proteínas del suero lácteo, separado de las cuajadas caseínicas en las queserías. En la actualidad se incluyen por su potencial efecto sobre la formación de la masa muscular en algunos concentrados proteicos destinados a la alimentación de los deportistas. Mayor interés tienen los primeros resultados experimentales que han puesto de manifiesto una cierta actividad inhibidora frente a tumores inducidos químicamente y desarrollados en el colon. Tal efecto saludable se pretende relacionar con la capacidad de esta fracción proteica de la leche para incrementar los niveles de glutatión. Asimismo, se están poniendo de manifiesto otros efectos positivos: estimulación del sistema inmune, reducción de los niveles de LDL-colesterol en sangre o un incremento en la producción de colestistoquinina, implicada en la supresión del apetito.

También hay que hacer referencia a los interesantes resultados de experiencias con leguminosas que han resaltado la actividad de estas fuentes proteicas para regular el metabolismo lipídico. De aquí que se relacione su consumo con ciertos beneficios sobre la diabetes, las enfermedades cardiovasculares o el cáncer. Por ello, se aconseja recuperar las dietas que históricamente han caracterizado a los países mediterráneos, donde las legumbres han tenido siempre un lugar importante.

Algunos de los recientes avances en biomedicina han permitido poner de relieve complejas afinidades entre algunas enfermedades y la alimentación proteica recibida. Sus resultados han llevado a pensar que ciertos *péptidos*, derivados de

ciertas proteínas alimentarias, pueden resultar útiles para el tratamiento de gran número de situaciones patológicas. Se ha podido conocer cómo proteínas de procedencia diversa (leches, pescados, cereales, legumbres, etc.) pueden ejercer ciertas influencias sobre la fisiología del organismo mediante grupos de aminoácidos específicos, contenidos en las secuencias primarias de la cadena polipéptica, que se liberan por la hidrólisis parcial, enzimática o química.

Los péptidos obtenidos a partir de la caseína de la leche de vaca han sido los más estudiados. Hasta hace pocos años, su papel fisiológico se limitaba al de aporte de aminoácidos como nutrientes, pero en 1997 se señaló al sistema micelar caseínico un importante carácter preventivo de una calcificación patológica localizada en las glándulas mamarias. Hasta el momento no ha sido señalado ninguna propiedad fisiológica específica de la caseína total, o de algunas de sus fracciones individuales, pero sí ha ocurrido con varios de los péptidos liberados de sus secuencias aminoácídicas. Aunque sus efectos saludables no están del todo confirmados para la población humana, ya se comercializan en algunos países, como Australia, unos fosfopéptidos de caseína bajo la pretensión de ser agentes anticancerígenos.

Diferentes estudios realizados, en su mayoría *in vitro* y sólo unos pocos *in vivo*, con animales, han puesto de manifiesto que estos tipos de péptidos presentan actividades biológicas muy interesantes:

1. Actividades opioide y antiopioide

El estudio de una posible correlación entre la enfermedad celíaca, o algunas enfermedades mentales, y la alimentación llevó al descubrimiento de los péptidos con actividad opiácea. Su función saludable parece centrarse en el tracto intestinal, donde enaltecen la absorción de agua y de electrolitos; de este modo, ejercen un efecto antidiarreico potente.

Por la actividad mimética de estos péptidos exógenos hacia la morfina, se le ha impuesto el nombre de exorfinas, en oposición al origen de las endorfinas. También suelen presentar un marcado papel en la regulación de la ingesta de alimentos, actividad que puede ser inhibida por una endorfina o por un inhibidor específico de los opiáceos, como la naloxona. Entre todos los péptidos que han sido obtenidos *in vitro* a partir de la caseína, la actividad opioide más intensa parece que corresponde al péptido denominado beta-casomorfina-5.

Asimismo, otras fuentes proteicas (soja, trigo, cebada, maíz y sangre de bovino), también han aportado péptidos con actividad opioide, como por ejemplo los fragmentos 34-37 y 34-38 de la cadena beta de la hemoglobina (denominados respectivamente hemorfinas 4 y 5), y un fragmento del citocromo b mitocondrial (citocrofina-5).

Por el contrario, la digestión de la lactoferrina humana ha dado lugar a péptidos con ciertas afinidades por el receptor de la morfina, que se han revelado como antagonistas de los opiáceos: son las denominadas lactoferrocinas A, B y C, siguiendo su correspondencia con la caseína.

2. Actividad inmunomodulante

Desde siempre era conocido que la leche, y sobre todo el calostro, contenían numerosos factores inmunitarios. En consecuencia, a partir de estudios de digestión enzimática de la caseína se han identificado péptidos con una actividad inmuno-

timulante. La digestión con tripsina de las fracciones alfa-s 1 - y beta-caseínas humanas y bovinas ha proporcionado péptidos que enaltecen la resistencia frente a la infección por algunas bacterias cuando se aplicaron en experiencias con ratones. Se sabe que se incrementa la capacidad fagocítica de los macrofagos, pero todavía no se han podido establecer sus mecanismos de acción. Actualmente se comercializa un glutamín-péptido que alega favorecer, o proteger, el sistema inmune.

3. Actividad transportadora de minerales

Varias caseínas (alfa-s 1, alfa-s2, beta) integran en sus secuencias aminoácidas unidades fosforiladas de la serina. En su proteolisis aparecen los denominados caseinofosfopéptidos, ricos en restos fosforilados y en secuencias repetidas de serina-ácido glutámico, que son capaces de formar complejos solubles con los cationes divalentes aportados por la dieta (calcio, magnesio, hierro, zinc, cobre), favoreciendo su solubilidad y absorción. Esta circunstancia parece indicar que podrían desempeñar un papel positivo importante en la biodisponibilidad del calcio, al impedir que se forme el complejo insoluble de fosfato cálcico. No obstante, la funcionalidad de estos péptidos, en su relación con el transporte activo del calcio y su utilización por el organismo vivo, sigue siendo todavía objeto de bastantes controversias.

4. Actividad antihipertensora

Se conocía que algunos péptidos eran capaces de inhibir la enzima dipeptidil-carboxipeptidasa, capaz de transformar la angiotensina I, que es inactiva, en angiotensina II, considerado como el más potente de todos los vasoconstrictores conocidos.

Al ponerse de manifiesto que tales péptidos se caracterizaban por una cierta presencia de la prolina en el extremo C-terminal, se consideró interesante investigar la hidrólisis de las fuentes de proteínas consideradas ricas en prolina. En efecto, las proteolisis enzimáticas de una gran variedad de ellas, como caseína bovina, gelatina, bonito, sardina, atún, zeína del maíz, glutelina y prolamina del arroz, etc., han proporcionado péptidos que manifiestan una cierta actividad antihipertensiva. Sería de gran interés si se confirmara la utilidad de estos péptidos bioactivos en el tratamiento farmacológico de las personas hipertensas, pero todavía queda por demostrar no sólo su eficacia, sino también la seguridad de su empleo.

Una de las posibles metodologías a seguir para la obtención de estos péptidos a partir de las proteínas alimenticias tiene como base las actividades proteásicas inherentes a los procesos de fermentación, que están implicados en la fabricación de algunos alimentos. Por ello, no resulta aventurado pensar que los productos alimenticios fermentados, que son consumidos de modo habitual, puedan aportar algún que otro péptido bioactivo; sin embargo en la práctica, todavía se ignoran los posibles efectos sobre las funciones fisiológicas de los seres humanos.

Para las personas sanas alimentadas con dietas variadas, la ingestión de estos péptidos podría representar una eficaz ayuda para mantener en buen estado sus sistemas digestivo, nervioso e inmune. A pesar de todo, queda todavía por demostrar si la presencia deliberada en la dieta de estos péptidos significaría una ayuda potencial para superar algunas condiciones patológicas.

También, los *aminoácidos* aportados por la alimentación han sido objeto de

investigaciones acerca de posibles efectos beneficiosos en el tratamiento de situaciones patológicas. Los datos experimentales acerca de la actividad terapéutica ejercida por algunos aminoácidos en ciertos casos de enfermedades y lesiones son bastante evidentes.

Bajo condiciones de estrés fisiológico, como puede ser una herida importante, niveles elevados de aminoácidos no polares de cadena ramificada (leucina, isoleucina, valina) parecen facilitar una mejor cicatrización, aunque todavía no haya podido ser aclarado el mecanismo implicado en ello.

La glutamina tiene reconocido un papel importante en el mantenimiento de la integridad del tracto intestinal, tanto en personas sanas como enfermas: una carencia de glutamina en la dieta puede implicar cambios degenerativos en la mucosa intestinal, con la consiguiente malabsorción de los nutrientes; además, esta circunstancia resulta particularmente peligrosa en el caso de enfermos crónicos, en los que hay que evitar el riesgo de paso de las bacterias entéricas a la sangre.

Los aminoácidos que tienen la capacidad de atravesar la barrera cerebral (aspártico, glutámico, fenilalanina, tirosina y triptófano) pueden influir en la función del sistema nervioso central, al promover la formación de los neurotransmisores: serotonina, dopamina, norepinefrina y epinefrina. En tal sentido, se sabe que los niveles cerebrales de estos aminoácidos se relacionan de modo muy estrecho con la composición aminoacídica de la dieta, que de este modo modula diversos procesos fisiológicos y psicológicos, entre ellos el estado mental y el comportamiento de los individuos.

Algunas experiencias han demostrado que la ingestión excesiva de algunos aminoácidos durante periodos prolongados, puede significar una amenaza para la salud. De aquí la necesidad de actuar con bastante cautela cuando se trate de aconsejar tratamientos con preparados aminoacídicos, si se actúa de un modo responsable.

Agentes probióticos

Se admite que la población microbiana del tracto intestinal es importante para la salud del organismo que la contiene. El crecimiento y metabolismo de muchas especies bacterianas que lo habitan depende de los sustratos disponibles que le llegan, procedentes la mayor parte de las veces de los alimentos ingeridos. Puede afirmarse que, desde el punto de vista metabólico, el colon humano es uno de las zonas más activas, pues su población microbiana completa la digestión de los alimentos mediante procesos fermentativos, que sirven de protección frente a las bacterias patogénicas y de estímulo al desarrollo del sistema inmune. Por ello, queda justificado el intento actual de incidir en la composición microbiota del intestino grueso, así como en su actividad metabólica, mediante el uso de alimentos que llevan incorporados microorganismos vivos capaces de provocar tales efectos.

De este modo ha surgido el concepto de *agentes probióticos*, que se definen como «el suplemento alimenticio de microorganismos vivos, que de modo beneficioso afecta al organismo que los ingiere al mejorar el equilibrio microbiano intestinal».

Se trata de cultivos de microorganismos no patogénicos ni toxigénicos, que sobreviven a su paso por el tracto gastrointestinal y mejoran de modo temporal los

beneficios propios de la población microbiana normal del intestino. Las especies mejor conocidas son las bacterias acidolácticas y las bifidobacterias, que la industria alimentaria actual utiliza en la comercialización de diversos productos lácteos fermentados, aunque en ocasiones también se incluyen algunas levaduras como las del género *Saccharomyces*.

De todas ellas, las bifidobacterias reclaman un interés muy particular. Son muy abundantes en el colon de los niños lactantes, pero no en las personas adultas, y corresponden a microorganismos anaeróbicos polimórficos que desempeñan un papel importante en la digestión de los carbohidratos de la dieta, con una intervención muy directa en el metabolismo del organismo que los contiene. Además, algunas especies y cepas pueden sintetizar y excretar vitaminas hidrosolubles.

Es frecuente que los agentes probióticos elegidos para la alimentación humana sean microorganismos productores de ácido láctico. De todas formas, para presentar una buena estabilidad metabólica es importante que sean cuidadosamente seleccionados en cada caso, de acuerdo con los criterios recogidos en la Tabla 11.2.

Además de la aplicación de estos criterios, sería necesario disponer de la confirmación de sus efectos mediante experiencias, tanto *in vivo* como *in vitro*. La mayoría de los estudios sobre probiosis están basados en observaciones, más que en consideraciones mecanísticas y, por ello, muchos procesos responsables de los fenómenos probióticos raramente disponen de una correcta explicación.

Hace ya muchos años que las bacterias acidolácticas son consideradas como una fuente de metabolitos que permiten solucionar algunos desarreglos intestinales. Se admite que las bacterias probióticas, ejercen una actividad reguladora de la población microbiana intestinal, enaltecen las defensas intestinales naturales y previenen algunas enfermedades infecciosas. Uno de los mecanismos que intervienen

Tabla 11.2

Criterios de selección aplicables a los agentes probióticos

Aspecto general

- Origen de la cepa.
- Seguridad.
- Supervivencia, tanto durante el proceso de elaboración y comercialización, como después de ser ingeridos.
- Viabilidad.

Aspectos tecnológicos

- Características de su producción.
- Tecnología del procesado.
- Propiedades sensoriales.

Aspectos funcionales

- Propiedades microbiológicas.
 - Efectos sobre el consumidor.
 - Posible patogenicidad.
 - Regulación de la actividad metabólica.
 - Efectos inmunorreguladores.
-

Tabla 11.3
Microorganismos usados como agentes probióticos

<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	<i>B. breve</i>
<i>B. bifidum</i>	<i>B. infantis</i>
<i>B. longum</i>	<i>Enterococcus faecium</i>
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>L. bulgaricus</i>
<i>L. casei</i>	<i>L. cremoris</i>
<i>L. gasseri</i>	<i>L. lactis</i>
<i>L. rhamnosus</i>	<i>Saccharomyces boulardii</i>
<i>S. cerevisiae</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>

en estos efectos es consecuencia de la fijación de los agentes probióticos al epitelio intestinal, que determina su capacidad para modificar su reactividad inmunológica. Sin embargo, esta capacidad de fijación no es una propiedad universal a todas las especies, pues algunas de ellas se adhieren muy pobremente a la pared del intestino. Esto explica que no todos los lactobacilos hayan sido eficaces para combatir los efectos de los microorganismos patógenos entéricos. Hasta el momento las bacterias y levaduras empleadas por la industria alimentaria como agentes probióticos corresponden a las incluidas en la Tabla 11.3

Por consiguiente, sus efectos sobre la salud deben ser evaluados para cada cepa por separado. Posiblemente, los resultados negativos obtenidos en algunas experiencias se deban a la ignorancia de este hecho, circunstancia que hace necesaria una revisión del tema. No obstante, en la Tabla 11.4 se incluye una relación de los beneficios saludables puestos de manifiesto por los resultados disponibles.

Tabla 11.4
Relación de los diversos efectos beneficiosos señalados para el uso de algunos agentes probióticos

- Promoción del crecimiento, experimentado en ratas y pollos.
- Producción de algunas vitaminas: tiamina, riboflavina, niacina, B₁₂ y ácido fólico.
- Incremento de la absorción intestinal de minerales.
- Reducción de la población patógena como consecuencia de la producción de acético, láctico y bactericinas.
- Mejora de la intolerancia a la lactosa, propiciada por el *Lactobacillus acidophilus*.
- Supresión de sistemas enzimáticos potencialmente nocivos, asociados al desarrollo de cáncer de colon, en experiencias con animales.
- Regulación de la población microbiana intestinal después de la ingestión de antibióticos o del padecimiento de problemas gastrointestinales severos.
- Alivio de la constipación intestinal.
- Reducción de los niveles séricos de colesterol.
- Efecto inhibitor frente a la actividad mutagénica de algunas sustancias.

Efectos saludables de los ácidos grasos insaturados

Los conocimientos acerca de los aspectos biológicos de los ácidos grasos insaturados han mejorado gracias a dos circunstancias favorables: *a)* el perfeccionamiento de los métodos analíticos para su identificación y cuantificación; *b)* a los resultados proporcionados por diversos tipos de estudios: epidemiológicos, investigaciones clínicas, experiencias con animales y trabajos con cultivos celulares.

Con ello, se ha producido un cambio de mentalidad en lo que respecta a la consideración de las relaciones entre la salud y las enfermedades atribuida a los ácidos grasos aportados por la dieta. En consecuencia, son varios los hechos que hoy día centran de modo principal el interés científico:

- Averiguar si los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la serie omega-6 consiguen rebajar el HDL-colesterol (un efecto no pretendido), cuando anteriormente sólo preocupaba si rebajaban el LDL-colesterol (que sí es un efecto deseable).
- Detectar la presencia de formas *trans* en las estructuras insaturadas de aquellos aceites que han sido sometidos a procesos de hidrogenación.
- Conocer las proporciones entre los AGPI de ambas series, omega-6 y omega-3, aportados por las dietas.
- Confirmar la esencialidad de los AGPI omega-3, así como sus efectos sobre diversas enfermedades: hipertensión, insuficiencia coronaria, diabetes mellitus no dependiente de la insulina, desórdenes inflamatorios o antiinmunes y, posiblemente, cáncer.

Hasta el momento presente, diversos estudios han puesto de manifiesto una funcionalidad biológica de los ácidos grasos insaturados dietarios, que se traduce en diversos efectos saludables: incidencia sobre los lípidos séricos, agregación plaquetaria, formación de trombos, inflamación, comunicación intercelular, expresión genética, etc.

Por otra parte, se ha llegado a conocer que son tres los factores estructurales responsables de estas funciones biológicas saludables:

- a)* La longitud de la cadena.
- b)* El grado de saturación.
- c)* La localización del primer doble enlace, que da lugar a las series omega-3 y omega-6.

Ya en 1965-67 se puso de manifiesto que la ingestión de ácidos grasos saturados (AGS) tenían la tendencia a elevar los niveles del colesterol sérico y veinte años más tarde se observó que su sustitución por ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) daba lugar a una reducción de los niveles del LDL-colesterol.

Al admitirse que los AGS provocaban una mayor concentración del colesterol en sangre, se aconsejó la reducción de la ingesta en grasas de origen animal, por lo general más ricas en estos ácidos grasos, y sustituirlas en gran parte por margarinas y grasas concretas. Sin embargo, ha quedado demostrado el error dietético de esta medida, porque su posible contenido en estructuras insaturadas *trans* como conse-

cuencia de las manipulaciones tecnológicas podía representar todavía un doble inconveniente:

- El organismo confunde los ácidos grasos insaturados con estructuras *trans* y los toma como si fueran saturados.
- Se ha demostrado que las insaturaciones *trans* elevan los niveles sanguíneos de HDL-colesterol y de lipoproteína-(a), esta última con propiedades aterogénicas y trombogénicas.

Por otra parte, se admite cada vez con mayor fundamento, que el ácido esteárico (18:0) convertido en nuestro organismo en ácido oleico (18:1) no eleva el nivel de colesterol, aunque sí pueda tener propiedades trombogénicas. Por esta razón, debe ser más bien escasa su presencia en las dietas de aquellas personas que adolezcan de una predisposición a las enfermedades coronarias.

En cambio, no debe restringirse el aporte de los ácidos grasos monoinsaturados porque, cuando la dieta no los suministra en cantidad suficiente, entran en acción los sistemas enzimáticos desaturasa para originarlos a partir de los saturados. El principal aceite comestible que contiene una mayor riqueza en oleico, es el aceite de oliva, seguido de los aceites de cacahuete y de girasol. En favor de su consumo, se ha comprobado que las propiedades saludables exhibidas por el aceite de oliva superan a las observadas para el ácido oleico puro. No obstante, se ha insinuado como posible que las ventajas presentadas por las grasas comestibles se deban a la presencia de otros componentes, que como el escualeno añade propiedades antiinflamatorias.

Algo semejante ocurre con el aceite de germen de arroz, que por su perfil de ácidos grasos y su contenido en potentes antioxidantes resulta más estable ante la fritura que otros aceites vegetales comunes. Su riqueza en oleico se sitúa alrededor del 40 % y ha demostrado rebajar el colesterol, tanto el total como el LDL-colesterol, aunque algunos investigadores atribuyen dichos efectos a componentes químicos de su fracción no saponificable.

En relación con la salud, los ácidos grasos insaturados no deben ser considerados, simplemente, por los efectos sobre los niveles de colesterol, sino también por su actividad sobre la agregación plaquetaria y el metabolismo de prostaglandinas y leucotrienos, además de otras funciones celulares. En este sentido hay que resaltar el papel de los AGPI, pero de modo especial la del ácido alfa linolénico (AAL), que inicia la serie de los omega-3. De acuerdo con las publicaciones científicas, los efectos biológicos relacionados con sus propiedades saludables resultan bastante numerosos, tal como se recogen en la Tabla 11.5. Una de las ventajas atribuidas a las acreditadas dietas de los países mediterráneos radica en su rica aportación de este ácido graso, cuya suplementación en un caso de deficiencia clínica permitió resolver los síntomas de una patología neurológica. Además, la ingestión de AAL con la dieta lleva consigo un efecto potencial antitrombogénico. Su propiedad de inhibir la proliferación linfocítica en animales, así como la respuesta inmune obtenida con personas sanas, ha hecho pensar en otros posibles efectos saludables derivados de una mayor ingestión dietética de AAL, efectos que será beneficioso de modo particular para aquellos individuos que presenten desórdenes inmunitarios.

En la práctica, son muchos los efectos saludables atribuidos a una adecuada presencia de este ácido graso esencial en la dieta humana. La cantidad de AAL que se

Tabla 11.5

Efectos biológicos saludables atribuidos al ácido graso poliinsaturado alfa linolénico (C18:3, ω -3)

-
- Modulación de la síntesis y metabolismo de los compuestos eicosenoides derivados del ácido araquidónico.
 - Reducción de la producción de leucotrienos de la serie 4.
 - Contribución al *pool* total de los precursores lipogénicos de la síntesis lipídica cerebral.
 - Alivio de síntomas neurológicos clínicos, como parestesia, visión borrosa o entumecimiento.
 - Protección frente a los infartos de miocardio y enfermedades cardiovasculares.
 - Reducción de la tensión arterial y rebaje de los niveles plasmáticos de triglicéridos y colesterol.
 - Restricción de la mortalidad por el cáncer.
 - Potenciales efectos antiarrítmicos y antitrombogénicos.
 - Impide la proliferación de linfocitos con beneficio para las personas con desórdenes inmunológicos.
 - Retraso en el crecimiento de tumores.
 - Actividad antimalaria y antiparasitaria.
 - Esencial para un óptimo desarrollo neurológico en humanos.
-

ingiere con la dieta puede ser convertida en AEP y ADH a través de una cadena de reacciones de desaturación y elongación, según se ha demostrado en experiencias realizadas con AAL deuterado, y que pueden tener lugar tanto en el hígado como en los leucocitos.

Hay que señalar como relevante la participación del ADH en la formación de los fosfolípidos de las membranas de todas las células que consumen ácidos grasos ω -3 y representa uno de los componentes principales de los lípidos de los tejidos que constituyen el cerebro. Por consiguiente, cualquier incremento en el consumo dietético de AAL tendrá su reflejo importante en los niveles de ADH exigidos para cubrir las necesidades humanas.

No están aclarados todos los mecanismos por los cuales el ácido alfa linolénico produce algunos de sus efectos saludables señalados. Sin embargo se conoce que las enfermedades coronarias, la hipertensión, la diabetes, la artritis, la psoriasis y la colitis ulcerosa son situaciones patológicas caracterizadas por presentar niveles elevados de prostaglandinas y de leucotrienos, productos del metabolismo del ácido ω -6 araquidónico (AA), un ácido graso que nuestros alimentos suelen contener en cantidades relevantes.

Por tanto, la ingestión excesiva de AA puede conducir a situaciones protrombóticas y proinflamatorias. Sin embargo, su presencia puede ser compensada con la ingestión abundante de grasas de pescados, ricas en AGPIs ω -3, porque tales ácidos son preferidos por las enzimas desaturasas, que actúan en las respectivas cadenas de reacciones de los ω -6 y ω -3.

Se ha observado en modelos animales que los AGPI ω -3 tienen la capacidad de inhibir el metabolismo del ácido linoléico (ω -6) a través de la cadena de reacciones de desaturación y elongación, con el resultado de ofrecer unos niveles plasmáticos y tisulares de ácido araquidónico más reducidos. A esto se puede añadir que los

metabolitos de omega-3 y de omega-6 presentan funciones competitivas, y los primeros reemplazan a los segundos en los fosfolípidos de las membranas de casi todas las células. Asimismo, los ácidos AAL y AEP pueden modular la síntesis y metabolismo de los compuestos eicosanoides derivados del AA, favoreciendo la formación de los eicosanoides que derivan del AEP.

En la práctica, se ha comprobado que los compuestos eicosanoides, que proceden de la serie omega-3, difieren biológicamente de los que proceden de la serie omega-6, habiéndose estudiado varios de sus efectos sobre situaciones patológicas (Tabla 11.6). Se ha visto que rebajan los niveles de triglicéridos, favorecen la distribución del colesterol en proteínas no aterogénicas, reducen la agregación plaquetaria al provocar una reducción del tromboxano A_2 , reducen la presión sanguínea, parece que previenen, o disminuyen, el desarrollo de arritmias, etc. En consecuencia, la ingestión de ácidos omega-3 lleva a situaciones fisiológicas caracterizadas por la producción de compuestos con propiedades antiinflamatorias, anti-trombóticas y antivasoconstrictivas.

Por todo ello, los cambios que aparezcan, tanto en la estructura de los ácidos grasos, como en la relación de ácidos omega-6/omega-3 proporcionada por la dieta, pueden representar una incidencia adversa para la salud. De siempre, se ha hablado de los ácidos grasos poliinsaturados, desde el punto de vista dietético, como un grupo único; sin embargo, parece más conveniente considerar por separados los de la serie omega-3 (ácido linolénico, eicosapentaenoico, docosapentaenoico y docosahexaenoico) y los de la serie omega-6 (linoléico, araquidónico y docosapentaenoico), puesto que compiten tanto en el metabolismo eicosanoide, como por la posición en las membranas celulares.

Durante siglos, la alimentación humana ha proporcionado cantidades equivalentes de omega-6 y de omega-3, circunstancia importante porque ambos son esenciales para el desarrollo y crecimiento del organismo humano. Pero la dieta actual suele ser desproporcionadamente más rica en ácidos omega-6 que en omega-3 (20-30:1), por lo que se recomienda ingerir menos de aquellos alimentos que, por su contenido en linoléico, favorecen la ingesta de los omega-6. Hay que tener en cuen-

Tabla 11.6

Formación de compuestos eicosanoides a partir de AGPI ω -3 y ω -6 y efectos saludables de los mismos

AGPI	Eicosanoide	Efectos saludables
Eicosapentaenoico (AEP, 20:5, ω -3)	Tromboxano A_3 (TBX A_3)	Débil efecto sobre la agregación plaquetaria y contracción de los vasos sanguíneos.
	Prostaciclina I_3 (PGI ₃)	Inhibición de la agregación de plaquetas.
Araquidónico (AA, 20:4, ω -6)	Tromboxano A_2 (TBXA ₂)	Fuerte estímulo de la agregación de plaquetas y contracción de los vasos sanguíneos.
	Prostaciclina I_2 (PGI ₂)	Inhibición de la agregación de plaquetas y relajación de los vasos sanguíneos.

ta que las técnicas agropecuarias, con su énfasis en la mejora de la producción de alimentos, han provocado una reducción del porcentaje de ácidos grasos omega-3 en muchos alimentos actuales.

Un aceite muy rico en este ácido es el de linaza, semilla del lino que se cultiva ampliamente en el Canadá y se exporta a EE UU, Europa y Japón. Sus aplicaciones en la industria alimentaria ha tenido el inconveniente de su rápida oxidación, problema que se ha resuelto en gran parte mediante la tecnología de la microencapsulación, por lo que se va abriendo mercado en la inclusión de diversos sistemas alimentarios y en la elaboración de nuevos productos con beneficios saludables.

Propiedades saludables de algunos carbohidratos

Entre las diferentes estructuras de carbohidratos que toman parte de la composición de los alimentos existen cuatro grupos de ellas a las que se les ha vinculado con alguna propiedad saludable: 1) el almidón de arroz, 2) los oligosacáridos no digeribles, que actúan como sustancias prebióticas, 3) los oligosacáridos hipoenérgicos, usados como sustitutos de la sacarosa, 4) los polisacáridos no almidonados, que forman la denominada fibra dietética, en sus dos variedades de solubles e insolubles.

Almidón de arroz

El arroz es un cereal que ofrece diversas variedades, algunas de las cuales se caracteriza por disponer de granulos de almidón con una digestibilidad en el tracto intestinal bastante lenta y, por tanto, dan lugar a una respuesta glucémica reducida después de su ingestión. Se sospecha que este comportamiento ante los enzimas digestivos pueda ser debido a la propia estructura de la amilosa presente, o tal vez mejor al complejo que forma la amilosa con algunas estructuras lipídicas.

Por consiguiente, el almidón de arroz podrá ser considerado como un buen ingrediente para la producción de «alimentos para la salud» o nutracéuticos según la variedad de la que procede. Sin duda que los productos alimenticios elaborados con este almidón de arroz, ofrecerán la ventaja de proporcionar un bajo índice glucémico, beneficioso para las personas diabéticas y para los atletas.

No cabe duda que el consumo de productos a base de este tipo de almidón, que se digiere con cierta lentitud, resulta de gran importancia para aquellos deportistas que necesitan mantener niveles adecuados de glucosa en sangre durante prolongadas etapas de ejercicios físicos. Con ello consiguen obtener de modo continuado la energía necesaria para realizar las oxidaciones metabólicas.

Por otra parte, el pequeño tamaño de sus granulos convierte al almidón de arroz en un ingrediente muy útil como alternativa al empleo de grasas en alimentos hipocalóricos.

Sustancias prebióticas

Un problema que se ha presentado con el empleo de alimentos que incorporan agentes probióticos ha sido la supervivencia de esos microorganismos una vez que se encuentran en el tracto gastrointestinal. El intestino está colonizado por una población microbiana muy diversa desde un punto de vista metabólico y, en consecuencia, después de un cierto periodo de tiempo las condiciones no son favorables para los agentes probióticos incorporados con los alimentos, que terminan por desaparecer.

Como una alternativa a esta situación se ha propugnado el empleo de sustancias denominadas *prebióticas*, estructuras que se caracterizan por las propiedades siguientes:

- No ser degradadas por las enzimas gastrointestinales, por lo que escapan de la digestión en el intestino delgado y, de este modo, llegan íntegras al intestino grueso.
- Ser sustrato exclusivo de fermentaciones por las bacterias probióticas y estimular de modo selectivo su crecimiento y/o su actividad.

En cierto modo, cualquier ingrediente no digerible de la dieta, con capacidad para llegar hasta el colon, podría actuar como un posible prebiótico. Sin embargo, la eficacia de tales compuestos radica en la selectividad de su capacidad de ser fermentados, de tal modo que su presencia puede modificar la composición microbiana del intestino grueso hacia una comunidad microbiana potencialmente más favorable.

Las estructuras químicas presentes en los alimentos que mejor responden a estos criterios son las de algunos oligosacáridos, es decir, sustancias por lo general de bajo peso molecular, que toman parte de la composición natural de achicorias, alcachofas, ajos, cebollas, puerros y, en menor extensión, los cereales. También la industria alimentaria emplea un oligosacárido de cadena larga y un grado de polimerización elevado (>30), la inulina, para la elaboración de yogures con agentes probióticos.

No todos los oligosacáridos no digeribles presentan propiedades prebióticas, pero hasta el momento se pueden citar los siguientes, cuyos efectos han sido comprobados en diversas pruebas:

- *Derivados de glucosa*. Malto- e isomalto-oligosacáridos.
- *Derivados de fructosa*. Fructo-oligosacáridos, presentes en achicorias y alcachofas, considerados como los mejores promotores del crecimiento de las bifidobacterias, aunque otras bacterias intestinales también puedan usarlos como sustratos de su metabolismo.
- *Derivados de la galactosa*. Galacto-oligosacáridos, presentes en la leche de vaca, así como rafinosa y estaquiosa que son los carbohidratos principales de las legumbres, en particular alubias y guisantes.
- *Derivados de la lactosa*. Lactitol, lactosacarosa y lactulosa, muy usada esta última para la elaboración de algunos alimentos infantiles.

En un principio, los fructo-oligosacáridos fueron empleados en la elaboración de alimentos hipocalóricos como sustitutos de la sacarosa: bebidas blandas, cereales para el desayuno, galletas, etc. Pero con posterioridad se pudo comprobar que como consecuencia de su ingestión aparecían unos nuevos efectos beneficiosos, en

el ámbito de los agentes prebióticos, comprobados en los seres humanos: su consumo incrementaba la población de bifidobacterias en el colon, a la vez que decrecían los clostridios y los bacteroides, sin modificación en los recuentos de lactobacilos, coliformes y cocos Gram-positivo.

En la bibliografía se pueden encontrar trabajos que hacen referencia a numerosos efectos saludables de los oligosacáridos no digeribles, como consecuencia de los efectos fisiológicos que son capaces de provocar. Entre ellos caben destacar los siguientes:

- Enaltece la resistencia ante una posible invasión de bacterias patógenas al promover el desarrollo de las bacterias lácticas y las bifidobacterias en el intestino grueso.
- Potencialmente útiles para la alimentación de diabéticos al no ser carbohidratos glucémicos.
- Resistencia a las infecciones al estimular la función inmune de modo inespecífico.
- Propiedades anticancerígenas al modular el metabolismo carcinogénico.
- Evita el desarrollo de enfermedades coronarias al reducir los niveles de triacilglicerolos séricos y la síntesis hepática del LDL-colesterol.
- Previene del desarrollo de osteoporosis al incrementar la absorción intestinal del Mg y el Ca de la dieta.

Oligosacáridos hipoenergéticos

Hace años que se vive con cierta preocupación, en relación con la salud, por la presencia en la dieta de algunos carbohidratos específicos. Entre ellos sobresale la sacarosa, cuyo uso abundante puede favorecer la obesidad o el desarrollo de la caries dental, además de no resultar aconsejable para las dietas de diabéticos. Sin embargo, la alternativa de usar edulcorantes artificiales no energéticos, lleva consigo problemas tecnológicos, prácticamente insuperables; de aquí, que hayan sido muchos los intentos de sustituirlos por otras estructuras, más o menos relacionadas con los hidratos de carbono. Así, en los últimos años, y principalmente en el Japón, se han propuesto nuevos tipos de mono- y oligosacáridos, capaces de sustituir la sacarosa con resultados positivos.

Para que estos compuestos puedan ser empleados como sustitutos de la sacarosa en los alimentos procesados deben responder a una cualidad importante:

- Ser lo más parecido posible al disacárido, tanto en su poder edulcorante, como en el volumen molecular que aportan.

Sin embargo, en la práctica, todos difieren bastante en sus propiedades fisiológicas. El conjunto de alimentos en los que puede ocurrir esta posibilidad de sustitución es muy grande: bebidas blandas, caramelos, chocolates, cremas, mermeladas, frutas confitadas, puddings, etc.

La mayoría de las alternativas estudiadas responden a estructuras químicas que, de hecho, se pueden encontrar como componentes naturales de productos alimenticios de origen vegetal, aunque también abundan aquellas que se obtienen a partir de otros carbohidratos como sacarosa, lactosa, glucosa o almidones, empleando

enzimas bacterianas específicas. Al aumentar su peso molecular ofrecen un poder edulcorante más débil y un sabor dulce más suave.

Existen oligosacáridos que no se digieren completamente en el intestino delgado, pero en el alimento sí aportan volumen de manera semejante a la sacarosa: xilo-oligosacáridos, galacto-oligosacáridos o mezclas comerciales de fructo-oligosacáridos; también galactosil-lactosa, maltitol, lactitol, eritritol, etc. Todos ellos escapan a la digestión y alcanzan el intestino grueso, donde pueden ser fermentados por las bacterias intestinales, dando lugar a CO_2 , CH_4 , H_2 y ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico, butírico, etc.), que pasan directamente a la circulación portal y son metabolizados en el hígado.

En estos casos, resulta difícil evaluar la energía utilizable que proporcionan, al no ser posible averiguar las cantidades de ácidos formadas en la fermentación intestinal. Después de haber aplicado varios tipos de ecuaciones al cálculo de la estequiometría de la fermentación, se admite que la energía disponible proporcionada por cada gramo de tales oligosacáridos es de 2 Kcal o 8,4 Kj.

No obstante, se ha encontrado que el eritritol, sintetizado a partir de glucosa por cultivos de la levadura mutante *Aureobasidium* sp, así como algún otro oligosacárido, aparecen en la orina una vez absorbidos sin que hayan sido metabolizados. Por consiguiente, estos tipos de compuestos no proporcionan la energía esperada.

La ingestión de grandes cantidades de estos sacáridos no digeribles, o parcialmente absorbibles, pueden ocasionar diarreas, o al menos, distensión abdominal y flatulencias.

Todas estas sustancias, propuestas como alternativa al empleo de la sacarosa, pueden resultar ingredientes idóneos para los alimentos destinados a personas con algunos problemas clínicos: diabéticas obesas, enfermos coronarios, o simplemente para la prevención de la caries dental. Por ello, es muy conveniente que, antes de su aprobación para la industria alimentaria, se confirme tanto la seguridad de su empleo como lo que concierne a sus efectos saludables.

Polisacáridos no almidones o fibra dietética

Desde hace varios años, la denominada fibra dietética ha sido objeto de numerosos estudios sobre sus efectos bioquímicos y fisiológicos: incidencia sobre los metabolismos de hidratos de carbono y de lípidos; posible relación con los desórdenes gastrointestinales; papel desarrollado en el cáncer de colon, etc.

Hasta el momento presente, la evidencia científica acumulada ha puesto de relieve que la ingesta de fibra se relaciona, de modo directo, con el normal funcionamiento del tracto digestivo. Más aún, se han obtenido resultados que indican ciertos efectos beneficiosos sobre el constipado intestinal y el síndrome de intestino irritado. Así, algunos pacientes han mejorado el volumen y textura de sus deposiciones como consecuencia de incluir en su alimentación determinados tipos de fibra. En cambio, otros estudios clínicos sobre el tratamiento con fibra de la irritación intestinal, han ofrecido resultados en todos los sentidos: desde conseguir un alivio de los síntomas, hasta casos de exacerbación de los mismos, haciendo difícil una valoración de la eficacia del tratamiento. De acuerdo con los conocimientos disponibles, hay que proceder con cautela y no generalizar sobre la naturaleza preventiva y terapéutica de la fibra.

En este sentido, adquiere especial relevancia la necesidad de especificar las fuentes de las fibras alimentarias que se utilizan, porque son las determinantes de su naturaleza química y de sus efectos sobre la salud, es decir, de su funcionalidad.

Lo primero que debe ser tenido en cuenta cuando se habla de la funcionalidad saludable de la fibra es reconocer que se trata de un componente químico no uniforme, puesto que consiste en una mezcla de sustancias orgánicas complejas en las que cada una de ellas manifiesta sus particulares propiedades físicas y químicas.

De un modo bastante general, la *fibra dietética* puede ser definida como «el conjunto de polisacáridos alimentarios que resisten a la acción hidrolítica de las enzimas digestivas propias del tracto gastrointestinal».

Sus principales componentes suelen ser los materiales que integran las paredes celulares de muchos vegetales (celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas, lignina, etc.), además de otras sustancias empleadas como aditivos alimentarios (mucílagos, gomas, polisacáridos de algas y polisacáridos de origen microbiano). Por este motivo, se ha propuesto que el nombre de *polisacáridos no almidones* como denominación más correcta. No obstante, bajo esta nueva nomenclatura también deben ser incluidos los almidones modificados, que debido a un procesamiento específico resisten la acción de las enzimas digestivas y, al no poder ser absorbidas, alcanzan el intestino grueso.

En un intento de clarificar el concepto de fibra dietética, muchos científicos han optado por definir cada tipo de fibra individual en función de sus propiedades físicas. En este sentido, una característica discriminante empleada es el factor solubilidad que permite distinguir dos grupos bien definidos: la fibra *soluble*, capaz de formar soluciones viscosas, y la fibra *insoluble*.

En la práctica, resulta una distinción interesante porque muchos de los efectos fisiológicos atribuidos a las fibras se basan en esta propiedad: las fibras solubles son fermentables en alto grado y se asocian a los metabolismos de los carbohidratos digeridos y de los lípidos, en tanto que las fibras insolubles contribuyen al bolo fecal y reducen los tiempos de tránsito intestinal. Para el buen funcionamiento del colon no sólo cuenta la cantidad de fibra aportada por la dieta que llega a este nivel intestinal, sino también desempeña un papel relevante el tipo de fibra, de acuerdo con su composición y estructura química, que van a ser determinantes de su digestibilidad y su capacidad fermentativa por las bacterias del colon.

Se consideran fuentes importantes de fibra insoluble, en primer lugar, el salvado de trigo y, después, el salvado de arroz, rico en los dos tipos de fibras. El primero puede contener un 15-24 % de celulosa y un 5-10 % de lignina, mientras que el segundo ofrece como fibra insoluble una fracción celulósica, que se combina con otra fracción de fibra soluble, en forma de hemicelulosa.

Un factor clave para que un polisacárido pueda actuar como fibra insoluble es la inalterabilidad de su estructura, que se complementa con la capacidad de enlazar agua. Con respecto al salvado de trigo se ha subrayado que este agua enlazada permanece asociada a la fibra y de este modo contribuye al volumen fecal en un 48 %, frente al agua simplemente atrapada (agua libre) que viene a ser de un 22 %. Estos efectos se reducen cuando decrece el tamaño de las partículas de salvado, que nunca debe ser inferior a las 500 mieras. En cambio, no están muy claros los efectos de la cocción culinaria sobre la actividad favorable del salvado de trigo.

Son varios los desórdenes fisiológicos intestinales que se han asociado a una ingesta escasa de fibra insoluble: constipación, diverticulosis y síndrome de colon

irritable. Además, existen investigadores que asignan al consumo habitual de fibra insoluble un efecto inhibitor de los tumores cancerosos de colon y de mama.

También la fibra soluble ha demostrado una acción reguladora de las funciones del colon, aunque por mecanismos diferentes a las insolubles: primariamente aumenta el peso fecal, a la vez que incrementa la masa bacteriana y el volumen gaseoso contenido en el intestino. Pero a su vez se han señalado otros efectos muy beneficiosos como puede ser reducir la respuesta glucémica y rebajar los niveles de LDL-colesterol, sin que prácticamente se modifiquen los de HDL-colesterol.

Se considera fibra soluble a la aportada por muchos productos vegetales tales como el salvado de algunos cereales (arroz, cebada y sobre todo avena), las verduras y las frutas, que corresponden a estructuras polisacáridas capaces de ser ampliamente degradadas por las bacterias del colon dando lugar a toda una serie de sustancias que permiten el crecimiento de la población microbiana.

Dentro de este tipo de polisacáridos se pueden citar las hemicelulosas del salvado de arroz, las sustancias pécticas de muchas frutas o los beta-glucanos del salvado de avena. Todos presentan la particularidad de ser solubles y formar soluciones viscosas, además de tener una gran capacidad de enlazar iones y otros componentes, aunque estas propiedades enlazantes varían según la estructura de la fibra.

Las fibras dietéticas que no son digeridas a nivel de intestino delgado, aportan al bolo fecal unos contenidos sólidos que modifican su medio ambiental físico. Al continuar su paso por el intestino, parte de esta fibra puede formar pseudosoluciones, según su estructura, con aumento de la viscosidad del medio que altera la reología propia del lumen.

Precisamente, la propiedad más importante de los beta-glucanos de la avena radica en su capacidad para incrementar la viscosidad del contenido intestinal y experimentar una rápida fermentación por las bacterias que habitan en el intestino grueso. Cuando el contenido del lumen aumenta su viscosidad se modifican el mezclado de su contenido y el transporte a través de la pared intestinal.

En la práctica, no resulta posible establecer una correlación significativa entre los efectos fisiológicos de la fibra ingerida y las propiedades físicas de los polisacáridos individuales. Ello se debe a las mezclas de polisacáridos, difícil de predecir, que se suelen producir en los tejidos vegetales usados como fuentes de la fibra dietética.

Beneficios saludables de sustancias con actividad antioxidante

En estos últimos años existe una clara insistencia para que la población vuelva a lo que se denomina de modo genérico «dieta mediterránea», que se caracteriza por un elevado consumo de alimentos de origen vegetal, de modo principal verduras y frutas. Entre otras cosas, muchos de los efectos beneficiosos para la salud de tales alimentos es su contenido en sustancias (algunas de ellas vitaminas), que en el organismo desempeñan funciones antioxidantes: ácido ascórbico, carotenos, fla-

vonoides, isoflavonas, licopeno, luteínas, órgano sulfurados, tocoferoles, tocotrienoles, ubiquinonas, cobre y manganeso. Sus principales fuentes de origen vegetal se recogen en la Tabla 11.7

Algunas de estas fuentes vegetales de antioxidantes han demostrado ser bastante potentes y eficaces. En 1994 se demostró que los antioxidantes contenidos en el salvado de arroz eran tan eficaces a concentraciones de 500 ppm (dentro de los límites permitidos por la legislación), como una mezcla de 200 ppm de los antioxidantes artificiales BHA-BHT. También ha sido comprobado que las isoflavonas contenidas en la soja, así como los productos de su metabolismo, pueden actuar como antioxidantes evitando el desarrollo de la aterosclerosis.

Las funciones saludables de todos estos compuestos están relacionadas con su propiedad fisiológica de contrarrestar los agentes oxidantes biológicos y evitar las posibles alteraciones oxidativas de compuestos, que son esenciales para el funcionamiento normal del organismo humano.

Quizás, el peligro más importante que de modo continuo acecha a una célula proviene de las moléculas oxidantes, entre las que destacan los radicales libres generados por diversos factores intrínsecos, como las actividades de algunas enzimas (oxidasas, deshidrogenasas y peroxidasas) o la autooxidación de los lípidos; y por fuentes externas, tales como los disolventes orgánicos, el humo del tabaco, los pesticidas, algunos poluentes (ozono), radiaciones, etc. Como resultante de todo ello aparecen radicales de varia naturaleza (alcoil, hidroxil, hipoclorito, oxígeno singlete, peroxi, superóxido y peróxido de hidrógeno).

Los radicales libres suelen ser extraordinariamente dañinos para los sistemas biológicos y, desde luego, significan un peligro para una gran variedad de moléculas: ácidos nucleicos, enzimas que contienen iones metálicos de transición, proteínas que incluyen grupos SH, lípidos de membranas, etc.

Tabla 11.7

Alimentos de origen vegetal que son fuentes de antioxidantes

-
- Acido ascórbico*. Calabazas, cítricos, coles de Bruselas, fresas, kiwis, patatas nuevas, pasas, pimientos verdes, verduras.
 - Carotenos*. Achicorias, albaricoques, batatas, calabazas, col rizada, espinacas, mangos, melones, pimientos rojos, verduras, zanahorias.
 - Cobre*. Aceitunas, calabazas, ciruelas, espárragos, frambuesas, hongos, kiwis, legumbres, mangos, moras, pasas, patatas, plátanos, uvas.
 - Compuestos órgano sulfurados*. Vegetales del género *Allium* (ajos, cebollas, cebollines, puerros).
 - Flavonoides*. Cacahuètes, cebollas, cítricos, fresas, habas, manzanas, té, uvas, verduras.
 - Isoflavonas*. Semillas de soja y de lino (linaza).
 - Licopeno*. Tomates, uvas tintas.
 - Luteína*. Apios, chalotes, col rizada, espinacas, puerros, verduras.
 - Manganeso*. Espinacas, frambuesas, legumbres, pasas, pinas, plátanos, remolachas, verduras.
 - Tocoferoles*. Batatas, brécoles, coles rizadas, espárragos, espinacas, legumbres, salvado de arroz, tomates.
 - Trocotienoles*. Salvado de arroz.
 - Ubiquinonas*. Ajos, alubias, espinacas, habas.
-

Se sospecha que los radicales libres y otras moléculas oxidativas están implicadas en la patología de numerosas situaciones clínicas: aterosclerosis, cáncer, cataratas, diabetes, etc. Incluso muchos de los desórdenes degenerativos se relacionan con el desequilibrio entre las fuerzas oxidantes y reductoras que pueden desembocar en modificaciones oxidativas de las proteínas y otros compuestos esenciales.

Para mantener su estado reducido, las células suelen disponer de moléculas antioxidantes naturales, como el ácido ascórbico, los carotenos, el glutatión, los tocoferoles y algunas enzimas (superóxido dismutasa, catalasas y glutatión peroxidasa). En los tejidos sanos, las sustancias antioxidantes pueden cumplir dos funciones importantes: neutralizar las moléculas oxidativas y pasar a su forma reducida aquellas otras moléculas celulares que de modo no deseable se hayan podido oxidar. Así, por ejemplo, esta segunda es una de las funciones primordiales del ácido ascórbico: mantener en sus formas reducidas los átomos de Fe o de Cu que forman parte de las estructuras de algunas enzimas.

Propiedades saludables de algunas sustancias fitoquímicas

Aparte de nutrientes y antioxidantes, en los alimentos de origen vegetal existen muchísimos otros componentes, que en algunos casos resultan altamente beneficiosos para la salud. Desde la década de los años cincuenta, se suele hacer referencia a ellos con la denominación de *sustancias fitoquímicas*. Bajo este concepto se reúnen sustancias que responden a las estructuras químicas más variadas: grandes familias de compuestos fenólicos, alcaloides, derivados de isoprenos (terpenos, esteroides, carotenos), etc.

En su origen, el término fitoquímico no tuvo una definición específica, pero en la actualidad se hace uso de él para designar a toda sustancia, sintetizada por los organismos vegetales, que tienen propiedades protectoras frente a situaciones patológicas. En realidad, sus funciones saludables han estado ignoradas durante años en la sociedad occidental por la medicina convencional, hasta que en época reciente los trabajos de investigación han puesto de relieve sus efectos protectores frente a ciertas enfermedades. En cambio, algunos de ellos han sido empleados desde hace cientos de años por la medicina oriental, que ha sabido aprovechar sus funciones saludables y aplicarlas con eficacia.

En principio, las *sustancias fitoquímicas* podrían ser definidas como: «aquellas estructuras químicas de origen vegetal que, una vez ingeridas con la alimentación, resultan muy activas desde un punto de vista fisiológico y medicinal, con la exclusión de su posible papel como nutrientes».

En el momento presente, son muy numerosos los componentes de vegetales que responden a esta definición y que han demostrado en algunas experiencias poseer una actividad potencialmente protectora de diversas enfermedades: alteraciones del sistema inmune, alteraciones del sistema nervioso central, cardiovasculares oclusivas, tumores cancerosos, etc.

Dentro de los alimentos tradicionalmente usados por la medicina popular hay que destacar los que pertenecen al género *Allium*, particularmente cebollas y ajos, generalmente usados como condimentos. Los estudios realizados, tanto en animales como en humanos, han puesto de manifiesto algunas propiedades fisiológicas importantes:

- Actividad fibrinolítica que protege del infarto de miocardio.
- Incidencia sobre los tiempos de coagulación de la sangre.
- Alivio de la hipertensión.
- Reducción de los niveles séricos de triacilglicérols y del colesterol.
- Estimulación del sistema inmune.
- Bajada de la glucosa en sangre con beneficio para los diabéticos,
- Etcétera.

Se ha sugerido que muchas de estas propiedades se deben a sus contenidos en *componentes azufrados*, considerándose como los más activos el (prop-2-enil)-propil disulfuro para las cebollas y el di(prop-2-enil) disulfuro en los ajos. También cabe señalar la relevancia de los ajos por su contenido en compuestos *tioalilos*, de fórmula general $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2\text{X}$, en los que X representa una gran variedad de estructuras orgánicas. Los dientes de ajo crudos e intactos contienen alrededor de 1-2 % de compuestos tioalilos, principalmente en la forma de S-alil-cisteína sulfóxido y gamma-glutamyl péptidos de S-alil-cisteína. Cuando, por alguna razón, se libera de las células la enzima alinasa, tales compuestos pasan de ser inodoros a estructuras fuertemente odoríferas. Bajo ciertos procesos culinarios y tecnológicos, como pueden ser fritura, ebullición excesiva, etc., los compuestos tioalilos del ajo pueden condensar en estructuras de polisulfuros, con un incremento de su actividad funcional.

Precisamente, esta circunstancia ha sido la responsable de algunas interpretaciones erróneas en torno a los efectos provocados por las estructuras primarias; los compuestos tioalilos son bastante inestables y rápidamente derivan en otros. En la mayoría de los casos, los polvos, aceites y macerados de ajos, almacenados a la temperatura ambiente, ofrecen una composición en tioalilos constantemente variable; incluso la luz les puede descomponer, dando lugar a la separación de azufre en forma de polvo.

Según se desprende de algunas experiencias con animales, los extractos de ajo envejecido forman aductos con compuestos cancerígenos y les impiden su posterior acción sobre el ADN, con un efecto restrictivo sobre la incidencia de tumores. Diversas preparaciones de ajos han demostrado que son capaces de suprimir la formación de nitrosaminas en el estómago e inhibir la actuación de carcinógenos poliarenos.

Con respecto a las verduras y otros alimentos vegetales verdes, se ha visto en algunas experiencias con animales que las *clorofilinas*, derivadas de las clorofilas, son capaces de reducir la biodisponibilidad de los carcinógenos químicos y también pueden proteger frente a la mutagenicidad de otros carcinógenos, valorada por el test de Ames.

Los *lignanós* son compuestos difenólicos que se forman en la digestión bacteriana intestinal, a partir de unos precursores aportados por los alimentos de origen vegetal. Se ha señalado que estos lignanos ejercen una cierta influencia sobre la regulación de sustancias estrógenas y presentan actividades antioxidativas y anti-

mitóticas, lo que ha hecho pensar en un posible efecto anticancerígeno, que todavía no ha sido confirmado de un modo experimental.

Una elevada ingestión de plantas crucíferas se ha asociado con situaciones de bajo riesgo de cáncer. Es posible que la actividad beneficiosa observada se deba a un efecto protector por parte de los *isotiocianatos* que contienen. Sin embargo, no está claro si tales efectos se deben a la propia estructura, muy reactiva por su carbono central fuertemente electrofílico, o bien a metabolitos secundarios: carbamatos, tio-carbamatos y derivados de la tiourea. De todos modos, las estructuras activas afectan a la actividad de las enzimas de fase I y II, que metabolizan los xenobióticos y, con ello, modifican la activación oxidativa de los carcinógenos químicos.

También las *ditiooltionas*, unos glucosinolatos presentes en las berzas, parecen tener efectos protectores frente a sustancias químicas de potente actividad cancerígena, como pueden ser las aflatoxinas.

Las *saponinas*, glicósidos triterpénicos o esteroídicos unidos a mono u oligosacáridos, presentes en una gran variedad de plantas y de modo especial en las leguminosas, sobre todo en garbanzos y soja, han manifestado efectos hipocolesterolemiantes. Tales efectos se han intentado explicar de diversas formas, aunque el mecanismo más aceptado es el de formar complejos con el colesterol de la dieta e impedir su absorción. También tienen la capacidad de formar micelas de alto peso molecular con las sales biliares e impedir su recuperación por la circulación enterohepática, que lleva a una mayor excreción fecal. De este modo, habría un aumento de la síntesis hepática de ácidos biliares con el correspondiente descenso del colesterol sanguíneo.

Los *flavonoides* son un numeroso grupo de compuestos, que incluyen en su esqueleto estructural el conjunto C6-C3-C6, caracterizados por ser poderosos antioxidantes, muchos de los cuales han presentado una actividad protectora del desarrollo de tumores. Todos ellos se han relacionado con una posible inhibición de polimerasas ARN y ADN de diversas células, así como a la inactivación de la ornitina descarboxilasa. Claramente se ha visto que los flavonoides en cuanto compuestos habituales de la dieta, participan en la prevención del cáncer a través de muy diversos mecanismos.

También uno de ellos, las *isoflavonas*, tienen una actividad hipocolesterolemiantes que se ha vinculado al hecho de poseer una estructura similar a las de los estrógenos, puesto que puede interaccionar con los receptores de éstos, con la consecuencia de un efecto beneficioso sobre los niveles del colesterol sanguíneo.

Otros compuestos fenólicos, tales como las *catequinas* contenidas en las hojas de té verde y en las uvas, o las *curcuminas* de la *Curcuma longa*, también han demostrado un efecto inhibitor de la carcinogénesis en algunas experiencias *in vitro*. Sin embargo, hay que subrayar cómo sustancias que son citostáticas en cultivos de células cancerosas, resultan totalmente ineficaces cuando han de actuar *in vivo*. Por tanto, la obtención de resultados positivos *in vitro* no significa, necesariamente, que también vayan a tener lugar *in vivo*.

Dos componentes de las uvas, el *ácido ellágico* y el *resveratrol*, parecen gozar de una actividad quimiopreventiva a través de actuaciones que abarcan a las tres principales etapas de la carcinogénesis. Actúan como antioxidante, como antimutágenos e inhiben las enzimas que metabolizan los tóxicos en fase II.

El *ácido fítico*, un inositol hexafosfato que con frecuencia se encuentra en cereales y otras plantas, es responsable de diversos efectos beneficiosos: hipoco-

lesterolémico, hipolipidémico y anticarcinogénico, tal vez por su poder antioxidante.

Son numerosas las sustancias fitoquímicas que han demostrado *in vitro* poseer una cierta capacidad para estimular las células involucrados en los procesos inmunes, importantes para mantener un buen estado de salud. En esta línea se viene usando la raíz de *Astragalus membranaceus* con el fin de enaltecer la resistencia corporal ante las infecciones; incluso, mezclada con carne, se ofrece como un ingrediente para sopas con la calificación de tónico alimenticio. El *Astragalus* contiene muchos componentes activos (2,4'-dihidroxi-5,6-dimetoxi-isoflavona, colina, betaína, etc.), pero se desconoce las propiedades funcionales de muchas de ellas.

La calidad de los alimentos

- Introducción.
- Tipos de calidad en los alimentos.
- Principales aspectos de la calidad de los alimentos.
- La programación de la calidad en la industria alimentaria: gestión, control y aseguramiento.
- Fases de aplicación del sistema.
- Implantación de un sistema de riesgos e identificación y control de puntos críticos (ARICPC).
- El análisis como elemento auxiliar del control de calidad: fisicoquímico, enzimático, microbiológico y sensorial.

Introducción

Desde un punto de vista práctico, un alimento puede ser considerado como un conjunto de sustancias químicas integradas en sistemas fisicoquímicos, que pueden ser más o menos complejos, cada uno de los cuales desempeña una función relacionada con algún aspecto determinante de su calidad.

El principal objetivo a cumplir por todo alimento, cuya finalidad es la de ser incluido en una dieta, es el de aportar nutrientes. Es decir, los alimentos proporcionan aquellas estructuras químicas que son necesarias para que el organismo vivo desarrolle, de modo adecuado, todas sus actividades y funciones biológicas. De este modo, tendrá la posibilidad de mantenerse dentro de un estado de salud conveniente.

Pero a su vez, además de nutritivo, un alimento debe ser apetecible para que pueda ser aceptado o deseado. Generalmente, bajo el acto de comer pueden coincidir dos operaciones: la de cubrir las necesidades fisiológicas y la de gozar de los placeres de la mesa. Por esta razón, las dietas suelen ser el resultado de una elección entre los más variados tipos de materias alimenticias, que sirven de base para la elaboración de los platos cocinados integrados en un menú. Sin embargo, esta elección puede estar mediatizada por circunstancias muy diversas: la disponibilidad de los alimentos, el nivel económico de las personas, los hábitos alimentarios de la población, el estado de salud de los individuos, etc.

En aquellos países donde la producción de alimentos resulta abundante, se puede observar cómo la elección de una dieta alimenticia se apoya en la valoración

de una serie de factores que, tomados en su conjunto, parecen ser los que determinan la *calidad* de un alimento.

El concepto de calidad aplicado a un alimento no lo relaciona con el costo elevado de dicho alimento, sino que se refiere a los atributos del alimento que hace apetecible su consumo. En un sentido amplio, implica tanto factores positivos (color, flavor, textura, valor nutritivo, etc.) como características negativas, expresadas por la ausencia de sustancias nocivas y microorganismos indeseables.

Sin embargo, aunque la calidad de un alimento pueda ser un concepto relacionado con la aceptación de ese alimento, no resulta fácil encontrar una definición que le sea adecuada, debido a lo amplio y difuminado de su objeto. Ya en 1971, Von Sydow hacía referencia a la complejidad de este concepto, capaz de abarcar aspectos químicos, físicos y tecnológicos, aparte de otros ámbitos como los fisiológicos, psicológicos y sociales.

De hecho, se han dado numerosas y diversas definiciones de lo que se debe entender por calidad de un alimento. Entre todas ellas se pueden citar las siguientes:

- «Adecuación para un uso determinado».
- «Grado de bondad, o de aceptación, de un alimento en cuanto hace referencia a unas cualidades previamente establecidas como un patrón».
- «Conjunto de rasgos y características que capacitan a un alimento para satisfacer una necesidad determinada».

En definitiva, la calidad de un alimento puede ser considerada como un término indicador de su grado de excelencia, en cuanto puede abarcar tanto su contenido nutricional, como sus propiedades sensoriales de color, sabor, olor, textura, etc., e incluso factores vinculados a la seguridad sanitaria del mismo.

Es decir, se afirma que un alimento tiene *calidad* cuando dispone de unas características capaces de hacerle aceptable. No obstante, esa aceptabilidad o, en su caso, ese rechazo, puede ser consecuencia de apreciaciones que tienen un alto grado de subjetividad.

Tipos de calidad en los alimentos

Cuando se quiere calificar la calidad de un alimento resulta muy significativo tener en cuenta que es posible aplicar diversos criterios al ser contemplada desde diferentes puntos de vista, que a su vez determinan unas especificaciones y unas características. En este sentido se puede hablar de seis aspectos que precisan los distintos tipos de la calidad relacionada con los alimentos:

- Calidad *nutricional*. Hace referencia a la contribución del alimento al aporte total de nutrientes a la dieta, tanto de un modo cualitativo como cuantitativo.
- Calidad *sensorial*. Viene determinada por aquellos atributos del alimento que son percibidos por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el oído y el tacto. Suele estar muy relacionada con su mayor o menor aceptabilidad.

- Calidad *higiénico-sanitaria*. Hace referencia a la ausencia tanto de sustancias potencialmente tóxicas como de microorganismos patógenos. También asegura que los recuentos de su carga microbiana responden a los niveles de microorganismos, tanto alterantes como potencialmente patógenos, admitidos por la legislación alimentaria.
- Calidad *tecnológica*. Hace referencia a las características funcionales que permiten ser del alimento un agente apropiado para contribuir a determinadas cualidades necesarias para llevar a cabo sin problemas ciertos procesos tecnológicos.
- Calidad *económica*. Hace referencia a la relación que existe entre su costo de producción y el grado de aceptabilidad que consigue.
- Calidad *estable*. Hace referencia a la aptitud del alimento para no sufrir alteraciones inmediatas, lo que permite una vida comercial relativamente prolongada.

Principales aspectos de la calidad en los alimentos

De acuerdo con lo expresado anteriormente, se consideran alimentos de calidad aquellos cuyas cualidades responden a las expectativas planteadas acerca de su uso o consumo. Es decir, aquel producto alimenticio que se acepta en virtud de su adecuación a unos atributos de referencia, relacionados con las propiedades nutritivas, sensoriales y sanitarias.

En esencia, la calidad puede ser entendida como aquel concepto que expresa el grado de excelencia o de idoneidad, capaz de dar respuesta a unos fines concretos y determinados. En el caso de los alimentos, esta idoneidad se concreta en tres objetivos, marcados por los ámbitos nutricionales, sensoriales e higiénicos: valor nutritivo, aceptabilidad y seguridad sanitaria.

Aunque todos ellos puedan ser considerados como objetivos diferentes unos de otros, sin embargo en la práctica pueden estar relacionados entre sí. Esta presunción resulta particularmente cierta para el ámbito sensorial, que siempre de algún modo incide sobre los otros dos.

Por supuesto, la calidad nutritiva de un alimento no presenta una dependencia directa de su calidad sensorial, pero sí la puede tener de un modo indirecto, porque el alimento necesita ser atractivo y apetecible para que llegue a ser consumido, al margen de los nutrientes que ofrezca. En tal sentido, la calidad sensorial resulta un prerequisite esencial para una buena alimentación.

La seguridad sanitaria de un alimento tampoco se puede considerar desvinculada totalmente de la calidad sensorial, porque el desarrollo de microorganismos alterantes puede motivar cambios organolépticos que pueden incitar al rechazo.

Aspectos nutricionales

Cuando la industria alimentaria fabrica un producto alimenticio y lo comercializa, lo hace con la finalidad de que tome parte, de una u otra forma, en la alimen-

tación de unas personas, de un colectivo específico, de un núcleo de población concreto, etc. Por tanto, al considerar los alimentos que se elaboran y comercializan no se puede prescindir de su posible contribución al nivel de nutrientes aportados por la dieta.

De aquí la importancia que se le deba dar a la calidad nutricional. En concreto, todo alimento debe tener un cierto valor nutritivo como consecuencia del conjunto de nutrientes que contiene y que, una vez consumidos, son utilizados por el organismo humano para desempeñar sus procesos vitales.

Ahora bien, la calidad nutricional de un alimento debe ser evaluada teniendo en cuenta algunos factores:

- a) Las necesidades nutricionales específicas de las personas a las que va dirigida.
- b) El lugar que dicho alimento va a ocupar en la comida, o en la alimentación cotidiana de esa persona.
- c) El consumo simultáneo de otros alimentos, sin duda necesarios para que la dieta sea equilibrada.
- d) Las necesidades de consumir alimentos variados.
- e) La existencia de elementos que pueden modificar el porcentaje o la actividad de algunos de los nutrientes.

Con respecto a este último apartado no se puede ignorar las posibles variaciones ocasionadas por la tecnología, tanto a nivel industrial como a nivel culinario, sobre las concentraciones de partida. Unas veces, las pérdidas pueden ser intencionadas, como ocurre con la molienda de los cereales, que pierden vitaminas y minerales en función del grado de refinado aplicado. Otras, estas pérdidas son inevitables, sobre todo cuando el tratamiento térmico se lleva a cabo en presencia de agua, pues algunos nutrientes pasan a ella por disolución: vitaminas hidrosolubles, sales minerales, proteínas y azúcares.

Todo procesado de alimentos puede implicar modificaciones que se traducen en cambios nutricionales con una significación de tales cambios que dependerá de la intensidad alcanzada por dichas modificaciones. Su magnitud y naturaleza va a depender de cuatro factores: tipo de alimento, proceso aplicado, instalaciones usadas y grado de control aplicado.

No obstante, estos cambios pueden tener significados opuestos:

- Unas veces, aumentan el valor nutritivo cuando se produce una concentración de nutrientes.
- Otras, los reduce, cuando ocurre una destrucción, o degradación, de los nutrientes por las causas más diversas: oxidaciones, tratamiento térmico excesivo, etc.

Las principales variaciones en el valor nutritivo se originan con el tratamiento térmico de los alimentos, tanto en los procesos de escaldado, pasteurización, esterilización, etc. industriales, como durante las cocciones culinarias que se le aplican. No obstante, los efectos del calor pueden tener, en la práctica, consecuencias bien diversas:

- La mayoría de las veces un calor intenso, o simplemente continuado, puede resultar bastante perjudicial para el valor nutritivo del alimento.

- En algunos casos, existen ocasiones en las que se neutraliza la actividad anti-nutritiva de alguna sustancia y con ello se aumenta de modo notable el valor nutritivo, o simplemente se mejora la disponibilidad de algunos de sus nutrientes. Dentro de los efectos favorables del calor está el caso de algunas leguminosas, ricas en sustancias con actividades antinutritivas cuando se ingieren crudas, pero que la cocción las destruye o inactiva: sustancias que inhiben las enzimas digestivas, sustancias enlazadas a nutrientes e impiden su disponibilidad, etc.

En general, no es raro que los procesos térmicos anteriormente citados tengan como consecuencia una degradación de algunos nutrientes, de modo primordial las vitaminas. De todas ellas, cabe destacar la tiamina como la más susceptible ante una degradación por el calor, en función del binomio temperatura y tiempo, así como su hidrosolubilidad. Incluso sus pérdidas por cocción suelen servir de referencia para evaluar la calidad nutricional relacionada con otros nutrientes.

Los elementos minerales suelen resultar bastante estables al calor y sus pérdidas se vinculan de modo fundamental con su hidrosolubilidad, que afecta de modo más intenso al potasio. No obstante, la aplicación de calor puede modificar la forma química bajo la que se encuentran y alterar su biodisponibilidad. Estas circunstancias resultan especialmente importantes en lo que respecta al hierro y al zinc.

Las modificaciones que pueden sufrir los compuestos grasos adquieren cierta relevancia cuando se trata de procesos térmicos llevados a cabo a escala industrial. Hay que contar con el riesgo de una alteración de las grasas como resultado de oxidaciones durante el calentamiento al aire. En estos casos, pueden quedar involucrados dos hechos negativos:

- a) Cuando el proceso oxidativo es intenso también daña a las vitaminas liposolubles, sobre todo la vitamina A.
- b) Como consecuencia de algunas reacciones pueden aparecer sustancias que son tóxicas para el ser humano.

Aspectos sensoriales

Normalmente, para la selección de un alimento se hace uso de los sentidos, es decir, se toma como punto de referencia la apreciación de las propiedades sensoriales. En 1972 fue sugerido por Kramer que la evaluación de la calidad sensorial de un alimento debe ser llevada a cabo de acuerdo con lo aportado por tres categorías de factores sensoriales, determinadas por aquellos sentidos que toman parte en su percepción. En la práctica, pueden existir solapamientos entre aquellos atributos sensoriales considerados primarios, hasta el punto que algunas características organolépticas pueden ser catalogadas dentro de más de un grupo de atributos primarios.

1. *Factores de apariencia*, que se perciben por los ojos, el olfato y el oído. Corresponden a los parámetros de tamaño, forma, consistencia, color, brillo, transparencia, etc. Se pueden evaluar mediante métodos físicos objetivos, siempre que se disponga de las adecuadas escalas de referencia.

La *apariencia*, bajo la que se nos manifiesta la presencia de un alimento, puede ser considerada como aquella interpretación sensorial que el proceso visual elabora a partir de caracteres físicos y químicos.

En la práctica, la primera impresión que se recibe de cualquier alimento va ser su forma, tamaño, color, brillo, etc., tal como son captadas por los ojos. El alimento refleja la luz que le llega a la superficie y, con ella, transmite una información, que percibida por los ojos, genera todo un conjunto de sensaciones, que se combinan e interpretan, para dar como resultado lo que se entiende como *apariencia*.

En este sentido, se trata de una cualidad que va más allá de ser una simple apreciación de su color, su tamaño, su forma, etc., porque los factores relacionados con ella son los que más influyen en la aceptación o en el rechazo de un alimento.

El que la *apariencia* pueda ser considerada como un indicador fidedigno de su calidad comestible va a depender de la naturaleza de cada alimento en particular. Tamaño y forma pueden ser parámetros fácilmente valorados y, en ocasiones como el caso de las frutas, permiten establecer una clasificación de acuerdo con unas gradaciones establecidas. No obstante, el factor más importante para interpretar lo aportado por la *apariencia* de un alimento suele ser el color, como una consecuencia de la asociación que este atributo puede tener con otros atributos de la calidad. De ahí que la industria alimentaria suele usar la medida del color de un alimento como una ayuda para el control de su calidad, siempre que sus valores puedan ser correlacionados con algunos otros atributos, que la determinan.

En realidad, el color es una percepción sensorial cuya evaluación más idónea se expresa en términos psicológicos. Sin embargo, también puede ser medido en términos numéricos a través de medidas de orden físico y, a partir de esos valores, se puede conocer si existe alguna correlación con otros atributos y, en consecuencia, realizar predicciones en torno a su apariencia visual.

El color de un alimento no sólo resulta útil como una ayuda para establecer su calidad, sino también puede servir como factor informativo de otras muchas cosas: ser conceptualizado como un índice de madurez o de alteración; facilitar, o al menos permitir, una estimación del punto final de muchos tipos de fritura, etc.

Sin embargo, en la actualidad son muchos los alimentos procesados que manifiestan colores atractivos como consecuencia del empleo de aditivos colorantes. Con ello se pone de relieve la dificultad de aplicar la apreciación del color de un alimento como criterio de aceptación o de rechazo, porque el uso de tales aditivos puede distorsionar el juicio de valor y errar en la decisión de aceptación o de rechazo, al enmascarar la verdadera situación de los demás atributos.

A veces, entre los factores de *apariencia*, también se incluye la consistencia de un alimento, aunque corresponda verdaderamente a un atributo de la calidad textural. Este parámetro puede ser evaluado a través de medidas de la viscosidad, porque suele variar de un modo paralelo con ella: cuando un alimento aumenta su viscosidad, también se incrementa su consistencia, que se reduce cuando este parámetro disminuye.

2. *Factores de textura* (o cinestésicos), que se perciben a través de las sensaciones táctiles captadas por los músculos de la boca o de las manos. Incluyen parámetros como dureza, blandura, masticabilidad, etc., que son valorables mediante la aplicación de los instrumentos más sofisticados. También reciben el nombre de factores cinestésicos, porque en su percepción desempeña un papel importante el movimiento bucal.

En la práctica, con el término factores de *textura* se quiere entender aquellos aspectos de la calidad sensorial relacionados con las respuestas a las deformaciones provocadas en el alimento por fuerzas y movimientos musculares de la cavidad bucal, es decir, viene marcada por las presiones ejercidas por dientes, lengua y paladar durante el proceso de la masticación.

Por ello, la *textura* viene determinada por la conjunción de una serie de características mecánicas, primarias o secundarias, vinculadas al modo de reaccionar un alimento a un tipo de fuerza y que ofrecen valores dentro de rangos muy amplios: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, viscosidad, etc. cuya definición se ha ofrecido en la Tabla 9.3. Cualquier desviación de los valores esperados para un atributo de textura debe ser interpretado como un defecto en la calidad sensorial del alimento.

De todos modos, su estimación debe ser realizada teniendo en cuenta una serie de factores esenciales, que pueden incidir en la apreciación subjetiva:

- La temperatura a la que el alimento se consume.
- El lugar que ocupa dentro del menú (al principio, en medio o al final), porque algunas ingestas pueden condicionar las sensaciones percibidas en ingestas posteriores.

3. *Factores de flavor*, que abarcan sensaciones percibidas en la cavidad buco-nasal, de modo particular olores y sabores. Se perciben por las papilas gustativas de la boca, las células olfativas de la nariz, así como la participación de otros elementos bucales, incluido el proceso de la deglución. Los parámetros que lo definen resultan muy difícil de evaluar de un modo adecuado, debido a la gran carga de subjetividad que conllevan. No obstante, se ha desarrollado un campo analítico especializado para ello, el *análisis sensorial*, e incluso se ha introducido un lenguaje muy particular y específico que sirve a los panelistas o catadores para expresar sus juicios valorativos.

Desde luego, el primer conocimiento que obtenemos de un alimento ocurre cuando todavía se encuentra situado a cierta distancia de nosotros: son percepciones que nos llegan a través del olfato, la vista y/o el oído. Sin embargo, el conocimiento más completo y definitivo lo alcanzamos, una vez que su contenido ha sido introducido en la cavidad bucal y masticado para su deglución.

El resultado de todo ello es un conjunto de percepciones que se conocen con el nombre *de flavor*:

- De una parte, los componentes químicos solubles se disuelven en la saliva e interaccionan con los receptores del sabor, es decir, con las papilas gustativas.
- De otra parte, se escapan sustancias volátiles, algunas de las cuales son arrastradas desde la garganta, por la vía retronasal, hacia el interior de la cavidad nasal; una pequeña proporción de estas sustancias volátiles toman contacto con las células receptoras del sentido del olfato, situadas todas ellas en el epitelio olfativo.
- A ello se une el tacto bucal facilitado por el proceso de masticación: la actividad de los músculos de la lengua y carrillos detectan ciertas propiedades cinestésicas del alimento e interpreta una serie de características: viscosidad, blandura, etc.
- Asimismo, la presión de los elementos bucales sobre los ingredientes del plato origina sonidos que son captados por el órgano del oído.

- Por último, durante la deglución se estimulan receptores que completan este fenómeno sensorial.

En resumen, lo que determina el flavor de un alimento es la mezcla de los sabores provocados por algunos de los componentes solubles y de los olores aportados por innumerables sustancias volátiles. Por eso, resulta un factor de la calidad sensorial extraordinariamente complejo, que todavía no ha sido bien descrito para la mayoría de los alimentos.

La evaluación del flavor es muy difícil de llevar a cabo por lo subjetivo de su naturaleza. Incluso no es raro obtener diferencias entre los juicios emitidos por jueces distintos dentro de la realización de un análisis sensorial, explicables por las notables diferencias que se pueden dar en sus respectivas sensibilidades para detectar sabores y olores.

Además, el juicio emitido acerca del flavor de un alimento puede estar influido por el color que presente, así como por su textura, aparte de cierta diversidad en los modos de percibir varias personas un alimento, de acuerdo con elementos biológicos y culturales.

Aspectos sanitarios

No hay que olvidar la estrecha relación que existe entre alimentación y salud, por lo que la calidad higiénico-sanitaria de los productos alimenticios que se comercializan ha de ser cuidada por todos los medios. Los alimentos comercializados no deben aportar sustancias tóxicas, ni transmitir microorganismos patógenos, al organismo que los ingiere. Es decir, hay que eludir tanto la contaminación abiótica como la biótica, teniendo en cuenta que tales alimentos se pueden contaminar a lo largo de las numerosas fases implicadas en su producción. No sólo hay que vigilar desde la adquisición de las materias primas hasta el momento de su venta, pasando por los procesos implicados en las operaciones tecnológicas de elaboración y de distribución, sino también cuidar los productos de limpieza, la corrosión del material, el añadir aditivos en una forma excesiva, etc.

Los microorganismos pueden proceder de las fuentes de contaminación más diversas: personas, aire, polvo, agua, insectos, utensilios, maquinaria, ropa, etc. Pero, además, algunos alimentos son más vulnerables que otros al desarrollo microbiano, debido a su naturaleza química: alimentos a base de huevos, que no reciben tratamiento térmico, o bien lo han tenido de modo suave; carnes picadas; productos avícolas; moluscos; verduras; derivados lácteos frescos; repostería; platos fríos; etc.

La contaminación biótica incide, en mayor o menor grado, sobre el nivel de calidad higiénico-sanitaria de cualquier alimento que se comercialice, de acuerdo con el perfil microbiológico del mismo en el momento de su consumo:

- De una parte, la calidad sanitaria del producto alimenticio viene determinada por el riesgo de provocar algún tipo de enfermedad cuando se consume. Va a depender del número de gérmenes o de la cantidad de sustancias tóxicas, cuyos niveles alcanzan la capacidad de provocar una infección o una intoxicación.
- De otra, la calidad higiénica hace referencia a su capacidad de vehicular algunos elementos que no resultan admisibles, aun cuando no supongan un riesgo para la salud. Estará marcada por el tipo y número de microorganis-

mos presentes, que informa de la bondad o incorrección de las prácticas de trabajo.

En general, los problemas higiénico-sanitarios planteados por la elaboración de los alimentos se relacionan con su nivel microbiológico a través de tres factores, que siempre deben ser tenidos en consideración:

- a) La contaminación microbiana: exige una planificación adecuada de la instalaciones y limpieza, que permita eliminar cualquier foco de contaminación.
- b) La supervivencia de los microorganismos en relación con las operaciones de transformación de los ingredientes y aditivos, que en muchos casos implica un cierto tratamiento térmico.
- c) Condiciones de almacenado: evitar aquellas que puedan ser favorables al desarrollo de los microorganismos. Muchos alimentos requieren un cierto tiempo de almacenado antes de su venta y consumo. Las condiciones bajo las que se conserva el alimento deben ser las apropiadas para que no sea posible el desarrollo microbiano, ni se produzca una alteración en la composición. La temperatura debe ser la adecuada a la naturaleza del producto y a su estado refrigerado o congelado, cuidando que no crezcan los patógenos psicrófilos.

Objetivo prioritario de toda industria alimentaria es asegurar la calidad sanitaria de lo que produce para que no entrañe peligro para la salud del consumidor. La experiencia ha puesto de manifiesto que los brotes observados de enfermedades transmitidas por los alimentos suelen ser una consecuencia del incumplimiento de las normas de prácticas higiénicas establecidas. La higiene es un factor muy relacionado con la limpieza y, a su vez, con la seguridad. Un alimento no higiénico nunca puede ser considerado como un alimento seguro, puesto que el concepto de seguridad de un alimento significa la exención de riesgo de injuria, y un alimento en esas condiciones implica el riesgo de provocar una enfermedad una vez consumido. Si las normas de higiene no se viven de modo exigente en todos los puntos del sistema de producción, aparecerán variaciones importantes en los análisis microbiológicos efectuados, aun cuando se trate de los mismos alimentos. En este sentido, no sólo hay que vigilar la carga microbiana de la materia prima, sino también los elementos que pueden ser vehículos de contaminación, tales como el aire, las superficies de trabajo y las personas.

En la actualidad, se está obligado a trabajar de acuerdo con las normas y conceptos establecidos por las denominadas *buenas prácticas de fabricación* (BPF, o GMP en el mundo anglosajón: *good manufacturing practice*). En la práctica, es la manera de garantizar un modo correcto de proceder, que permita alcanzar la calidad establecida en los productos finales. Todo ello exige la idónea realización de unas operaciones de trabajo, según lo diseñado, y la aplicación de unos sistemas de controles eficaces.

La programación de la calidad en la industria alimentaria: gestión, control, aseguramiento

Un objetivo primordial para cualquier industria alimentaria debe ser la preocupación por la calidad de lo que produce, por ser la calidad uno de los factores que

inciden sobre la apreciación por parte de los consumidores, es decir, sobre su competitividad.

Durante años, la industria alimentaria ha operado teniendo como fin primordial la producción de alimentos con el importante objetivo de conseguir todo el volumen pretendido, pero al más bajo costo posible. Después de realizada una serie de operaciones tecnológicas se llegaba a un producto final, que recibía el visto bueno para su salida una vez verificada su calidad por el personal de control. La necesidad de establecer un equilibrio de autoridad entre el equipo de producción y el equipo verificador ha planteado la importancia de implantar en la empresa un sistema de calidad, que fue definido en 1984 por la *International Laboratory Accreditation Conference* como «la estructura organizativa, responsabilidad, actividades, recursos y eventos, que juntos suministran procedimientos organizados y métodos de implantación capaces de asegurar la capacidad de la organización para satisfacer los requerimientos de calidad».

Asimismo, a medida que ha aumentado las exigencias de los consumidores y los requerimientos legales, la industria alimentaria se ha visto comprometida para desarrollar esos sistemas por el que se garantiza que lo producido se ajusta al nivel de calidad establecido.

A todo esto se une el apremio de la Unión Europea para que todas las industrias implanten las normas recogidas en la serie de las ISO 9001, que se ocupa de los estándares internacionales para los sistemas de calidad, diseñados para prevenir y detectar productos que no reúnen los requisitos que permitan recibir la conformidad para su comercialización, además de poder poner en funcionamiento los medios adecuados para prevenir las posibles fallos cometidos. Con ello se intenta conseguir una mayor claridad de los fines, un mejor control del proceso tecnológico de fabricación, que implica la identificación de los puntos críticos a controlar, una mejor comprensión de las tareas de cada uno y una mayor motivación y participación de todos los que intervienen en la fabricación y comercialización de un alimento, alcanzándose mayor eficiencia y eficacia.

Para conseguir este objetivo resulta necesario instaurar un programa que asegure una permanente vigilancia de los niveles de calidad, que deben ser alcanzados en todo momento de la producción. Es fundamental implantar un sistema que permita hacer las cosas bien a la primera, sin que sea preciso posteriores rectificaciones.

Estos programas o sistemas tienen como finalidad el desarrollo de tres funciones fundamentales:

1. *La gestión de calidad.* Indica la forma cómo se debe proceder para lograr unos resultados deseados, es decir, producir el nivel de calidad convenido. Para ello, es preciso establecer un conjunto de normas y criterios a seguir con toda rigurosidad en las distintas fases de la producción.

Desempeña una importante misión, que abarca diversos ámbitos:

- Conocer las preferencias y necesidades del mercado.
- Diseñar los productos transformados que se deba ofrecer, o bien mejorarlos.
- Reducir el riesgo de que se produzcan errores, que se puede traducir en la eliminación de defectos y conseguir menos pérdidas de fabricación.

Con ello, la gestión de calidad pretende asegurar dos cosas:

- De una parte, las propiedades del alimento elaborado en lo que respecta sus caracteres higiénicos-sanitarios, ponderales, organolépticos y compositivos.
- De otra, garantizar su fiabilidad, es decir, la propiedad de no alterarse bajo las condiciones de conservación que se establezcan, de tal modo que mantenga buena estabilidad durante la vida media comercial prevista.

Para su puesta en marcha, debe tener resuelto algunos factores que resultan esenciales para el buen logro de sus objetivos:

- Diseño apropiado de las plantas de fabricación.
- Instalación de los equipos adecuados.
- Selección y formación del personal de trabajo.
- Adecuación a las normas sanitarias exigidas por la legislación alimentaria vigente.
- Conocimiento de la demanda por parte del consumidor.

La gestión de la calidad necesita llevar a cabo un profundo estudio de los grupos de clientes que espera atender para conocer sus necesidades y preferencias, porque son ellos con sus expectativas quienes, en la práctica, definen los niveles de calidad adecuados. A partir de estos supuestos, se elaboran unos criterios de actuación para cada una de las operaciones unitarias implicadas en la producción y en la comercialización de lo que se produce.

Tales operaciones pueden ser concretadas en los siguientes puntos:

- a) Recepción y almacenado de materias primas.
- b) Preparación de ingredientes y aditivos.
- c) Tecnología de fabricación.
- d) Conservación de los productos elaborados.
- e) Transporte y distribución a los puntos de venta.

2. *El control de calidad.* Vigila el seguimiento de tales criterios y compara los resultados obtenidos con unos patrones de referencia fijados. Su aplicación hace posible llegar a conocer tres elementos esenciales: a) detectar cualquier posible desviación; b) indagar sus causas; c) sugerir las medidas correctoras oportunas.

La dinámica implicada en todo programa de calidad exige el desarrollo de una serie de actividades interdependientes, que van a estar involucradas en el logro de sus objetivos, aunque con diferentes grados.

En este sentido, caben distinguir dos tipos de actividades:

- Las consideradas primarias, porque están implicadas en la elaboración física del producto alimenticio: entradas de materias primas, operaciones de producción, salidas de productos acabados.
- Las denominadas de apoyo, porque sirven de sostenimiento a las anteriores.

No se puede ignorar que la calidad, además de gestionada, también debe ser controlada. Por consiguiente, hay que poner todos los medios necesarios para que, en cada fase del proceso, se vigile tanto el cumplimiento de las normas tecnológicas y sanitarias, como la adecuación con los patrones de referencia establecidos.

En consecuencia, el control de calidad alcanza a todas aquellas funciones cuya finalidad consiste en mantener, y en lo posible mejorar, la calidad de lo que produce. Su eficacia implica que no sólo se ponga cierto énfasis en la inspección del pro-

ducto final, sino que además se vigile con rigor el cumplimiento de todas y cada una de las normas, que han de ser seguidas a lo largo de toda la cadena de fabricación. Al trabajar la industria alimentaria con materias primas biológicas, que proceden de cultivos agrónomos o crías agropecuarias, ha de contar con la existencia de variaciones que complican en gran parte la rigurosidad del control.

Para cubrir todas sus responsabilidades, la dinámica del control de calidad obliga a poner en práctica diversos tipos de medidas:

- *Preventivas*. Poder prever cualquier tipo de dificultad.
- *De verificación*. Comprobar que se cumple con lo esperado.
- *Correctoras*. Corregir lo inapropiado.
- *De confianza*. Garantizar la buena marcha de todo el proceso.

En principio, cuando los criterios de selección de materias primas son acertados y los procesos tecnológicos se realizan bajo control riguroso, de acuerdo con las normas establecidas, apenas será necesaria la inspección del producto acabado. Es importante que no se omitan las medidas señaladas como necesarias para el efectivo control de todas las etapas implicadas en el proceso.

El departamento de control de calidad debe disponer de un laboratorio adecuadamente instalado, con unos objetivos de actuación claramente definidos. De este modo, el control se ve apoyado con la medición de unos parámetros, que previamente han sido seleccionados con el fin de comprobar si, en cada caso, sus valores corresponden a los intervalos de referencia, considerados como los correctos.

Cuando se cumplen todos estos requisitos, un buen control de calidad se encontrará en las condiciones idóneas para definir la situación del producto en cada momento de su elaboración. Y a través de esos conocimientos puede detectar la presencia no esperada de diversos tipos de defectos:

- *Defectos críticos*. Porque pueden implicar un riesgo grave para la salud del consumidor.
- *Defectos mayores*. Porque representan un riesgo sobre la vida del producto, aunque no afecte a la salud del consumidor.
- *Defectos minoritarios*. Porque aparecen de forma poco frecuente o esporádica.

En resumen, un control de calidad será útil cuando pueda ofrecer las siguientes ventajas:

- Optimizar las ventas del producto elaborado.
- Reducir pérdidas al prevenir los errores antes de que aparezcan.
- Incrementar la eficacia del proceso al disponer de una información suministrada por las pruebas analíticas de control.
- Asegurar la sanidad del producto al evitar riesgos de contaminaciones.
- Garantizar que el producto cumple con los requisitos exigidos por la legislación alimentaria vigente.

3. *El aseguramiento de la calidad*. Es aquella parte de la función empresarial que asegura la calidad de los resultados. Se define como un sistema planificado de actividades, cuyo propósito es proporcionar una seguridad acerca de la eficacia actual del programa establecido para el control de la calidad. No debe confundirse

con la función del control de calidad, concepto del que no es equivalente ni sinónimo. Su objetivo es doble: *a)* reducir los errores a niveles aceptables; *b)* garantizar con una elevada probabilidad la bondad de los datos obtenidos. En este sentido, también puede ser considerado como el mecanismo apropiado para verificar que el sistema opera dentro de unos límites aceptables.

Fases de aplicación del sistema

En la actualidad, gestión y control de calidad se conciben y consideran como un sistema integrado y completo que aúnan sus esfuerzos para alcanzar los objetivos marcados. Pero una vez que el producto alimenticio ha sido producido nada puede hacerse por mejorar su calidad. Esto hace que el producto acabado sólo permite una inspección que juzgará si alcanza el estándar deseado para ser aceptado, o sea rechazado en caso contrario.

De aquí que el desarrollo del sistema ofrezca tres fases esenciales por su importancia en el proceso y sobre las que hay que actuar y controlar de acuerdo con el circuito esquemático que se representa en la Tabla 12.1: *a)* entrada de provisiones; *b)* operaciones tecnológicas; *c)* salida del producto acabado.

La primera tarea de todo sistema de calidad implantado en una industria alimentaria corresponde a desarrollar unas actividades de apoyo dentro de la *logística* de entrada: la adquisición de las materias primas. Se trata de una tarea que debe exigir la máxima atención, puesto que su acertado desarrollo va a repercutir en la calidad del producto final. Al planificar la actuación del control de calidad resulta esencial disponer de una idea muy clara acerca de las características definidas de las materias primas que se han de adquirir para elaborar las correspondientes fichas que desarrollen los patrones de referencia con sus especificaciones y sus pruebas de laboratorio.

Aunque un objetivo esencial para la empresa sea una producción con el menor costo posible, sin embargo siempre deberá ser respetado todo lo que haya quedado

Tabla 12.1

Circuito que expresa la generación de la calidad

Áreas	Gestión de calidad	Control de calidad
Entrada de provisiones	1) Materiales 2) Compras	1) Proveedores 2) Entradas
Operaciones tecnológicas de fabricación	1) Técnica 2) Organizativa	1) Trabajo 2) Sistema
Almacenamiento, transporte y comercialización de producto acabado	1) Comercial 2) Proyecto	1) Salidas 2) Post-venta

establecido en los patrones de referencia acerca de las propiedades a exigir para cada ingrediente y las normas que deben ser cumplidas para su almacenado.

La compra de estos productos alimenticios debe hacerse en función de un nivel de existencias fijado y estar fundamentada sobre criterios que han surgido del estudio previo de varios factores: a) mercado; b) especificaciones de los productos; c) selección de proveedores.

En el mercado alimentario, las materias primas pueden ser clasificadas de varios modos: por sus características de interés técnico y comercial, por el tratamiento que han sufrido antes de su puesta en el mercado, por la calidad de los procesos productivos, etc. Ante esta variedad de posibilidades, será necesario establecer unos criterios para la selección de ingredientes, de acuerdo con el tipo de producto alimenticio que se desee fabricar. En este sentido, es importante que las materias primas que se adquieran, respondan de modo conveniente a todas y cada una de las especificaciones establecidas: 1) se adecuen a la tecnología prevista; 2) se acomode a la legislación vigente; 3) se encuentren en unas óptimas condiciones, desde el punto de vista nutritivo, sanitario y sensorial.

La correcta vigilancia de los suministros de materias primas, no sólo conduce a una selección de las mismas, sino también a la selección de los proveedores, eliminando a los que hayan demostrado negligencias en la oferta de la calidad solicitada o contratada.

Para planificar el control de las materias alimenticias que se reciben, es muy importante disponer de una información lo más detallada posible acerca de las características de cada producto. Siempre que sea posible, estas características deberán quedar definidas por unas pruebas objetivas de laboratorio. Desde un punto de vista práctico, pueden servir la determinación de parámetros como los siguientes: los caracteres organolépticos, el peso, la temperatura y pureza del producto, las condiciones de los envases, si el interior concuerda con lo indicado en la etiqueta y fecha de caducidad.

Otra tarea que se considera de especial importancia es el almacenado de las materias primas recibidas, que debe corresponder a las normas establecidas para estos efectos, de tal modo que no puedan sufrir alteraciones que supongan un riesgo sanitario cuando sean consumidas además de conservar todas sus propiedades nutritivas y sensoriales.

Se conocen con el nombre de *operaciones de producción* las actividades que van asociadas a la conversión de los ingredientes y aditivos empleados en el producto alimenticio programado. Se debe procurar que en las operaciones tecnológicas, las diversas materias primas empleadas no experimenten más cambios que los esperados. Para ello se han de tomar alguna cautela: debe vigilarse siempre que los parámetros específicos de cada proceso sean los adecuados.

Sin embargo, en la vida práctica nunca se está exento de que surjan sorpresas, porque los factores que intervienen en cada uno de los procesos de fabricación aplicables son numerosos: humedad, temperaturas de trabajo, tiempos de acción, acciones mecánicas, etc.

Por eso, pueden aparecer desviaciones que responden a causas muy diversas:

- Ignorancia de la adecuada tecnología, que lleva a una realización defectuosa.
- Uso de formulaciones inadecuadas.
- Empleo de equipos de trabajo no apropiados.

Para conseguir un control riguroso de cualquier operación implicada en la producción del producto deseado, es muy importante que se pueda disponer de unas «fichas», en las que quede reflejado de modo minucioso los parámetros siguientes:

- Listado de ingredientes, por orden de utilización.
- Cantidades que deben manejarse de cada uno de ellos.
- Diagrama del proceso.

La *logística de salida* es una actividad que engloba las tareas asociadas con la distribución física del producto acabado hasta que es vendido para su consumo. En primer lugar, se ha de procurar cumplir con todo rigor las normas establecidas para el transporte de los productos acabados y luego conservados de algún modo, hasta el lugar donde se ubica el punto de venta. Una vez aquí, la vigilancia de actuación ha de centrarse de modo muy particular en torno al almacenado que se haga de esos productos.

En definitiva, no basta que los productos alimenticios hayan sido fabricados de modo correcto y ajustándose con fidelidad a la tecnología diseñada, ni que hayan sido distribuidos de modo adecuado. Es preciso que durante su comercialización y venta se ofrezcan bajo las condiciones más apropiadas para su estabilidad.

Al igual que se ha indicado para las anteriores actividades, también en estas tareas se pueden producir desviaciones, como consecuencia de algún descuido que haya podido pasar inadvertido. Por ello, es conveniente que se establezcan algunos puntos en los que la función de control deba ser más exigente y cuidadosa.

Hay que señalar la importancia de la limpieza de todo el material utilizado, pues de ello depende la calidad higiénica de lo que se produce. Todas las instalaciones y equipos en uso deben ser mantenidas perfectamente limpias con arreglo a una programación adecuada.

La legislación establece que después de cada jornada de trabajo, o antes si es necesario, se debe proceder de modo sistemático a la limpieza y desinfección de todos los útiles empleados que hayan tenido contacto con los alimentos.

Las maquinarias no sólo deben recibir una limpieza una vez utilizada, sino que periódicamente deben realizarse en ellas controles microbiológicos de sus superficies.

Es muy útil disponer de unas fichas de limpieza para cada aparato, en la que conste la periodicidad requerida (diaria, semanal, mensual, etc.), el momento más apropiado para hacerlo, el modo de llevarla a cabo y el material que se precisa. Además, debe de hacer referencia a las precauciones que deben ser tomadas para que se evite cualquier tipo de peligro en su limpieza.

Finalmente, hay que subrayar tres aspectos de gran relevancia relacionado con el personal que manipula los alimentos:

- a) Este personal deberá observar la máxima pulcritud en su aseo y vestuario, portando las ropas adecuadas.
- b) No fumar, ni masticar goma o tabaco, o desarrollar cualquier otra práctica no higiénica en las dependencias donde se producen, o se manipulan, los productos alimenticios.
- c) En la manipulación de alimentos no podrán intervenir personas que padezcan, o bien sean simplemente portadoras, de enfermedades que puedan ser transmisibles por los alimentos.

Implantación de un sistema de análisis de riesgos e identificación y control de puntos críticos

Hasta 1993, el control de calidad en las industrias alimentarias y de modo particular la inspección de alimentos por parte de la Administración Pública, se llevaba a cabo a través de una inspección de las instalaciones y de los muestreos realizados en el producto final. Sin embargo, una Directiva de la Unión Europea (93/43/CEE), publicada en esa fecha, establecía, como garantía de calidad y de higiene en lo producido, la implantación en los establecimientos de restauración colectiva del nuevo sistema denominado *análisis de riesgos e identificación y control de puntos crítico?*, también conocido por las siglas ARICPC.

Los anteriores sistemas de control ejercían su función actuando sobre el producto final, cuya identidad confrontaban con unos patrones de referencia y de modo particular hacían hincapié en la presencia de una población microbiana y sus niveles correspondientes.

Tales formas de actuar adolecían de graves inconvenientes, planteados de modo particular por la necesidad de una toma de muestras bastante numerosa y por unas limitaciones en el tiempo en el caso de procediera actuar de acuerdo con los resultados de los análisis. Por otra parte, estos resultados sólo tienen capacidad para poner de manifiesto la presencia de unos efectos no recomendables, pero no permiten identificar las causas para poder controlarlas.

En cambio, el *sistema ARICPC* representa una metodología de prevención que simplifica bastante la tarea de inspección y, una vez implantado, resulta muy válida para garantizar la calidad de lo que se produce. El sistema ofrece un planteamiento racional para poder controlar los posibles riesgos microbiológicos que implican, tanto la producción como la comercialización del alimento fabricado, y evita todos los inconvenientes indicados en los planteamientos anteriores.

Es un método sistemático y preventivo, que permite evitar aquellos riesgos vinculados a la seguridad de los productos alimenticios que se elaboran. Fue desarrollado a partir de 1960, dentro de los programas de vuelos espaciales, para ser aplicado a la producción de comidas para los astronautas. En su aplicación a las industrias alimentarias, el Sistema exige disponer de un conocimiento profundo tanto de los ingredientes y aditivos implicados en las formulaciones de los productos, como de sus procesos de fabricación y comercialización, con el fin de utilizar tales informaciones para establecer unas caute- las y modos de proceder que permitan la prevención de los problemas que, en algún momento, puedan surgir. En definitiva, es un sistema que permite analizar los peligros potenciales y definir las medidas de prevención, o de corrección, de esos peligros.

El desarrollo del *sistema ARICPC* está basado en siete principios fundamentales, que se corresponden con las diversas etapas exigidas por el sistema y con la definición de sus principales funciones.

Principio 1: Identificación de los peligros y riesgos, así como evaluar su gravedad y sus riesgos

Se trata de una primera etapa, que puede ser calificada de esencial, pues de ella va a depender la validez del sistema. Consiste en una evaluación de los procesos implicados, de acuerdo con los conceptos de peligro, riesgo y gravedad:

- Se entiende por *peligro* toda carga microbiana, bien de origen o bien en cuanto supervivencia después de una cocción, que resulta inaceptable porque puede afectar a la inocuidad del consumo del alimento, unas veces por su patogenicidad, otras por aportar al alimento toxinas propias de su metabolismo.
- Se entiende por *riesgo* la estimación de la probabilidad para que pueda sobrevenir un peligro.
- Se entiende por *gravedad* la magnitud de un peligro, o bien la importancia de sus posibles consecuencias.

En el caso de una industria alimentaria, tiene como finalidad detectar cuatro puntos importantes relacionados con la calidad higiénico-sanitaria de los alimentos producidos:

- a) Identificar los ingredientes potencialmente peligrosos por su población microbiana.
- b) Identificar las puntos precisos a lo largo de todo el proceso, desde la adquisición de materias primas hasta la venta de los productos elaborados, que pueden ser un posible peligro de contaminación.
- c) Determinar la probabilidad de que la población microbiana pueda sobrevivir a los tratamientos térmicos aplicables.
- d) Evaluar los riesgos y gravedad de aquellos peligros que han sido identificados.

Principio 2: Establecer cuáles son los puntos críticos a controlar

Se conocen con el nombre de *puntos críticos de control (PCC)*, aquellos puntos, etapas, operaciones y técnicas, implicados en el proceso global y en los que es posible intervenir a través de uno, o más, factores con el fin de eliminar el peligro por completo (en este caso se suelen denominar PCC_1) o, al menos, minimizar sus efectos (en este caso se suelen denominar PCC_2).

Principio 3: Especificación de los criterios que permiten saber si una operación se encuentra controlada por un PCC

Para cada *PCC* establecido se debe definir aquellos parámetros de naturaleza física, química, biológica o sensorial, cuyas determinaciones permite establecer los criterios o límites críticos, más allá de los cuales el peligro de riesgo no parece que pudiera ser controlado.

Principio 4: Elaboración de un sistema de vigilancia

En cada punto crítico hay que establecer un conjunto de observaciones y/o medidas, que deben ser tenidas en cuenta como verificación y análisis de los datos. Con ellas se pretende prevenir todo lo que se deriva de ese punto crítico.

Principio 5: Establecimiento de las acciones correctivas

Cuando se detecta que se han sobrepasado los límites o criterios establecidos, hay que poner en marcha una serie de acciones correctoras.

Principio 6: Registro de datos

Se debe establecer un sistema documentado, que puede consistir en el uso de hojas de papel o en el empleo de ordenadores, donde quede registrado el conjunto de acciones realizadas y los resultados generados. Estas medidas de actuación tienen el interés de permitir el análisis de los datos registrados, cuando exista algún problema, y también capacitar para la verificación del control.

Principio 7: Verificación del sistema

Tiene por objeto asegurar que se aplican las medidas establecidas y que tales medidas resultan eficaces. De este modo se puede confirmar que el sistema funciona correctamente.

Una vez definido se puede apreciar que el *Sistema ARICPC* se apoya, dentro de su implantación, sobre tres funciones principales:

a) Prevención de peligros a través de unas medidas preventivas, que necesariamente deben responder a las exigencias específicas para el control de cada tipo de producción.

La naturaleza de tales medidas puede ser muy variada: puede afectar a las operaciones y condiciones de tratamiento o de fabricación del producto o bien, en un sentido amplio, puede tratarse de cualquier actividad que pueda contribuir, de modo más o menos directo, a limitar, reducir o eliminar los peligros identificados.

b) Una vigilancia que permita asegurar la aplicación y la eficacia de las medidas preventivas y de las condiciones establecidas para el control de los peligros.

Se aplica justamente en los *puntos críticos de control*, mediante unas acciones específicas que, en poco tiempo, nos proporcione los datos de aquellos parámetros, cuyos valores medibles nos permita evaluar la marcha del proceso.

c) La verificación o examen profundo de la marcha del sistema bajo la forma de una auditoría o de una revisión. Tiene un doble objetivo: verificar que las disposiciones establecidas se aplican de modo correcto y asegurar la eficacia real del sistema.

Para planificar su implantación es imprescindible conocer las secuencias de las etapas tecnológicas que intervienen en el procesos global; es decir, hace falta dis-

poner del diagrama de flujo, con el fin de adoptar la precaución de proyectar etapas alternativas para resolver posibles variaciones, ocasionadas muchas veces por las propiedades de las materias primas adquiridas.

En esencia, el diagrama de flujo atañe a cinco etapas del proceso sobre las que debe centrarse la especial atención del sistema:

1. Selección y control de materias primas.
2. Almacenado de las mismas hasta su utilización, que debe corresponder siempre a las condiciones óptimas de temperatura e higiene.
3. Manipulación tecnológica de los productos para su transformación en el producto alimenticio diseñado, que siempre influye sobre su calidad sanitaria.
4. Conservación y distribución de los productos fabricados, de modo que se eviten contaminaciones microbianas.
5. Correcto acondicionamiento en los puntos de venta, de tal modo que su estabilidad garantice la conservación de sus cualidades nutritivas, sensoriales y sanitarias.

La implantación del *sistema ARICPC* como mecanismo de control de calidad en las industrias alimentarias exige una doble actuación, sucesivas en el tiempo:

- a) Llevar a cabo un profundo análisis de cada paso del proceso productivo, desde la adquisición de los ingredientes hasta la venta del producto ya terminado.
- b) Poner en juego la metodología y sistemática adecuada para comprobar y vigilar que se cumple lo que se haya dictaminado para cada *punto crítico de control*.

El análisis como elemento auxiliar del control de calidad: fisicoquímico, enzimático, microbiológico y sensorial

Dentro de las actividades que debe llevar a cabo un departamento de control de calidad se encuentra la valoración cuantitativa de diferentes parámetros específicos de las características de un alimento. Dentro de este ámbito se consideran parámetros aquellos «atributos de un producto alimenticio que son susceptibles de ser reconocidos de forma cualitativa y valorado de modo cuantitativo». El conjunto de operaciones experimentales que es necesario realizar para determinar sus dimensiones se denominan *medidas*. Para obtenerlas se aplican instrumentos capaces de transformar el valor de su magnitud en una información o una indicación, como pueden ser balanzas, termómetros, espectrofotómetros, etc.

La medida de cualquier parámetro representativo de alguna propiedad que debe ofrecer el alimento puede corresponder a metodologías diversas, de acuerdo con la información que se desee obtener. Pueden ser análisis de cuatro tipos: fisicoquímicos, enzimáticos, microbiológicos o sensoriales. De todos modos, cualquiera que sea el análisis aplicado debe cumplir con una serie de requisitos establecidos por las

leyes que rigen las buenas prácticas de laboratorio: repetible, sin fluctuaciones, sensible, con límites de detección reducidos, exacto y que aporte datos fiables.

A) El análisis fisicoquímico

Los análisis fisicoquímicos suelen estar apoyados en el empleo de instrumentos que responden a los más variados principios físicos y químicos. Entre ellas caben destacar las técnicas espectrofotométricas, turbidométricas, de absorción atómica, de emisión atómica, cromatográficas (tanto en fase líquida como en fase gas líquido), electroforéticas, analítica térmico diferencial y Teológicas.

El principio general en el que se basa cualquier técnica óptica radica en aprovechar de modo cuantitativo, siempre bajo condiciones experimentales muy estrictas y perfectamente controladas, los fenómenos de interacción que se dan entre las radiaciones y la materia, ya sean átomos, moléculas o iones. En ellas se utiliza la absorción de la energía radiante para el análisis de los alimentos y son técnicas que no han dejado de evolucionar hacia instrumentos cada vez más perfectos y sofisticados.

La *espectrometría de absorción molecular* se aplica con mucha frecuencia para resolver problemas analíticos de identificación y de dosificación, aplicando técnicas muy diversas, que abarcan desde la colorimetría con filtros simples hasta la espectrometría de alta resolución, cuya instrumentación permite automatizar el proceso analítico con resultados muy rápidos y fiables.

Sus aplicaciones en el ámbito agroalimentario resultan muy numerosas debido a la simplicidad, robustez y facilidad de maniobra que ofrecen los materiales que se utilizan. No obstante, exige precisar con todo detalle las condiciones de trabajo a las que se debe preparar la muestra: pH, disolventes y temperatura.

La concentración es el principal parámetro a determinar y se consigue a través de un coeficiente de extinción, generalmente elevado, que exige una gran dilución de la muestra analítica. Cuando se usan disolventes polares puede haber interferencias con el soluto, que dan lugar a desplazamientos del espectro y falsean los resultados.

Estos métodos espectrométrico resultan muy adecuados para la identificación de componentes químicos de los alimentos, siempre que se conozcan de modo previo las longitudes de ondas que corresponden a las principales bandas de absorción.

Así, la espectrometría en el UV se aplica a productos que disponen de grupos cromóforos, de modo particular las moléculas que poseen en sus estructuras algún heterociclo, núcleo aromático, o un grupo C=O, N=O y N=N. Una molécula con un solo doble enlace tiene una absorción en el ultravioleta lejano, hacia 180-220 nm, mientras que si posee dos dobles enlaces conjugados absorbe de modo potente entre 250 y 400 nm. Por ello, se aplica de modo especial para conocer el grado de insaturación de los lípidos. A veces no resulta suficiente las bandas de absorción y hay que completar la información con los coeficientes de absorción.

También se aplica para definir de un modo objetivo el color de un alimento, porque el uso de un programa informático adecuado permite obtener a partir del espectro las denominadas coordenadas tricromáticas CIÉ.

Numerosas son también sus aplicaciones en el ámbito del análisis cuantitativo, aunque en estos casos sea importante elaborar un protocolo de la metodología dentro de las condiciones analíticas donde se cumpla la ley que correlaciona de modo lineal las variaciones entre densidad óptica y concentración.

Pueden aparecer algunas perturbaciones debidas al medio reactivo, que pueden ser soslayadas mediante el empleo de la espectrometría diferencial, cuyos instrumentos incorporan programas informáticos que, mediante el cálculo de las correspondientes derivadas, ofrecen una mayor resolución de los espectros. De este modo, se ha podido caracterizar y controlar el grado de pureza de muchas proteínas, entre ellas las enzimas.

Por su rapidez, se ha aplicado la *espectroscopia de reflexión* en el infrarrojo próximo a la determinación de agua, proteína, carbohidratos y lípidos.

La *turbidimetría* es uno de los métodos analíticos usados desde muy antiguo por la industria agroalimentaria para juzgar de la pureza y magnitud del brillo en líquidos y zumos. Se trata de una fotometría en medio turbio que aprovecha la dispersión de la luz por las partículas suspendidas cuando se somete a una radiación incidente. Lo que se valora con el instrumento es la intensidad luminosa residual de la radiación que incide sobre la muestra. Hoy día se aplica para control de potabilización de aguas, producción de vinos, cervezas, conservas, etc. e incluso para conocer el crecimiento de cultivos microbianos.

También la *refractometría* se aplica para medir concentraciones de azúcares o de proteínas en jarabes, zumos, leches, etc.

Para la determinación cuantitativa de elementos minerales contenidos en los alimentos se aplican diversos métodos espectrométricos. Desde la segunda mitad del siglo XIX se conoce que el espectro emitido por un átomo es una característica del mismo y de su estado energético. Sin embargo, ha sido a lo largo de los últimos decenios cuando el análisis espectral ha sido un método analítico muy empleado para cuantificar muchos elementos minerales contenidos en un producto alimenticio.

La espectrometría de *emisión de llama* se aplica de modo principal en el análisis de alimentos para valorar los contenidos en sodio y potasio, puesto que con equipos relativamente simples se alcanzan sensibilidades del mismo orden que con la absorción atómica. No obstante, su campo de acción también se extiende a la valoración de otros elementos como calcio, litio, cromo, cobre, hierro o manganeso en aguas minerales, bebidas, extractos de plantas, etc.

Para la cuantificación de algunos elementos como fósforo, azufre, selenio, halógenos, etc. se emplea hoy día con gran eficacia una nueva modalidad de la emisión de llama, conocida como espectroscopia de *emisión molecular en cavidad*, que entre otras cosas mejora los tiempos empleados en los análisis.

Sin embargo, es la espectrometría de *absorción atómica* la considerada como la metodología más útil para valorar metales en alimentos. Dentro del campo agroalimentario se suele aplicar a la determinación de metales prooxidantes y de metales tóxicos, aunque en algunos casos como plomo, cadmio, arsénico y mercurio sea preciso un tratamiento previo de las muestras para acentuar su volatilidad.

Igualmente, la *fluorescencia* y la *fosforescencia molecular* se aplican para la valoración cuantitativa del contenido alimenticio en muchos elementos minerales.

Para otros muchos componentes alimenticios se disponen hoy día de una gran variedad de técnicas cromatográficas, que en cualquiera de sus modalidades son útiles tanto para el análisis cualitativo como el cuantitativo. Las cromatografías en *fase líquida* y la de *gas-líquido* deben ser consideradas como métodos complementarios, pues cada una de ellas tiene su campo de aplicación bien definido, aunque no faltan situaciones analíticas en las que se pueda aplicar tanto uno como otro. Actualmente se aplican al análisis de iones orgánicos e inorgánicos, azúcares, lípi-

dos, proteínas, péptidos, aminoácidos, vitaminas, aditivos y contaminantes alimenticios. Por su parte, la *electroforesis* en todas sus gamas se ha aplicado a la identificación de variedades de trigo y de cebada, a determinar el porcentaje de huevo contenido en una pasta alimenticia, a la detección de leche de vaca en quesos de otros rumiantes, a detectar la adición de proteínas vegetales a productos alimenticios de origen animal, etc.

Por otra parte, el *análisis térmico diferencial* se ha aplicado con éxito para conocer el estado físico en el que se encuentran algunos de las sustancias que integran la composición de un alimento, para obtener una información acerca de su contribución a las propiedades de dicho alimento. La especie química a estudiar puede ser de lo más variado: agua, lípidos, azúcares, proteínas y polisacáridos.

Finalmente, las *técnicas reológicas* se aplican para conocer las características de muchos sistemas alimentarios que incluyen comportamiento de fluidos no newtonianos o sólidos elásticos lineales. No hay que olvidar que la reología tiene como finalidad el estudio del flujo y la deformación de la materia. Por ello, este tipo de técnicas representan en la actualidad un instrumento esencial para que la industria alimentaria pueda conocer el valor panadero de una harina, el poder espesante de un hidrocoloide, las modificaciones en las cuajadas caseínicas de las queserías, etc. A través de su evaluación instrumental permite conocer algunos parámetros definidores de los atributos de textura de muchos alimentos, dando información acerca de su dureza, fragilidad, consistencia, adhesividad, etc.

B) El análisis enzimático

Se denomina así a la utilización de métodos analíticos en los que se hace intervenir la actividad de una o más enzimas. Dentro del mismo caben dos variedades importantes, ambas muy usadas en el ámbito del análisis de alimentos:

- Determinación de la concentración de una sustancia química con la ayuda de enzimas, es decir, cuantificación del sustrato de la reacción enzimática.
- Determinación de la actividad catalítica de un alimento, es decir, valoración cuantitativa de una enzima.

A pesar de que tales métodos se conocían desde el siglo pasado, su aplicación a la química de los alimentos es un hecho relativamente reciente. Son muchos los alimentos en los que el análisis enzimático permite valorar el contenido en algunos de sus componentes, en cuanto sustrato de la actividad de ciertas enzimas.

En el caso de bebidas como vinos, cervezas, sidras, etc. se determinan varios: azúcares, tales como osas y ósidis; alcoholes, como etanol, glicerol, sorbitol; ácidos orgánicos, como acético, láctico, málico, cítrico, isocítrico, succínico, etc.; para las leches, su contenido en lactosa; en alimentos grasos, su nivel de colesterol; en productos cárnicos, las concentraciones de pirofosfatos, creatina, creatinina; etc. En definitiva, el número de parámetros que pueden ser determinados mediante un análisis enzimático se incrementa día a día.

La valoración de un compuesto presente en un producto alimenticio en cuanto sustrato de una reacción enzimática se puede llevar a cabo de dos modos diferentes:

- a) Por el método del punto final: se mide la transformación total del sustrato en otras especies químicas que son productos finales de la reacción.

- b) Por el método cinético: se mide la velocidad de la reacción enzimática, que es función de la concentración de sustrato y de las otras sustancias que intervienen en ella: cofactores, activadores, inhibidores, etc.

Estas dos metodologías son completamente diferentes y cada una de ellas exige sus cautelas específicas. Cuando se trata del primer tipo, la transformación completa del sustrato debe ocurrir de la manera más rápida posible. Para ello se usan grandes cantidades de enzima frente a una reducida cantidad de sustrato.

Son reacciones de equilibrio que no crean ningún problema cuando se desplazan totalmente hacia la transformación del sustrato. En este caso es fácil conocer el resultado final con la ayuda de una constante física que sea característica de dicho sustrato. En la mayoría de los casos se usa el coeficiente de absorción de la luz.

No obstante, muchos alimentos pueden presentar situaciones en los que no hay total transformación del sustrato por existir un equilibrio de reacción que le es desfavorable. En este caso se puede desplazar el equilibrio si el producto final se va eliminando a medida que se forma con la ayuda de una reacción enzimática secundaria. En último extremo se usa una curva de valoración obtenida bajo condiciones muy específicas y bien definidas.

En cambio, para los métodos cinéticos debe cuidarse que las concentraciones de enzima y sustrato sean las adecuadas para que la cantidad de sustrato transformado por unidad de tiempo no sea demasiado rápida y pueda ser medida con precisión. Lo que se valora con esta metodología es la velocidad inicial de reacción, que se obtiene mediante la ecuación de Michaelis-Menton, velocidad que está relacionada con la concentración del sustrato. Su aplicación debe efectuarse para aquellas concentraciones de sustrato en las que la reacción corresponde al orden 1. Resulta particularmente muy útil el empleo de un espectrofotómetro que registre de modo continuo las variaciones de la absorbancia con el transcurso de la reacción.

En los últimos años se ha introducido el empleo de enzimas inmovilizadas sobre soportes inertes, que tienen la gran ventaja de poder ser reutilizadas para otras determinaciones, además de su estabilidad, pudiéndola separar del medio de reacción cuando se considere oportuno.

En la industria alimentaria también se pueden utilizar las medidas de actividades enzimáticas para los fines más diversos: controlar la calidad de un alimento, verificar la eficacia de un tratamiento térmico, vigilar la estabilidad en el almacenado de frutas y verduras, seguir la germinación de la cebada en las operaciones de malteado, evaluar la maduración de las carnes, diferenciar el pescado fresco del congelado, evolución de alimentos fermentados como quesos o cervezas, etc.

Para la cuantificación de los resultados se pueden aplicar dos tipos diferentes de técnicas instrumentales:

- La fotometría de absorción molecular, que representa el método usado con mayor frecuencia. Con ella se valora el incremento o reducción de la absorción del NADH o del NADPH, coenzimas de enzimas oxidorreductoras, que en su forma reducida presenta picos de absorción en el ultravioleta próximo (340 nm). Responden a gran número de métodos que reciben el nombre general de *métodos UV*. Cuando se basan en la formación de un compuesto coloreado que absorbe en el visible, se denomina *colorimetría*.
- Cuando el producto de una reacción enzimática da lugar a un fenómeno de fluorescencia se pueden aplicar con facilidad los métodos *fluorimétricos*. La

magnitud de su variación a una longitud de ondas determinada en función del tiempo proporciona una medida de la concentración del sustrato de una manera bastante más sensible que los métodos espectrofotométricos convencionales, aunque su empleo se vea obstaculizado por el riesgo de diversas interferencias. Cuando el producto de la reacción no es fluorescente de modo espontáneo, se le puede hacer reaccionar con algún compuesto específico, o a veces, basta simplemente con modificar el pH.

La especificidad de la actividad de las enzimas confiere a los análisis enzimáticos cierta superioridad sobre los métodos clásicos de análisis químico. Entre otras cosas, permite valorar glucosa en una mezcla de azúcares, lo que era imposible con los métodos colorimétricos convencionales. Además, exige menos tiempo de trabajo analítico, porque una vez preparada la muestra no necesita de posteriores etapas de purificación. Solamente cabe señalar en su contra el coste de los reactivos, que se ve compensado con el ahorro de tiempo y mano de obra.

Su simplicidad, fiabilidad, sensibilidad, etc. explica que estos métodos se impongan cada vez más en los ámbitos de la industria alimentaria.

C) El análisis microbiológico

En el ámbito de la industria alimentaria, el análisis microbiológico se puede aplicar con dos fines bien diferentes:

- Para la caracterización y recuento de microorganismos que pueden estar presentes en un alimento, muchas veces como consecuencia de una contaminación. Tiene un interés eminentemente sanitario pues se suele realizar para confirmar la ausencia de patógenos, aunque también se aplica para conocer la existencia de una posible carga microbiana alterante del alimento durante su conservación, más o menos prolongada.
- Se hace uso de un cultivo de microorganismos como agentes capaces de efectuar reacciones que tienen un cierto interés desde un punto de vista analítico, tanto cualitativo como cuantitativo. Aunque muchas de estas reacciones sólo tienen hoy día un interés histórico, como puede ser la valoración de una mezcla de glucosa y lactosa o la identificación de los isómeros del ácido tartárico, sin embargo todavía nos encontramos ante casos de gran utilidad porque permite resolver problemas difícilmente solucionables con las técnicas fisicoquímicas.

Así, por ejemplo, estas técnicas microbiológicas se pueden utilizar en la actualidad para la investigación global de la presencia de sustancias con actividad antimicrobiana, que de modo ilegal han podido ser añadidas a un alimento como agentes de conservación y constituye un fraude. Se suelen usar para investigar la presencia de antisépticos en bebidas y zumos, o de antibióticos en leches.

D) El análisis sensorial

La evaluación de la calidad organoléptica de un alimento se realiza mediante los que se denomina análisis sensorial. Entre todas las metodologías analíticas que se

aplican para valorar la calidad de un alimento destaca el análisis sensorial por una característica específica que le distingue de los demás: sus datos corresponden a observaciones subjetivas de personas y no a la medida objetiva de un instrumento. Tal vez por ello le legitime como una de las técnicas que gozan en los momentos actuales de una mayor preferencia y desarrollo.

Puede definirse como el conjunto de técnicas que permiten evaluar algunas propiedades de los alimentos mediante la contribución de uno o más órganos de los sentidos. Es decir, su principal objetivo es la medida de las cualidades organolépticas de los alimentos.

Existen tres modos diversos de información que se reciben a través de nuestros sentidos:

- Un modo *cualitativo*, mediante la característica que se percibe.
- Un modo *cuantitativo*, mostrando la intensidad de la sensación.
- Un modo *hedónico*, que expresa el placer sentido por el individuo cuando percibe la sensación.

Esta última modalidad resulta muy importante porque puede determinar las preferencias alimentarias, que a su vez están influidas por factores individuales, sociales y culturales. Sin embargo, hay que subrayar cómo el análisis sensorial, en cuanto valoración de las propiedades de un alimento, no se dirige a establecer preferencias sino que se apoya en las dimensiones cualitativa y cuantitativa.

Las técnicas de evaluación sensorial comenzaron a ser desarrolladas en la década de los años cuarenta bajo metodologías muy variadas (escalas hedónicas, test dúo-trío, análisis de textura y flavor, etc.) que han desembocado en numerosos métodos de los más variados, que han de aplicarse en cada caso, según el objetivo del estudio que se tenga que realizar.

A pesar de todo, se puede hablar de una metodología general que implica cinco fases sucesivas:

1. Planteamiento

La buena aplicación de un análisis sensorial requiere un planteamiento previo que abarca a los objetivos, los parámetros a medir y a la muestra que se ha de evaluar.

Tarea primordial es la *fijación de unos objetivos* porque va a ser el determinante principal para la selección de las pruebas a realizar y el modo de obtener e interpretar los resultados. Si los objetivos fueran planteados de un modo ambiguo o equivocado conduciría a la elección de pruebas analíticas inadecuadas y los resultados obtenidos no aportarían una información correcta.

La concreción de los objetivos resulta imprescindible no sólo para planificar el análisis, sino también para decidir si es útil y necesario, así como resolver si va ser suficiente una sola prueba sensorial o serán necesarias varias consecutivas.

Una vez fijado el objetivo hay que establecer cuáles son los *parámetros* que deben ser medidos, sin duda en función de las características de la muestra. Precisamente, la *muestra* debe ser bien examinada para disponer el modo de su presentación, la cantidad necesaria, el número de muestras y cuántas han de ser las determinaciones a realizar por muestra.

2. Planificación

En esta fase de planificación existen tres factores esenciales, que requieren especial atención para alcanzar la validez de los resultados y el éxito final. Son la selección y adiestramiento de jueces, la selección de pruebas y el diseño estadístico.

En primer lugar es necesario proceder a la *selección de jueces*, que deben ser informados de modo adecuado acerca de cómo han de actuar y recibir el *adiestramiento* apropiado. Otro punto importante es el decidir cuál debe ser el número de jueces que han de participar en la prueba, aunque este dato depende del tipo de jueces que vayan a participar en la realización del análisis.

En este ámbito analítico se pueden señalar cuatro tipos diferentes de jueces:

Juez experto. Persona que por su gran sensibilidad en evaluar las características de un tipo de alimento y percibir sus diferencias puede ser considerada como un gran experto en ese alimento. Bastaría con su opinión para sacar una conclusión acertada.

Juez entrenado. Persona que posee cierta habilidad para detectar alguna propiedad organoléptica en particular y que ha recibido una formación adecuada en lo que respecta a lo que se debe medir para esa evaluación sensorial concreta. El número requerido para formar un grupo debe ser no menos de siete ni más de quince.

Juez de laboratorio o semientrenado. Personas que tienen suficiente habilidad para percibir cualidades organolépticas y han recibido un cierto adiestramiento, aunque por lo general sólo participan en pruebas discriminativas sencillas. Este tipo de juez exige un mínimo de diez por grupo y un máximo de veinte.

Juez consumidor. Personas que no se relacionan con la fabricación o investigación del alimento, pero son consumidores habituales o potenciales del producto a evaluar. Suelen ser personas tomadas al azar y sólo se deben usar para pruebas afectivas y nunca para discriminativas o descriptivas. Para que tengan validez estadística los datos recolectados se necesitan un mínimo de treinta jueces de este tipo.

En cuanto a los criterios aplicables para la selección de los jueces, que normalmente pueden participar en los grupos que actúan en industrias o laboratorios, existen ciertos requisitos que resultan fundamentales poseer: habilidad, disponibilidad, interés y ecuanimidad en su funcionamiento.

De acuerdo con la finalidad que se requiera del análisis sensorial de un alimento se procede a la *selección de las pruebas* más convenientes. En la práctica de este tipo de análisis existen tres tipos básicos de pruebas sensoriales: discriminatorias, descriptivas y afectivas.

Las pruebas *discriminatorias* son las orientadas a detectar diferencias entre dos o más muestras. En algunos casos también puede valorar la magnitud o importancia de esta diferencia. Se pueden señalar seis como las más empleadas en el ámbito de la industria o la investigación:

- Prueba de comparación apareada simple.
- Prueba triangular.
- Prueba dúo-trío.
- Prueba de comparaciones apareadas de Scheffé.
- Prueba de comparaciones múltiples.
- Prueba de ordenamiento.

Para las tres primeras, dada su sencillez, se pueden emplear jueces semientrenados, pero para las tres últimas es preferible actuar con jueces entrenados.

Las pruebas *descriptivas* tratan de precisar las propiedades organolépticas de un alimento y valorar la magnitud o intensidad de los atributos del alimento. Aportan una mayor información, pero requieren el empleo de jueces con intenso adiestramiento a los que se les exige una ordenación de las muestras en función de un determinado parámetro o la utilización de una escala para indicar la posición que la muestra ocupa en ella. Las escalas empleadas, además de ser simples o múltiples, se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Nominales: cuando los números son utilizados como si fueran nombres.
- Ordinales: cuando los números reflejan un orden.
- De intervalo: cuando los números indican diferencias o distancias entre magnitudes. Pueden ser descriptivas o verbales, cuando indican mediante una palabra el grado de intensidad de la magnitud a evaluar; numéricas, cuando representan con una serie de números ordenados de menor a mayor los niveles sucesivos detectados para la magnitud de la percepción sensorial; mixtas, cuando cada punto de la escala se define con un número y una expresión descriptiva.

Así como parece que las posibilidades de nuevas pruebas discriminatorias han sido agotados, en cambio en el ámbito de la descriptivas se siguen investigando para nuevos desarrollos. De todas las existentes caben citar como más interesantes las siete siguientes:

- Calificación con escalas no estructuradas.
- Calificación con escalas de intervalo.
- Calificación con escala estándar.
- Calificación proporcional.
- Medición de atributos sensoriales con relación al tiempo.
- Determinación de perfiles sensoriales.
- Relaciones psicofísicas.

Las pruebas *afectivas* son aquellas en las que mediante escalas hedónicas se expresa una reacción subjetiva ante el alimento, de gusto o disgusto, de aceptación o de rechazo, de preferencia o no. Suelen corresponder a tres grupos de pruebas distintas: de preferencia, de grado de satisfacción y de aceptación. Resultan muy informativas desde el punto de vista de la comercialización de un alimento cuando se llevan a cabo con jueces no entrenados, que deben ser consumidores habituales del alimento que juzgan, en un número no menor de treinta.

3. Realización

En esta fase hay que valorar una serie de factores experimentales que pueden influir en los resultados de un modo positivo o negativo, según se desarrollen. Son de tres tipos: aspectos informativos, aspectos ambientales y aspectos prácticos.

Factores informativos. Todos los jueces deben estar bien informados del trabajo que han de realizar y el cómo han de llevarlo a cabo; asimismo es importante

que el director del grupo de jueces conozca las características de cada uno de ellos con el fin de evitar diferencias psicológicas, fisiológicas, etc.

Factores ambientales. Como las pruebas del análisis sensorial son realizadas por personas y no por instrumentos, es importante evitarles las interferencias provocadas por estímulos ajenos a la prueba. Por ello han sido normalizadas las condiciones bajo las cuales ha de trabajar cada juez: lugar de trabajo, iluminación, horario de las pruebas, temperatura de las muestras, etc. Los requisitos que debe reunir una sala de catas se recogen en la norma UNE 87-004-79.

Factores prácticos. También conviene fijar detalles como cantidad de muestra, recipientes que las contienen (platos, vasos, etc.), número de muestras, forma y orden de presentación, así como cuestionarios a cumplimentar.

4. Estudio e interpretación de datos

La obtención de los datos y el análisis estadístico a que deben ser sometidos depende del tipo de prueba elegida, así como de su realización práctica.

La variabilidad de las pruebas sensoriales da lugar que en unos casos basta con aplicar un simple test de comparación de dos medias (t-Student) o bien en otros se necesita aplicar un análisis estadístico multivariable del tipo de análisis factorial.

5. Resultados finales

Con todos los datos obtenidos en las fases anteriores se realiza el informe correspondiente en el que quedan analizadas las características organolépticas de un alimento.

Finalmente, se pueden indicar las reglas que debe cumplir cualquier tipo de pruebas sensoriales que se aplique en el análisis sensorial:

- Definir las características del grupo que evaluará las muestras.
- Definir el tamaño del grupo.
- Definir con toda precisión la muestra que ha de ser evaluada y las condiciones bajo las cuales ha de llevarse a cabo la evaluación.
- Elegir la prueba apropiada al problema que se quiere conocer.
- Cuidar de modo riguroso el anonimato de las muestras para los jueces, así como la independencia de los mismos.

PARTE IV



Picasso, Naturaleza muerta, París.

LA ALTERACIÓN DE LOS ALIMENTOS

Estabilidad de los alimentos y tipos de alteraciones

- Introducción.
- Tipos de alteraciones en los alimentos.
- Concepto de vida útil aplicado a los alimentos.
- Predicción de la vida útil.

Introducción

Una importante consecuencia de las diferencias climáticas entre las distintas zonas de la tierra y la irregular distribución de la población, ha sido el que existan zonas preferenciales dentro de la producción de alimentos con los que se han de cubrir las necesidades alimenticias de otras muchas zonas muy pobladas y distantes.

El carácter estacional de la producción de materias primas empleadas en la elaboración de alimentos, unido a las grandes distancias que se dan entre los lugares geográficos donde se fabrican los productos alimenticios y las zonas habitadas donde se ha de llevar a cabo su venta y consumo, impone la necesidad de almacenar tanto las materias primas obtenidas o recolectadas, como los productos alimenticios elaborados o transformados.

Todos los alimentos que usamos se elaboran a partir de materias primas alimenticias que tienen un origen biológico. Responden a productos que proceden de tejidos animales o vegetales, cuyas estructuras celulares aportan sustancias enzimáticas residuales que pueden ser la causa o el origen de una serie de alteraciones en la composición química del alimento y, en consecuencia, en sus propiedades sensoriales y nutritivas.

Durante su almacenamiento, todos los alimentos pueden sufrir deterioros en distintos grados, que conllevan los más diversos contratiempos: desarrollo de propiedades sensoriales no deseables; reducción del valor nutritivo; limitación en la garantía de su seguridad, etc.

En la práctica, resultan bastante numerosos aquellos factores que, relacionados

con el medio ambiente donde se encuentra el alimento, son capaces de provocar algún desequilibrio entre sus componentes químicos y afectar de modo negativo a las estructuras responsables de cualidades como la textura o la consistencia: humedad, sequedad, temperatura, radiaciones, oxígeno del aire, sistemas enzimáticos, microorganismos, etc.

Aparte de este amplio rango de factores potenciales, también hay que contar con la gran diversidad de productos alimenticios comercializados hoy día, donde la rapidez o lentitud de su degradación está precisada por sus propias características: unos sólo permanecen estables horas (carnes, aves, pescados o leche fresca), mientras que otros puede permanecer inalterables muchos días (pobres en humedad, ricos en sal, azúcar o ácidos, etc.).

Por consiguiente, es ineludible que la industria alimentaria pueda disponer de los procedimientos adecuados para mantener sin variaciones los parámetros específicos de las propiedades de los alimentos. De aquí, la gran variedad de métodos que dicha industria aplica para mantener estable la calidad de todo lo que produce.

De acuerdo con las características de su estabilidad, los alimentos comercializados se pueden reunir en dos grandes grupos:

- a) Productos de conservación más o menos prolongada, entre los que caben distinguir tipos diferentes:
 - Alimentos *estables*, cuando nunca se suelen alterar, a menos que se manipulen de modo descuidado (azúcar, legumbres, etc.).
 - Alimentos *inestables*, cuando necesitan de una manipulación adecuada de fabricación, envasado y embalaje, para que mantengan su estabilidad durante bastante tiempo (patatas, frutas, etc.).
- b) Los productos de conservación limitada, conocidos como *alterables*, que pueden ser frescos o semifrescos, y requieren el inmediato tratamiento tecnológico para evitar que se alteren en poco tiempo (carnes, pescados, huevos, leches, etc.).

Debido a la cantidad de factores que puede incidir en ella, no resulta sencillo establecer con ciertas garantías el tiempo de duración de la vida útil comercial de cualquier alimento: materias primas, composición química, tratamientos tecnológicos, acondicionamientos, tipos de posibles alteraciones, etc.

En la práctica, todos los estamentos que puedan estar involucrados en el ámbito del alimento, desde su fabricación hasta su consumo, pasando por el almacenamiento, la distribución y la venta, inciden sobre la duración de la vida útil de un producto alimenticio.

Tipos de alteraciones en los alimentos

El almacenado de los alimentos durante un cierto periodo de tiempo puede implicar la posibilidad de alteraciones que perjudican su calidad sensorial y, en muchas ocasiones, significan su descomposición.

En la práctica se pueden establecer tres tipos de alteraciones posibles en los alimentos atendiendo a sus principales causas (Tabla 13.1):

- a) *Alteraciones físicas*. Casi siempre están vinculadas a la manipulación durante la recolección de productos vegetales; a la evaporación del agua; a cambios provocados por los procesos tecnológicos de preparación y conservación; a la acción dañina de parásitos, insectos y roedores; etc.
- b) *Alteraciones químicas*. Se relacionan con mecanismos de reacción, que tienen lugar bajo determinadas condiciones entre las sustancias químicas presentes, dependientes la mayoría de las veces de actividades enzimáticas o de la implicación del oxígeno del aire en reacciones de oxidación.
- c) *Alteraciones biológicas*. Tienen su origen en alguna actividad de tipo biológico.

— *Actividad enzimática*. Los productos alimenticios de origen animal o vegetal conservan activos diversos sistemas enzimáticos, que van modificando la proporción química del alimento; como ocurre con la respiración de los granos de los cereales almacenados, muchos de ellos pueden ser inactivados por el calor o al menos ser frenados por el frío. Sus efectos están en función del tiempo que dure su permanencia en almacén.

— *Acciones de parásitos o de infestaciones por insectos, roedores, etc.* Los insectos son particularmente destructores de granos de cereales, legumbres, verduras y frutas, no por lo que un insecto pueda comer, sino porque al hacerlo abren huecos por donde pueden penetrar los microorganismos, capaces de provocar alteraciones más graves. Por consiguiente el almacenamiento de los alimentos debe ser protegido de insectos, ya sea mediante el empleo de atmósferas inertes no tóxicas, ya sea por aplicación de temperaturas de frío.

Algunos parásitos han causado graves problemas para la salud pública, como el nematodo *Trichinella spiralis*, que parásita la carne de cerdo. También algunos pescados marinos, como arenques, bacalao, caballa y salmones pueden estar inva-

Tabla 13.1

Principales causas de alteración en los alimentos

1. Físicas

- Temperaturas no apropiadas.
- Pérdidas o ganancias de humedad.
- Radiaciones.

2. Químicas

- Reacciones con el oxígeno.
- Radiaciones.
- Tratamiento térmico.

3. Biológicas

- Proliferación y metabolismo de microorganismos.
 - Infestación por insectos, parásitos y roedores.
 - Actividad de sistemas enzimáticos.
-

didos por gusanos parásitos del género *Anisakis*, que sobreviven a la refrigeración pero no a la congelación o al tratamiento térmico. Otro parásito que ha creado graves problemas es la *Entamoeba histolytica* que produce una disentería amebiana, transmitida a través de las heces que contaminan las aguas de riego y fertilizantes.

Los roedores crean problemas no sólo por lo que comen, sino por la suciedad que aportan: la orina de los roedores puede ser vehículo de varias clases de bacterias patógenas, que causan salmonelosis, leptospirosis, fiebre tifoidea, etc.

— *Desarrollo de la población microbiana.* Suele contaminar un alimento y su actividad metabólica puede representar en ocasiones un riesgo de intoxicación por las sustancias de carácter tóxico que se pueden formar. Pueden corresponder a cientos de géneros y especies, muchos de ellos relacionados de alguna manera con los alimentos. Algunos deben ser evitados por razones sanitarias al resultar patológicos para el ser humano; otros, en cambio, son simplemente alterantes cuando se encuentran bajo las condiciones adecuadas para su desarrollo. Proceden siempre de una contaminación biótica del alimento, porque los tejidos sanos de animales y vegetales sanos son siempre estériles.

Teóricamente, y desde un punto de vista global, pueden utilizar como sustratos cualquiera de los componentes de los alimentos, aunque lo más relevante suele ser la velocidad tan elevada a la que puede multiplicarse. Bajo condiciones favorables, las bacterias pueden duplicar su población en media hora y proliferar de modo exponencial.

Todos estos procesos suponen siempre una alteración del alimento conservado, cuya magnitud depende en gran manera de la duración del tiempo de almacenado, así como de las condiciones ambientales de temperatura y disponibilidad del agua en el alimento, es decir, de su actividad de agua.

Como ejemplo típico se puede citar el fenómeno físico de la evaporación, cuya intensidad varía de modo paralelo a la tensión de vapor del agua, parámetro que es tanto más reducido cuanto más baja sea la temperatura ambiental.

También las reacciones enzimáticas se hacen más lentas al reducirse la temperatura del medio, hasta el punto que el denominado *coeficiente de temperatura de Vant Hoff*, que expresa la relación entre las constantes cinéticas correspondientes a reacciones enzimáticas desarrolladas con un intervalo de diez grados centígrados de temperatura, adquiere la expresión [1].

$$Q_{10} = \frac{K_{t+10}}{K_t} = 2,5 \quad [1]$$

Esto quiere decir que por cada diez grados que se reduzca la temperatura de almacenamiento, se consigue rebajar unas dos veces y media la velocidad de todas las reacciones enzimáticas, por lo que al ser más lentas las actividades alterantes, equivale por lo menos a duplicar la conservación del alimento. De todos modos, el rango de actividad del conjunto de sistemas enzimáticos posibles es muy amplio y abarca desde la temperatura fría de -20°C hasta la caliente de $+60^{\circ}\text{C}$, donde se desnaturaliza la molécula proteica y la enzima puede perder su actividad.

Igualmente, el desarrollo de los microorganismos contaminantes viene a ser una función de la temperatura, puesto que entre ellos se distinguen los *termófilos*, que crecen de modo óptimo entre 40 y 65°C ; los *mesófilos*, que viven dentro de una zona bastante amplia de temperaturas, entre los 40 y 10°C , y los *psicrófilos*, que prefieren las temperaturas frías, entre $+7$ y -2°C .

Generalmente, la disponibilidad de moléculas de agua puede ser un factor limitante del desarrollo microbiano, porque cada tipo de microorganismo tiene un valor mínimo de a_w , por debajo del cual no pueden vivir: 0,91 para las bacteria, 0,80 para los mohos y 0,60 para las levaduras. Sin embargo, las velocidades de las reacciones químicas y enzimáticas suelen ser muy variables para los distintos valores de a_w .

En consecuencia, la buena conservación de la calidad estable del alimento exige cuidar determinados aspectos para poder controlar las alteraciones:

1. Regular las condiciones ambientales, tales como la humedad relativa y la temperatura.
2. Prevenir, o retrasar, los mecanismos de reacciones que conducen a las alteraciones de tipo químico, bien destruyendo enzimas, bien evitando la oxidación de los lípidos.
3. Inhibir el crecimiento microbiano, de modo especial mediante una asepsia del alimento.

Después de un almacenamiento prolongado, numerosos alimentos de origen animal o vegetal pueden sufrir procesos degradativos que afectan a sus propiedades nutritivas, sensoriales e incluso sanitarias. Estas degradaciones tienen como base las reacciones entre las diversas sustancias químicas contenidas en los alimentos: las proteínas y algunos carbohidratos pueden ser degradados por enzimas; los lípidos y las vitaminas pueden ser objeto de alteraciones enzimáticas o de oxidaciones; las sustancias fenólicas de los tejidos vegetales se oxidan y polimerizan al contacto con el aire por la acción de sistemas enzimáticos fenolasas y se convierten en polímeros oscuros; bajo ciertas condiciones ambientales, los grupos carbonilos y aminos, e incluso ácidos urónicos y ácido ascórbico, pueden reaccionar para llegar a través de varias etapas a polímeros más o menos pardos, etc.

La oxidación química de los carbohidratos, que puede tener lugar por dos mecanismos diferentes (caramelización o reacción de Maillard) se pone de manifiesto a través de la aparición de sabores anormales y cambios en la coloración de los alimentos. Es una alteración química que puede ser evitada, o inhibida, por la adición de algunos ácidos orgánicos, como cítrico o ascórbico.

En cambio, cuando estas alteraciones son de tipo enzimático, asociadas a la actividad de peroxidasas y catalasas, también producen sabores anormales e indeseables, pero no pueden ser evitadas por la acción de aditivos químicos; sólo se contrarrestan mediante un tratamiento térmico previo, capaz de inhibir la actividad de tales sistemas enzimáticos.

A menudo, algunos alimentos desarrollan alteraciones en el color como consecuencia de oxidaciones sufridas por los pigmentos naturales que contienen, tales como carotenoides, cuyas estructuras químicas pueden ser oxidadas de modo secundario por mecanismos en los que intervienen hidroperóxidos, formados por la incidencia de radicales libres sobre ácidos grasos insaturados. Como resultado aparecen coloraciones anormales y una pérdida de poder vitamínico por la degradación de estructuras con actividad vitamínica A. En estos casos resulta favorable la adición de sustancias antioxidantes, aunque su empleo puede ocasionar ciertas dificultades de orden tecnológico debido a su escasa hidrosolubilidad.

La oxidación de proteínas no suele entrañar variaciones en las características organolépticas de los alimentos, porque los mecanismos involucrados en el proce-

so no conducen a ellos: o se trata de una desnaturalización que afecta a la solubilidad, o consiste en una hidrólisis enzimática que lleva a degradaciones moleculares. No obstante, en algunos casos como en productos cárnicos, los pigmentos hemoasociados con proteínas (mioglobina) experimentan modificaciones en su estructura química con cambios en la coloración.

Dentro de este conjunto de alteraciones que afectan con mayor o menor intensidad a la calidad estable de los diferentes tipos de alimentos, se pueden destacar tres puramente de origen químico y otros dos con intervención de sistemas enzimáticos. Unos u otros pueden depender de la intervención del oxígeno del aire, de la presencia de grupos aminos libres o de la existencia de un pH óptimo (Tabla 13.2). De acuerdo con sus mecanismos, estas cinco alteraciones se pueden agrupar en tres tipos: oxidaciones de grasas; pardeamiento enzimático; pardeamiento no enzimático.

Concepto de vida útil aplicado a los alimentos

Por lo general, la *vida media* o *vida útil* de un alimento se define como «el periodo de tiempo durante el cual resulta deseable el consumo de un producto alimenticio elaborado».

Con ello, se quiere expresar el tiempo que tarda la calidad de un alimento en alcanzar niveles considerados inaceptables para su consumo.

No obstante, los términos de la definición puede ser motivo, en algunas ocasiones, de dudas o confusiones:

- De una parte, los criterios de aceptabilidad pueden variar según tengan como base la inocuidad del producto o bien se apoyen en la evaluación subjetiva de unas propiedades sensoriales. Para soslayar esta situación, es frecuente que las industrias alimentarias establezcan el denominado *nivel mínimo de calidad aceptable*, cuyas exigencias van a depender del posible grado de alteración alcanzado por el producto fabricado antes de su venta.
- De otra parte, al evaluarse el concepto de *vida útil* en términos de tiempos, significa que ha de tener un comienzo y un final:

Tabla 13.2
Requisitos exigidos por algunos tipos de alteraciones químicas o enzimáticas

Alteración	Exigencia de O ₂	Requerimiento grupos NH ₂	pH óptimo
Enranciamiento	Sí	No	—
Fenolasas	Sí	No	Débilmente ácido
Reacción de Maillard	No	Sí	Alcalino
Caramelización	No	No	Ácido, alcalino
Oxidación ascórbico	Sí	No	Débilmente ácido

- El principio temporal puede variar de acuerdo con el tipo de alimento a considerar; así, para los productos transformados se suele tomar como inicio el momento en que se da por concluida su fabricación.
- El final natural de este periodo es el momento de su consumo, a condición de haber permanecido siempre en el estado deseado hasta esa fecha. Nunca debe darse como punto final la compra del alimento, porque este hecho sólo representa el final del ciclo económico comercial, pero no el de su utilidad, para la que hay que contar con el casi obligado almacenamiento en el hogar.

En consecuencia, el tiempo de duración de la *vida útil* de un producto alimenticio comercializado puede ser muy variable, según puedan incidir con mayor o menor intensidad todo un conjunto de factores, siempre vinculados a las circunstancias que acompañan a las distintas fases implicadas en el proceso alimentario: presentación, almacenado, transporte, distribución, venta y manipulación en el hogar.

Entre todos ellos caben destacar los siguientes:

- Estado físico del producto: concentrado, liofilizado, en polvo, etc.
- Composición química: contenido en agua, proporción de azúcar, sustancias conservantes, etc.
- Acondicionamiento: calidad y tipos de envasado.
- Tecnología de conservación aplicada para su almacenado: refrigerado, ultracongelado, etc.

Cualquiera que sea la importancia adquirida por cada uno de estos factores, el envejecimiento del producto se suele manifestar por una serie de modificaciones fisicoquímicas (color, olor, sabor, etc.), que pueden ser debidas a reacciones entre algunos de sus componentes químicos ocasionadas por agentes de diversa naturaleza: la luz, enzimas, materiales de contacto, temperaturas, etc.; o bien por algunas transformaciones debidas a la actividad metabólica de la proliferación microbiana.

Todos estos fenómenos acarrearán una reducción de la calidad estable del producto, que tiene su reflejo en las propiedades intrínsecas del alimento: cualidades organolépticas, valor nutritivo e incluso inocuidad, por la posible formación de sustancias tóxicas.

En definitiva, la evaluación del tiempo durante el cual un alimento determinado conserva de modo estable su calidad, implica el conocimiento de todos aquellos factores que pueden incidir en cada una de las tres fases involucradas en el proceso, porque cada una de ellas puede tener su importancia y transcendencia: fabricación, acondicionamiento y almacenado.

Los productos frescos no suelen ser sometidos a tratamientos orientados a eliminar cualquier riesgo consecuente a una posible actividad microbiana. Por ello, para prolongar su vida útil se deben respetar las estrictas reglas establecidas para su correcta manipulación. En cambio, la industria alimentaria aplica para los productos transformados unos procesos tecnológicos que no sólo tienen la finalidad de obtener alimentos con unas cualidades específicas y determinadas, sino también incrementar la duración de su estabilidad.

El acondicionamiento desempeña un papel esencial en la magnitud de la duración de la *vida útil* de un producto. No obstante, presenta una cierta dependencia de las otras dos fases, la anterior y la posterior. En este sentido, el envasado ha de tener

una estrecha relación con las últimas etapas de la fabricación, a la vez que también depende de los requisitos que va a exigir su distribución.

La incidencia de algunos factores, tales como naturaleza del mismo, proceso recibido, envasado, temperatura y tiempo de almacenado, etc., sobre la vida útil del alimento ha hecho que se introduzcan, además de este concepto, otros que hacen referencia a los tiempos de estabilidad y de aceptabilidad, manejados para efectuar los correspondientes controles de calidad.

Estos nuevos conceptos son preferentemente dos:

- *Vida de alta calidad*, conocido como concepto HQL (*High Quality Life*) que valora los cambios producidos en la calidad.
- *Vida de almacenamiento práctico* o concepto PSL (*Practical Storage Life*) que hace referencia a su aceptabilidad, a pesar de haber sufrido alguna alteración.

Cuando se trata de productos elaborados, se pueden utilizar diversos parámetros para fijar la duración de este periodo de tiempo: uso de prototipos, pruebas de envejecimiento, análisis sensorial, muestreo en puntos de venta, etc. Así, partiendo de unos prototipos diseñados de modo conveniente se pueden llevar a cabo estudios de envejecimiento, que pueden ser realizados bajo dos modalidades: bajo tiempo real o bajo tiempo acelerado. Con ellos se pretenden verificar en qué momento se sobrepasan los valores normalizados para una serie de parámetros, que previamente han sido establecidos como definidores de la calidad aceptable.

Las formas como han de ser expresados estos periodos útiles de comercialización y consumo están reguladas por la legislación alimentaria, que en la norma reguladora del etiquetado establece sus modos y requisitos.

En los últimos años se han realizado numerosos trabajos para establecer métodos que permitan predecir la duración de la *vida útil* de un alimento, de acuerdo con todos los factores que pueden incidir sobre su calidad. Estos métodos de predicción se suelen basar en el estudio de los diversos mecanismos capaces de provocar alteraciones, así como de las velocidades a las que se desarrollan. En este sentido, resulta de gran relevancia el manejo del binomio temperatura-tiempo, que sirve de fundamento para una serie de indicadores usados en la actualidad por la industria alimentaria.

Predicción de la vida útil

La calidad de un alimento viene determinada por su adecuación a un patrón de referencia, basado en aquellas propiedades del alimento que van a ser determinantes de una aceptación o a un rechazo por parte del consumidor. Al ser los alimentos productos biológicamente activos, caracterizados por unos sistemas fisicoquímicos inmersos dentro de un sistema dinámico, esta calidad puede ser algo que varíe hacia valores más reducidos.

Los distintos factores vinculados con el almacenamiento de un alimento, tales como temperatura, humedad relativa, radiaciones luminosas, etc., pueden incidir de modo negativo sobre la estabilidad (E) del alimento almacenado. Como conse-

cuencia de todo ello, el alimento pierde calidad a velocidades que dependerán de la cinética de cada reacción responsable.

La cinética de la estabilidad (dE/dt) será una función de dos tipos de factores: unos intrínsecos al alimento (FC_i) y otros ambientales (FA_i)

$$dE/dt = f(FC_i, FA_i) \quad [2]$$

FC_i : Composición química, pH, sistemas enzimáticos, a_w , carga microbiana, etc.

FA_i : Temperatura, humedad relativa, presión de los gases, radiaciones luminosas, etc.

En el valor alcanzado por esta función intervienen tanto los mecanismos de reacción entre los diversos compuestos, como las actividades enzimáticas sobre sus correspondientes sustratos, cada uno de ellos regulado por la respectiva constante de velocidad.

Estas reacciones son de *orden cero* cuando el atributo considerado se reduce durante su almacenamiento de un modo lineal, es decir, ofrece una variación negativa que es constante con respecto al tiempo. En cambio, se consideran de *orden primero* cuando la pérdida de calidad en el producto almacenado se desarrolla de un modo exponencial. Ejemplo del primer caso es el pardeamiento no enzimático, mientras que para el segundo se pueden citar dos: la incidencia de oxidaciones sobre el color y las vitaminas, o los efectos de los tratamientos térmicos sobre la textura de los alimentos.

Cuando la reacción es de *orden cero*, como ocurre en la pérdida de calidad de los alimentos congelados, la vida útil resulta inversamente proporcional a la constante de velocidad de alteración.

Para determinar con cierta fiabilidad la vida útil de un alimento, deben ser conocidos todos aquellos factores que la limitan: de tipo físico, químico y biológico. En caso contrario, los valores obtenidos no serían correctos. En la práctica, se suelen aplicar los denominados tests acelerados, que se realizan a temperaturas elevadas y se extrapolan posteriormente a la temperatura de almacenado.

Las alteraciones físicas de los alimentos

- Introducción.
- Pérdidas en el contenido acuoso: la desecación.
- Otras consecuencias de la pérdida de agua.
- Otras alteraciones físicas.

Introducción

Las alteraciones físicas de los alimentos almacenados suelen ser una consecuencia directa de los fenómenos vinculados a la presencia del agua como componente esencial de los mismos, aunque no hay que descartar la acción dañina de insectos y roedores. Las causas físicas de tales alteraciones se relacionan casi siempre con la evaporación acuosa, que tienen como resultado una pérdida de peso, una contracción y desecación superficial y, a veces, desarrollo de coloraciones anormales. Todo ello se puede observar en frutas, verduras, pan, etc., con perjuicio de la apariencia y del valor comercial del alimento. Otras veces, los cambios pueden ser consecuencia de algún proceso tecnológico, cuya aplicación no recibe la atención apropiada: es el caso de las quemaduras de frío, provocadas por la sublimación de cristales de hielo en la superficie de carnes y pescados congelados; o también la higroscopicidad de algunos alimentos de bajo contenido en humedad, etc.

Pérdidas en el contenido acuoso: la desecación

De todos los procesos de alteraciones físicas posibles, la evaporación del agua en la superficie del alimento adquiere una relevancia especial. Como una consecuencia de las condiciones ambientales y de modo particular de la ventilación del local puede aparecer una desecación. Para conseguir una distribución homogénea

de temperatura por toda la cámara es muy necesaria la correcta circulación de aire en el almacén, aunque a su vez puede contribuir a que la evaporación se desarrolle con mayor rapidez. Sin embargo, produce un efecto positivo y deseado al impedir que se incremente la humedad en la superficie del alimento y de este modo ayuda a la rápida obtención de una superficie desecada.

Cuando el aire ambiente no está saturado de vapor de agua, tiende a tomar agua de otras fuentes de su entorno hasta que alcanza el grado de saturación; cuanto más elevada sea la temperatura del aire, mayor es su capacidad para contener agua. Por ello, toda atmósfera caliente de un almacén provoca un efecto deshidratante sobre los alimentos en él conservados, siempre que tengan contacto directo con la atmósfera.

Los fenómenos de alteración física de un alimento almacenado suelen depender de dos parámetros tecnológicos: la humedad relativa (HR) del ambiente y su temperatura (t). El primero de ellos suele expresar la relación entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura dada y su presión de saturación. Como la temperatura influye en la magnitud de la presión de vapor, las humedades relativas de un ambiente determinado resulta tanto más elevada cuanto más baja es su temperatura.

Esto explica que las pérdidas de peso provocadas por la evaporación en los alimentos almacenados disminuyan cuando aumenta la humedad relativa del aire ambiental, al ser proporcional a la diferencia entre las presiones parciales del vapor de agua en el aire (P_{aire}) y en la superficie del alimento (P_{alim}).

Sin embargo, aunque la humedad relativa y la temperatura son dos magnitudes relacionadas entre sí, aportan escasa información acerca de la capacidad desecante del aire. Así, por ejemplo, se puede comprobar cómo un aire a 0 °C y 70 % de HR tiene el mismo efecto desecador que otro a 38 °C y 96 % de HR, porque en realidad los dos requieren la misma cantidad de agua para alcanzar su grado de saturación. Este hecho pone de manifiesto que, en ambos casos, el aire tiene idéntica capacidad para tomar de los alimentos la misma cantidad de agua. Con ello se demuestra que en definitiva es la influencia de la temperatura la que tiene mayor relevancia sobre los valores de saturación del aire, hasta el punto que para controlar la evaporación y desecación de un alimento situado dentro de una cámara de almacenamiento lo que debe ser vigilado es la humedad relativa del aire ambiental en función de su temperatura.

Por otra parte, la humedad relativa que debe tener el aire ambiental de un almacén para alimentos está subordinada de modo directo a la naturaleza del alimento almacenado, aunque algunas circunstancias determinadas puedan obligar a tener que elegir valores de HR que teóricamente no sean los más óptimos. Cuando se trabaja con HR reducidas cabe la posibilidad de que se produzca, en algunos casos, una notable pérdida de peso, con el consiguiente perjuicio económico. En cambio, cuando se opera con HR elevadas existe el riesgo de favorecer el desarrollo microbiano y suscitar el peligro de una alteración en el alimento, todavía más profunda que la simple desecación. De aquí, la conveniencia, para algunos tipos de alimentos, de elegir aquellas condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura más convenientes para su naturaleza, aunque teóricamente no sean las óptimas, con el fin de evitar posibles alteraciones.

Los estudios teóricos realizados sobre los procesos de desecación suelen estar llevados a cabo con los alimentos más simples, en cuanto composición química y textura. Todo producto alimenticio mantenido en contacto con el aire, que se

encuentra a una temperatura y una humedad relativa constantes, durante todo el tiempo necesario para que alcance el equilibrio con el sistema, retiene un contenido en humedad bien definido.

A este contenido se le conoce con el nombre de *contenido en humedad de equilibrio* (HE), siempre relacionado con unas condiciones específicas. De hecho, este contenido es el más pequeño que se puede lograr bajo unas condiciones determinadas de humedad relativa y temperatura. En cambio, todo exceso de humedad por encima de este valor en equilibrio en función de HR y t , es conocido bajo el concepto de *humedad libre*. En el almacenado de los alimentos es importante adaptar la HR de la atmósfera ambiental a la HE del producto almacenado; en caso contrario, el alimento cedería agua al ambiente si HR fuera inferior con la pérdida de peso correspondiente, o la tomaría si fuera superior.

En todo proceso de desecación, el aire de la atmósfera desempeña dos funciones:

- Proporcionar a la humedad del alimento el calor sensible y el calor de vaporización que necesita para la evaporación.
- Ser el vehículo de transporte para las moléculas de vapor de agua que se vayan formando en la superficie del alimento y, de este modo, evitar en ella una saturación.

En la Figura 14.1 se hace la representación gráfica de la curva que se obtiene al colocar en abscisas el peso de agua referido a sustancia seca y en ordenadas la variación que se produce en este contenido en humedad con el tiempo que dura el proceso de desecación. Todo ello bajo condiciones de t y HR constantes, en tanto que el alimento recibe el calor del aire mediante corrientes de convección.

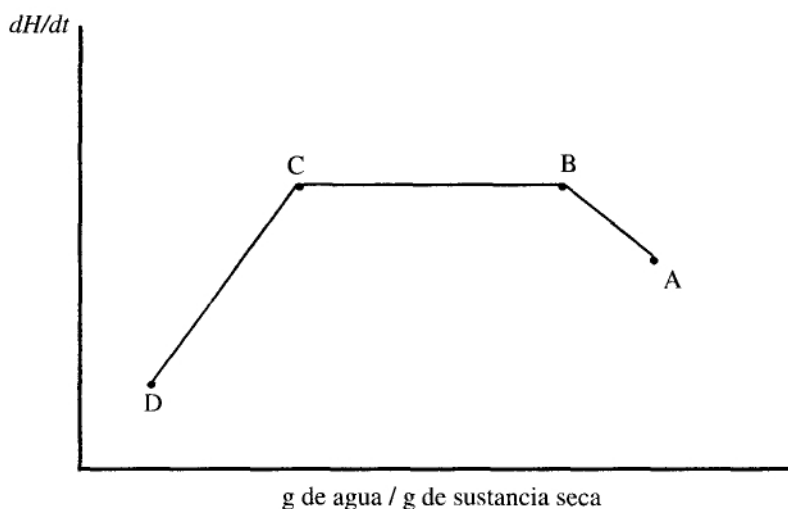


Figura 14.1. Relación entre la variación del contenido en humedad de un alimento con el tiempo de desecación y el porcentaje de su contenido acuoso referido a sustancia seca.

En ella se pone de manifiesto cómo el proceso de desecación de la superficie del alimento pasa por varias etapas diferentes:

— *Primera etapa (tramo A-B)*. Es un periodo de estabilización durante el cual se logra un equilibrio entre las condiciones de la superficie del alimento y las del medio ambiente. Suele ser muy corto y representa muy poco dentro del conjunto total del proceso. Sólo llega a ser relevante en casos muy concretos.

— *Segunda etapa (tramo B-C)*. Se caracteriza este periodo por presentar una velocidad constante en la desecación. Durante todo este tramo, la superficie del alimento permanece saturada con agua líquida como una consecuencia del movimiento de difusión que se ha originado desde el interior hacia la superficie, con una velocidad que viene a ser prácticamente idéntica a la velocidad de evaporación que está teniendo lugar en la superficie.

Se piensa que el transporte acuoso desde el interior del alimento puede acaecer según mecanismos distintos:

- a) Movimiento causado por fuerzas capilares.
- b) Difusión producida por un gradiente de concentración.
- c) Difusión a través de las capas líquidas que están en las interfases de los sólidos.

La primera forma es válida para productos con textura granulada grosera, mientras que la última puede ocurrir en los alimentos gelificados; de todos modos hay que considerar la posibilidad de una actuación conjunta de varios mecanismos. Incluso se conocen casos, como los embutidos crudos curados, donde los movimientos acuosos se producen en el sentido de los pH más bajos, lo que puede dar lugar a que, bajo ciertas condiciones, el agua se desplace desde la superficie hacia el centro de la masa embutida.

La desecación puede acontecer por el movimiento de vapor que se produce, a través de una zona estancada de aire, desde la superficie saturada hasta la corriente general de convección que hay en la atmósfera. Por consiguiente, la desecación sucede con una velocidad que será función de la velocidad a la que se transmita el calor a la superficie del alimento, porque este fenómeno es el que suministra la energía necesaria para la separación de las moléculas de vapor.

— *Tercera etapa (tramo C-D)*. Se trata de un periodo con velocidad decreciente, que ocupa la mayor parte del tiempo en el que transcurre el proceso. A medida que la desecación avanza, existe un momento a partir del cual se reducen los movimientos acuosos de difusión hacia la superficie. Realmente, cuando el proceso se sitúa en el punto C puede considerarse que la parte superficial del alimento comienza a desecarse. Al contenido de humedad en este punto se le suele denominar *contenido crítico de humedad*.

Los alimentos donde la desecación puede tener mayor transcendencia son los que conservan cierta actividad bioquímica, como las canales de carnes y de modo especial las frutas o las verduras frescas. En estos alimentos se da una pérdida de moléculas de agua, procedentes en primer lugar de los procesos metabólicos, de la transpiración y después del proceso de respiración, que continúa en los tejidos vegetales. Como esta agua no puede ser retenida en su totalidad por los tejidos ha de salir al exterior. Esto explica que frutas y vegetales sufran una menor desecación cuando se almacenan bajo la combinación de HR ligeramente alta y una *t* baja, porque se reduce la velocidad del proceso de la respiración vegetal. Los vegetales con

tejidos rígidos suelen perder más cantidad de agua que aquellos que poseen tejidos blandos, sin que por ello se observen señales visibles de un arrugamiento consecuente a la desecación.

Otras consecuencias de la pérdida de agua

Existen bastante alimentos que corresponden a sistemas complejos y heterogéneos, integrados por diversas estructuras químicas entre las que destacan las macromoléculas de proteínas y polisacáridos, que se pueden encontrar muy hidratadas. Por lo general, el agua contenida en estos alimentos está muy lejos de ser un agua químicamente pura; por el contrario, puede tener diversos sólidos en disolución, o bien tomar parte de geles, emulsiones, etc.

Hemos visto cómo los fenómenos de pérdidas de agua por una evaporación implica movimientos acuosos dentro del alimento en los que el agua se acompaña de los sólidos que se encuentran solubilizados. La desecación puede originar un fenómeno de contracción, que produce un incremento de presión en el interior y favorece la migración de los sólidos, que se acumulan en la superficie a medida que se evapora el agua que les acompaña, dando lugar a la formación de una película superficial impermeable y dura.

Asimismo, las variaciones en el contenido acuoso puede conducir a un desequilibrio, más o menos intenso, en los sistemas coloidales que intervienen en la textura del alimento y, por tanto, aparecerán modificaciones tanto en lo que hace referencia a la apariencia, como en lo que afecta a otras propiedades sensoriales específicas del alimento.

En alimentos congelados, las pérdidas superficiales de humedad se suelen deber a fenómenos de sublimación, y son consecuencia de fallos en el equilibrio con la HR del medio ambiente. Implica una alteración física, conocida bajo la peculiar denominación de *quemaduras por el frío*, que se debe a una desnaturalización e insolubilización de las proteínas superficiales al aumentar la concentración salina por la pérdida de agua. La alteración se traduce en manchas semejantes a quemaduras, de ahí su nombre. Para las carnes congeladas puede constituir un grave problema por la apariencia blanquecina y desagradable que ofrece una vez descongelada, con pérdida de su calidad.

Entre los productos que suelen crear problemas de alteración física durante su almacenado hay que citar los huevos de gallina. En ellos, suelen darse pérdidas de moléculas de agua y de dióxido de carbono, que tienen una notable repercusión sobre la calidad sensorial del producto almacenado.

La manifestación más visible (se observa muy bien con el ovoscopio) es el incremento de la cámara de aire localizada en su interior, a uno de los lados entre la cáscara y las membranas que envuelven la clara. Otras pueden pasar más inadvertidas, aunque su transcendencia sensorial puede ser mucho más grave. Así, las pérdidas de moléculas de CO₂, que tienen lugar a través de los poros de la cascara, dan lugar a una reducción de la acidez de la clara y su correspondiente incremento de los valores de pH. Este aumento del pH da origen a dos efectos indeseables:

- Cambios en la estructura de la clara, que suele presentar el aspecto de envejecida.
- Aumenta la susceptibilidad de cada pieza de huevo frente a las infecciones por bacterias.

La pérdida de agua a través de la cáscara implica también movimientos acuosos dentro de la estructura propia del huevo, con paso de moléculas de agua desde la clara a la yema. Por eso los huevos que llevan mucho tiempo almacenados presentan yemas flácidas y acuosas.

Todas estas alteraciones son de muy difícil solución, aunque se hayan intentado diversos procedimientos para evitarlas. Así, para soslayar las pérdidas de CO₂ se usan atmósferas que suelen llevar una cierta proporción de este gas (un 2 %) para que la concentración ambiental obstaculice su salida a través de la cáscara. Es un método que resulta eficaz pero costoso. En cambio, para impedir las pérdidas acuosas es frecuente incrementar la HR del aire del almacén. Sin embargo, esta metodología conlleva el riesgo de humedecer las cáscaras de los huevos y favorecer, de este modo, el posible desarrollo de los microorganismos, que siempre están presentes.

Otras alteraciones físicas

Por último, caben citar otros tipos de alteraciones de origen físico, que afectan a ciertos alimentos edulcorantes y grasos, tales como dulces, caramelos, bombones o chocolates. Es normal que estas alteraciones se cataloguen como defectos de fabricación y no como una consecuencia de su almacenado.

En los bombones y chocolates puede aparecer una alteración superficial, que se caracteriza por el desarrollo de unas floraciones extrañas y anormales. En la práctica se conocen dos tipos de floraciones: unas debidas a la grasa del chocolate, mientras que otras tienen al azúcar como responsable.

La floración grasa se reconoce por la aparición de un revestimiento gris, que al microscopio deja evidente una estructura cristalina. Esta alteración ha sido interpretada como una consecuencia del polimorfismo de la manteca de cacao. Existe una forma beta más estable, que por tener un punto de fusión más elevado (34-35 °C) puede manifestarse bajo estructuras cristalinas a la temperatura ambiente y en ella revierten todas las demás formas.

Otras veces, aparece una floración gris que no cede a la presión con los dedos, ni tiene un aspecto graso, y que se debe a cristalizaciones de la molécula de sacarosa, provocadas por la acción de la humedad sobre los ingredientes azucarados.

Por último, cabe citar las granulaciones que pueden aparecer en caramelos, bombones y demás productos elaborados a base de una gran cantidad de sacarosa. Como consecuencia de un equilibrio incorrecto entre las diversas especies químicas que se adicionan, o bien debido a las malas condiciones de almacenamiento, pueden aparecer unas granulaciones que dan al producto una textura desagradable. La mayoría de las veces se debe a una inversión de la sacarosa, que al desdoblarse en glucosa y fructosa modifica su solubilidad.

Las alteraciones de los lípidos de los alimentos

- Introducción.
- Lipólisis o alteración hidrolítica.
- Autooxidación o enranciamiento oxidativo.
- Oxidación por enzimas lipoxigenasas.
- Enranciamiento cetónico.
- Reversión del flavor en los aceites comestibles.
- Polimerizaciones provocadas por el calor.

Introducción

Los lípidos y sustancias afines sufren cambios, en su mayor parte oxidativos, que implican degradaciones de estructuras esenciales para la alimentación y conducen al desarrollo de olores y sabores anormales. Incluso, cuando el proceso se encuentra en fases muy avanzadas, pueden aparecer compuestos capaces de ejercer alguna actividad tóxica sobre el organismo humano. En consecuencia, la oxidación de los lípidos contenidos en los alimentos puede ser responsable de graves deterioros en su valor nutritivo, en la estabilidad de su calidad sensorial, en su aceptabilidad y en su seguridad.

Las cantidades de lípidos alimentarios que intervienen en estas reacciones de oxidación suelen ser bastante restringidas. Sin embargo, como los compuestos resultantes son de gran poder organoléptico, se hacen notar aun cuando se encuentren a concentraciones muy bajas. No es de extrañar que la formación de sustancias volátiles con olores desagradables limiten el periodo de conservación de los alimentos grasos y reduzca la duración de su vida útil.

Los principales sustratos de estas reacciones son los ácidos grasos insaturados, que en estado libre se oxidan a mayor velocidad que cuando toman parte de las estructuras de los triacilglicérols o de los fosfolípidos. De modo paralelo, este tipo de alteración puede acontecer también sobre otros sustratos no saturados: el escualeno, un hidrocarburo presente en los aceites de pescados; los pigmentos carotenoides; las estructuras insaturadas de los tocoferoles, aunque estos últimos pueden presentar una actividad antioxidante frente a otros compuestos lipídicos y retrasar su oxidación.

Precisamente, la presencia de sustancias prooxidantes de una parte y antioxidantes de otra, explica el diverso comportamiento con respecto a la oxidación de los lípidos observado en los diferentes alimentos.

Un factor importante en el desarrollo de esta alteración química lo constituye la intervención del oxígeno del aire, que bajo alguna de sus dos formas excitadas: triplete ($^3\text{O}_2$) o singlete ($^1\text{O}_2$), puede actuar con mecanismos de acciones diferentes y, por tanto, diversos en sus consecuencias.

A pesar de los años que han sido dedicados al estudio de estos mecanismos, todavía quedan muchos detalles por aclarar debido a que sus reacciones pueden ser iniciadas, inhibidas o modificadas por los factores más diversos: vestigios de metales catalíticos, energía luminosa, energía térmica, pH, enzimas y sustancias con actividad antioxidante.

Hoy día se sabe que las reacciones entre el oxígeno y los lípidos insaturados pueden transcurrir por vías muy diversas, con la intervención en muchos casos de radicales libres: autooxidación, actividades enzimáticas, oxidaciones fotosensibilizadas, etc.

Desde un punto de vista químico, los radicales libres pueden ser generados dentro de un sistema mediante tres procesos principales: la fotólisis, la radiólisis y la homólisis molecular.

En la fotólisis, las moléculas absorben un cuanto de energía, seguido de varios tipos de transiciones a estados energéticos superiores, según la longitud de onda; casi todos los aldehídos y cetonas sufren reacciones de fotodisociación.

En la radiólisis, son las radiaciones de mayor energía las que causan ionización de las moléculas, que en los sistemas alimentarios suelen afectar al agua, por ser esta especie molecular su principal constituyente.

En la homólisis molecular, la descomposición es inducida en gran medida por otros radicales del sistema y resultan reacciones en cadena, que son rápidas incluso a la temperatura ambiente. Es la posibilidad mejor estudiada, porque afecta a la reacción de descomposición de los hidroperóxidos lipídicos.

Las posibles alteraciones que pueden tener como sustratos a los lípidos alimentarios se pueden agrupar en cuatro tipos diferentes (Tabla 15.1).

Lipólisis o alteración hidrolítica

Es un proceso que consiste en el desdoblamiento de los enlaces ésteres entre los hidroxilos del glicerol y los ácidos grasos, característico de los triacilglicérols. Se trata de un fenómeno hidrolítico reversible, cuya reacción puede ser catalizada por los ácidos, las temperaturas elevadas o los enzimas lipasas. Precisamente, las lipasas se encuentran muy difundidas en tejidos animales y vegetales o en microorganismos.

En las semillas de las plantas, las lipasas suelen aparecer principalmente con la germinación, sobre todo en las semillas oleaginosas, que usan los ácidos grasos como fuente de energía para el desarrollo del embrión. En los cereales se desconoce su localización, aunque se piensa que se encuentran en el endospermo, a no ser que las existentes se deban a contaminaciones con algún microorganismo.

Tabla 15.1**Tipos de posibles mecanismos de oxidación de los lípidos en los alimentos**

Lipolisis. Separación de glicerol y de ácidos grasos libres.

Oxidaciones. Intervención del oxígeno del aire sobre los ácidos grasos, de modo principal en estado libre. Puede corresponder a tres mecanismos distintos:

- a) *Autooxidación* o *enranciamiento oxidativo*, que afecta a los ácidos grasos, con preferencia insaturados.
- b) *Oxidación por Upoxigenasas*, que afecta a los ácidos grasos con estructuras «1,4 pentadieno *cis-cis*».
- c) *Oxidación cetónica*, que afecta a los ácidos grasos saturados de bajo peso molecular.

Reversión. Modificaciones indeseables del olor y sabor, principalmente en grasas que contienen ácido linoleico.

Polimerizaciones provocadas por el calor. Formación de estructuras poliméricas, y a veces cíclicas, a partir de los ácidos grasos, como consecuencia de un tratamiento térmico elevado.

Las enzimas lipolíticas corresponden a dos grupos con actividades diferentes:

- *Lipasas*, que son triacilglicerol acil hidrolasas.
- *Fosfolipasas*, que son fosfoglicerol acil hidrolasas.

En relación con su actividad, las lipasas presentan diversos tipos de especificidad:

- a) *De triacilgliceroles*. Se distinguen por hidrolizar con claras preferencias aquellos formados por ácidos grasos de bajo peso molecular.
- b) *De posición*. Tienen preferencias por catalizar la separación de los ácidos grasos que esterifican una determinada posición de los hidroxilos del glicerol. Son frecuentes las que hidrolizan posiciones externas (*sn-1* y *sn-3*) y algo más raras las que son capaces de actuar sobre las tres posiciones. Sin embargo, apenas se conocen lipasas que sean específicas de la posición central (*sn-2*) de la molécula del glicerol.
- c) *De ácido graso*. Son lipasas que hidrolizan con mayor velocidad el enlace éster de un determinado ácido graso. Así, por ejemplo, el microorganismo *Geotrichum candidum* dispone de una lipasa que hidroliza el ácido oleico con preferencia a cualquier otro ácido graso, cualquiera que sea su posición en la molécula de glicerol.

No es extraño que este tipo de alteración se produzca con cierta frecuencia en alimentos almacenados durante tiempos más o menos prolongados. Así, la presencia de ácidos grasos libres asociada a sabores jabonosos, que se detectan en aceites vegetales, leches, huevos o cereales, se debe la mayoría de las veces a la actividad de enzimas lipasas. Estos sabores anormales, y también recusables, se acentúan cuando se trata de ácidos grasos de cadena corta, incluido el láurico (C-12).

Lo más frecuente es que las lipasas actúen sobre los ésteres de las posiciones

extremas del glicerol y dejen en libertad los 2-monoacilgliceroles. Sin embargo, las lipasas de plantas superiores y también las de origen microbiano pueden catalizar la hidrólisis de las tres posiciones del glicerol.

A diferencia de cualquier reacción enzimática convencional, que transcurren en medios acuosos, las enzimas lipolíticas ejercen una actividad catalítica heterogénea en la zona límite entre dos fases no miscibles.

Las enzimas lipasas solamente pueden actuar en las interfases agua-lípido de las micelas lipídicas. Por ello, en los procesos de lipólisis se pueden diferenciar tres etapas:

- Formación de las micelas lipídicas.
- Instauración de una interfase entre la fase acuosa y la fase grasa.
- Captación de la enzima.

A causa de su naturaleza interfásica, las lipólisis se desarrollan según una velocidad de reacción que es proporcional a las concentraciones de la enzima en la zona interfásica y del sustrato en la micela. En estos casos, no hay dependencia de las concentraciones globales que hubiere en las suspensiones.

Existen enzimas hidrolasas, presentes en muchos alimentos naturales, que son específicas de monoacilgliceroles, fosfolípidos y ésteres de esteroles, que pueden actuar en soluciones acuosas, sin requerir la formación de una micela lipolítica. Otras veces pueden ser esterases específicas originadas por una contaminación microbiana. En estos casos pueden ser termoestables y continuar su actividad lipolítica después de recibir un tratamiento UHT a 130 °C durante dos segundos.

En los productos elaborados a base de carnes picadas, pueden detectarse la presencia de lipasas naturales junto a otras de origen microbiano (casi siempre termoestables), que influirán en el sabor y flavor del producto. En general, el desarrollo de lipólisis en un alimento provoca una alteración química que tiene su principal reflejo en menoscabo de las propiedades sensoriales, aunque conviene evitarla también porque suministra un sustrato de ácidos grasos libres muy adecuado para otros tipos de enranciamientos. No en vano, en los momentos actuales existe la práctica corriente de aplicar modernas tecnologías para separar de los alimentos grasos alterados los ácidos grasos que hayan podido ser liberados por algún proceso hidrolítico. En este sentido, constituye una de las etapas del denominado *refinado* de los aceites comestibles, con el fin de mejorar su sabor y su estabilidad.

Autooxidación o enranciamiento oxidativo

Se define como un fenómeno espontáneo de oxidación de los lípidos contenidos en los alimentos cuando toman contacto con el oxígeno del aire. Se le considera como el proceso común y más importante de todos los que afectan a la alteración de los alimentos, puesto que la sufren prácticamente todas las grasas y aceites comestibles que en su composición incluyen ácidos grasos insaturados. Se caracteriza por integrar un proceso de reacciones en cadena, que se produce de modo autocatalítico a través de radicales libres que actúan de componentes químicos intermediarios.

En cuanto a su mecanismo se trata de una reacción entre el O_2 molecular y los compuestos orgánicos bajo condiciones suaves. El oxígeno del aire bajo su estado excitado de triplete ($^3O_2$) actúa de un modo especial al comportarse como un birradical ($\bullet O-O\bullet$) que dispone de dos electrones no emparejados. Aunque la autooxidación es una reacción que bajo condiciones suaves se produce de modo espontáneo, sin embargo con frecuencia se inicia por la actividad catalítica de metales, peróxidos e hidroperóxidos, por lo general presentes en el alimento en calidad de impurezas.

La alteración suele comenzar con la aparición de un sabor suave y dulzón, que se hace cada vez más picante a medida que progresa la oxidación, como consecuencia de la formación de productos secundarios: aldehídos, cetonas, ácidos, etc. Son compuestos que pueden proceder tanto de la degradación de los ácidos grasos, como de otros componentes de los alimentos con estructuras insaturadas, tales como carotenoides y tocoferoles. Por esta razón, las consecuencias prácticas de este tipo de alteración resultan de cierta gravedad, pues no sólo perjudica a las propiedades sensoriales sino también disminuye el valor nutritivo al destruir ácidos grasos esenciales y algunas de las vitaminas presentes.

Los dobles enlaces presentes en un ácido graso insaturado ofrecen dos posibilidades de esquema electrónico (Fig. 15.1), según el cual reaccionan de una u otra manera:

- Enlace *sigma*, tan fuerte como cualquier enlace ordinario, que presenta una simetría electrónica, con solapamiento de los dos carbonos olefínicos.
- Enlace *pi*, donde las posiciones ocupadas por el par de electrones se localizan uno por encima y otro por debajo, con respecto al plano del doble enlace. Resulta más débil y de energía más baja que el enlace simple, porque estos electrones son retenidos con menos firmeza y por tanto son más reactivos. A ellos se suele deber la mayor reactividad de los compuestos insaturados. Como los electrones *pi* se polarizan con mayor facilidad que los electrones *sigma*, su presencia aporta al doble enlace un carácter *nucleofílico*, que les capacita para reaccionar con los compuestos *electrofilicos*.

Como también ocurre con otras muchas sustancias orgánicas, la autooxidación de los lípidos se desarrolla a través de reacciones en cadena con formación de radi-

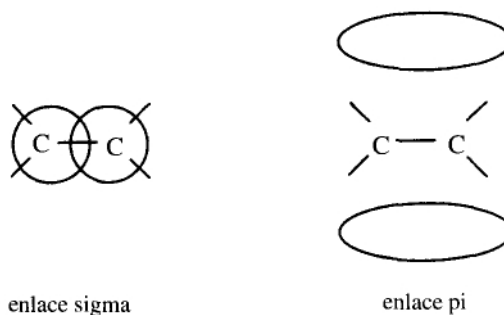


Figura 15.1. Posibles esquemas electrónicos de un doble enlace.

cales libres. Aunque, en esencia, consiste en una reacción entre dos especies moleculares, ácido graso y oxígeno molecular, la evolución de sus reacciones acontece de acuerdo con los más diversos caminos posibles. No obstante, su mecanismo puede ser descrito en términos de tres etapas fundamentales: 1) iniciación; 2) propagación; 3) terminación.

Primera etapa de iniciación

Se caracteriza por la formación de radicales libres mediante el consumo de energía, que suele proceder de diversos agentes prooxidantes: energía calorífica, radiaciones de la luz, iones metálicos, etc. Debido a la presencia de una sustancia iniciadora (I_n), en los comienzos de esta etapa, conocida como de *iniciación primaria*, se produce una sustracción homolítica de un átomo de hidrógeno en posición alílica de los ácidos grasos insaturados (RH), que se convierten en radicales libres lipídicos ($R\bullet$), según la ecuación [1]:



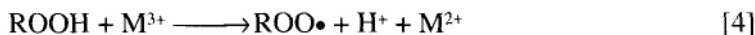
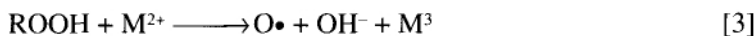
Durante muchos años se ha discutido cual debería ser el mecanismo de iniciación implicado en la oxidación de los ácidos grasos insaturados, porque en principio, el ataque directo del oxígeno triplete al doble enlace resulta un paso prohibido como consecuencia de las direcciones opuestas de sus spines. Sin embargo, la presencia del agente iniciador (I_n) facilita la superación de esta barrera. Dentro de las posibilidades consideradas, se ha visto que en algunos casos parece muy probable que el proceso tenga su inicio en la descomposición de los hidroperóxidos (ROOH) presentes como impurezas, catalizada por la potente actividad de algunos metales, cuyas trazas contaminantes es casi imposible de eliminar.

No obstante, aunque intervengan los hidroperóxidos los mecanismos de producción de radicales pueden ser muy diversos:

a) Disociación térmica de hidroperóxidos.



b) Descomposición de hidroperóxidos catalizada por metales redox (M) de valencia variable.



c) Acción de la luz sobre una sustancia que actúa de sensibilizador, como sucede con un derivado cetónico (RCOR).



Para que se inicie la alteración química del ácido graso resulta necesaria la presencia de radicales libres, porque viene exigida por las dificultades de reacción del oxígeno molecular en su estado de triplete. Esta circunstancia explica que sea indispensable un periodo de inducción para que la concentración de radicales libres alcance un cierto nivel y pueda comenzar el proceso de autooxidación. Las reac-

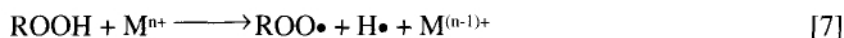
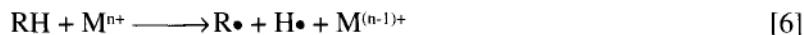
ciones de este periodo de inducción son reacciones de elevada energía de activación, lo que justifica su dificultad para que se produzca, a no ser que la energía sea facilitada por algunos de los factores catalíticos anteriormente indicados. En la práctica, cualquier tipo de molécula química, aunque no tenga estructura lipídica, puede servir de sustrato para la formación de radicales libres

En resumen, la energía térmica, la actividad de los metales y la acción de las radiaciones ultravioleta aportadas por la luz son agentes que permiten la descomposición de peróxidos dando lugar a lo que se denomina *iniciación secundaria*, de acuerdo con las reacciones [2], [3], [4] y [5].

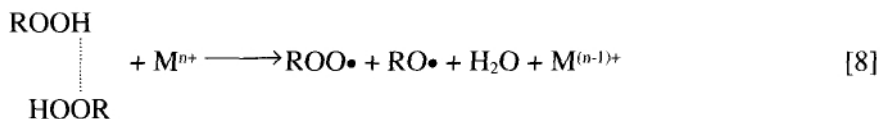
La presencia de trazas de ciertos metales pesados, entre los que se incluyen los que toman parte de las complejas estructuras de hemoglobina o clorofilas, son poderosos catalizadores de la oxidación de los ácidos grasos, aunque es posible que necesite como paso intermedio una reactivación del O_2 molecular al estado de singlete.

La acción catalítica de los metales (M) puede llevarse a cabo según dos tipos de reacciones, en función de la concentración de peróxidos:

a) *Monomolecular*



b) *Bimolecular*



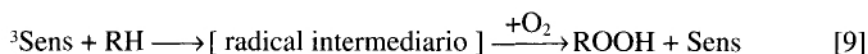
La velocidad de la autooxidación se ve influida por diversos tipos de factores:

- La temperatura.* La energía de activación se relaciona de modo muy estrecho con la temperatura a la que se encuentre el ácido graso insaturado. Por consiguiente, la velocidad de reacción se incrementará con la magnitud de este parámetro. Por otra parte, la temperatura también puede influir sobre el mecanismo de reacción al provocar saturaciones en los dobles enlaces de los ácidos grasos a partir de ciertos niveles.
- Las radiaciones luminosas.* Tanto los ácidos grasos como sus peróxidos son compuestos incoloros que no absorben en el visible, pero sí lo hacen a las longitudes de ondas propias de las radiaciones ultravioletas. En este sentido existe una gran evidencia experimental sobre los efectos dañinos que la luz provoca sobre la estabilidad de los lípidos alimenticios en presencia de oxígeno. Es decir, la oxidación de los lípidos insaturados se acelera por una exposición a la luz.

La absorción de energía radiante conduce a un proceso de fotooxidación, cuyo mecanismo puede implicar tanto un modo importante de producir hidroperóxidos, como de provocar la descomposición catalítica de hidroperóxidos (ROOH), peróxidos (ROOR), compuestos carbonilos (RCOR) y otros complejos oxidados de los ácidos grasos insaturados.

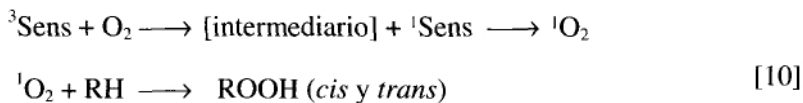
La fotooxidación puede dar lugar a la formación de hidroperóxidos a partir de ácidos grasos insaturados, o de sus esteres, la presencia de oxígeno y un agente sensibilizador. Existen dos tipos de sustancias químicas capaz de ejercer una actividad sensibilizadora, partiendo de su estado excitado de triplete ($^3\text{Sens}$):

— Los de tipo I reaccionan con el sustrato lipídico (RH) al transferir un electrón o un átomo de hidrógeno, dando lugar a radicales libres intermediarios, que pueden reaccionar con el oxígeno para formar hidroperóxidos semejantes a los que se producen por autooxidación [9].



A este grupo pertenece la riboflavina, que interviene en un proceso de oxidación de lípidos que no es inhibido por las sustancias antioxidantes.

— En cambio, la clorofila, la eritrosina y el azul de metileno corresponden a los sensibilizadores del tipo II, que en el estado de triplete interaccionan con el O_2 por transferencia de energía para dar un oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), que reacciona posteriormente con un ácido graso insaturado, para formar mezclas isoméricas de hidroperóxidos. El carácter altamente electrofílico del oxígeno singlete le permite actuar a través de mecanismos diferentes que producen cambios en la configuración espacial del doble enlace y dar lugar a hidroperóxidos *cis* y *trans* [10].



Raras veces las oxidaciones con el oxígeno singlete se perpetúan, pero su velocidad de reacción con las diversas sustancias orgánicas resulta significativamente mayor que las reacciones del oxígeno triplete. Por tanto, los hidroperóxidos que proceden del primero se forman con una gran rapidez bajo condiciones de luz y sensibilizador, por lo que representan importantes iniciadores de la cadena de radicales libres.

La fotooxidación es un proceso que no requiere un período de inducción y se desarrolla con una cinética mucho más rápida que la correspondiente a la propia autooxidación, aunque también vinculada al número de dobles enlaces existentes en la molécula del ácido graso.

Muchos autores sugieren que la autooxidación de aceites comestibles naturales puede ser iniciada por una fotooxidación facilitada por los pigmentos presentes en el aceite. En este caso, se forman hidroperóxidos inestables que al descomponerse en radicales libres comienzan las oxidaciones en cadena.

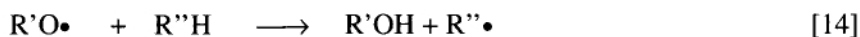
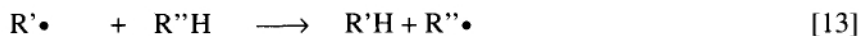
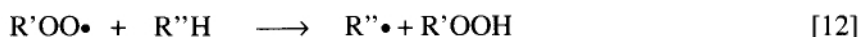
Segunda etapa de propagación

Está constituida por una cadena de reacciones caracterizadas por un consumo muy rápido de oxígeno, que reacciona con gran rapidez con los radicales alquilo libres ($\text{R}^\bullet$), que tienen un átomo de hidrógeno lábil, para originar radicales peróxilos ($\text{R}'\text{OO}^\bullet$), según el esquema de la reacción [11].

A continuación, aunque con una cinética más lenta, se produce una transferencia de átomo de hidrógeno entre estos radicales peróxilos y otros ácidos grasos insa-

turados ($R''H$) para formar como producto primario fundamental un hidroperóxido ($R'OOH$), además de un nuevo radical libre ($R''\bullet$), de acuerdo con el esquema indicado en la reacción [12]; la lentitud de esta reacción le convierte en el factor determinante de la velocidad de la autooxidación. Esta separación de hidrógeno de los lípidos insaturados llega a ser selectiva de aquellos átomos de hidrógeno que se encuentran enlazados débilmente, como ocurre con los hidrógenos alílicos. Los lípidos serán tanto más susceptibles para sufrir la autooxidación cuanto mayor sea la disponibilidad en sus moléculas de este tipo de hidrógeno por su relativa facilidad para reaccionar con los radicales peroxilos y originar hidroperóxidos.

En definitiva, la presencia de radicales libres puede dar lugar a otros nuevos, de acuerdo con un sistema de reacciones en cadena. Se ha comprobado que este proceso puede ocurrir por los caminos más diversos, indicados algunos de ellos en las reacciones [13] y [14]. Todas estas reacciones suelen ser muy rápidas, por la gran reactividad de los radicales libres, que disponen de electrones no emparejados.

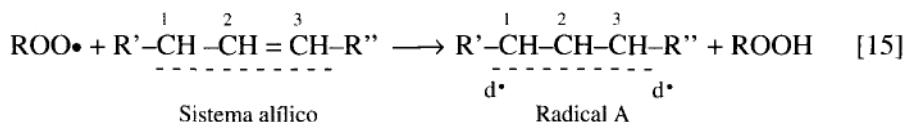


Se ha comprobado que la formación de hidroperóxidos es el proceso dominante en la autooxidación, pero no el único proceso primario. Cuando la temperatura es elevada puede ocurrir un ataque directo del oxígeno al doble enlace, sin la intervención de los radicales libres.

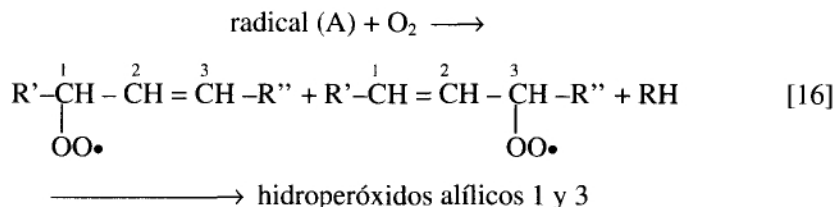
En el caso de lípidos puros, cada radical libre puede provocar la formación de 10 a 100 moléculas de peróxidos, que a su vez pueden desempeñar el papel de catalizadores; por ello al conjunto global del proceso se le denomina autooxidación. El elevado número de radicales libres que se forman explica la aceleración en el consumo de oxígeno y que el factor limitante de la alteración sea la escasa difusión del oxígeno a través de los alimentos grasos. Cuando no hay limitación para el aporte de O_2 , todos los ácidos grasos insaturados del producto alimenticio pueden llegar a ser oxidados, al menos desde un punto de vista teórico.

Este proceso de autocatálisis presenta ciertas propiedades específicas, concretadas en los puntos siguientes:

1. Primariamente, la reacción de oxidación afecta a los grupos alquilo insaturados y la función hidroperóxido suele aparecer en la posición alfa con respecto al doble enlace de la molécula.



En la reacción [15] se forma un radical (A) que dispone de un radical libre $d^\bullet$ en cada extremo de su sistema alílico, que serán los puntos de reacción con la molécula de oxígeno, dando lugar a una mezcla de hidroperóxido 1 y 3, según la reacción [16].



Este radical híbrido (A) puede asumir diferentes configuraciones esteroquímicas, que según las condiciones de oxidación puede dar lugar a hidroperóxidos isoméricos con las configuraciones geométricas *cis* o *trans*.

2. La velocidad de la autooxidación es una función del *grado de insaturación*.

Los ácidos grasos saturados presentan una cinética de oxidación extraordinariamente lenta y siempre por encima de los 60 °C, mientras que los insaturados pueden ser oxidados incluso a las bajas temperaturas propias del almacenado de los alimentos congelados. La cinética se incrementará con el número de dobles enlaces totales que existen en el compuesto graso, es decir, con su grado de insaturación.

3. Más importante que el anterior factor para el proceso de autooxidación es el *tipo de insaturación*. Es decir, una molécula con dos dobles enlaces será siempre más reactiva que dos moléculas con un solo doble enlace en cada una de ellas. Así, por ejemplo, el ácido linoleico (18:2) se oxida diez veces más rápido que el ácido oleico (18:1), mientras que la velocidad de oxidación del ácido linolénico (18:3) viene a ser unas veinte o treinta veces superior. Por ello, se oxida antes un triacilglicerol que sólo tenga una molécula de ácido linoleico, que otro que lleve dos moléculas de ácido oleico, aunque el grado de insaturación global sea el mismo (dos) en ambos casos.

Aunque la activación del ácido graso para la formación de un radical alquilo suele ser selectiva de grupos metilénicos contiguos a un doble enlace, la estabilización de las estructuras por resonancia origina un fenómeno de isomería de posición, que complica en gran medida los posibles tipos de peróxidos formados, más numerosos a medida que crece la insaturación de una sola estructura molecular, porque en estos casos la oxidación puede tener lugar sobre una mayor diversidad de átomos de carbono.

Así, para el ejemplo de oxidación más simple a considerar, como es la del ácido oleico que tiene un solo doble enlace entre los carbonos 9 y 10, existen de modo primario dos posibilidades: una en el carbono 8 y otra en el carbono 11.

Sin embargo, como una consecuencia de la isomería de posición, también pueden formarse peróxidos sobre los carbonos 10 y 9, según se indica en la Figura 15.2. De igual modo, en la oxidación del ácido linolénico que tiene dos dobles enlaces en su molécula puede aparecer seis isómeros en las posiciones 9, 11, 12, 13, 14 y 16.

La formación de los hidroperóxidos isoméricos a partir de los ácidos insaturados oleico, linoleico, linolénico, etc. sólo se justifica porque la secuencia de la propagación transcurre por la vía de dos radicales alilos que se estabilizan por resonancia.

4. El estado excitado de la molécula de oxígeno que va a intervenir en la autooxidación es determinante del tipo de mecanismo a seguir y por tanto de los productos resultantes. Así, por ejemplo, el oxígeno en estado de triplete es un dirradical ($\bullet\text{O}-\text{O}\bullet$) que no puede reaccionar directamente con el ácido linoleico, a no ser

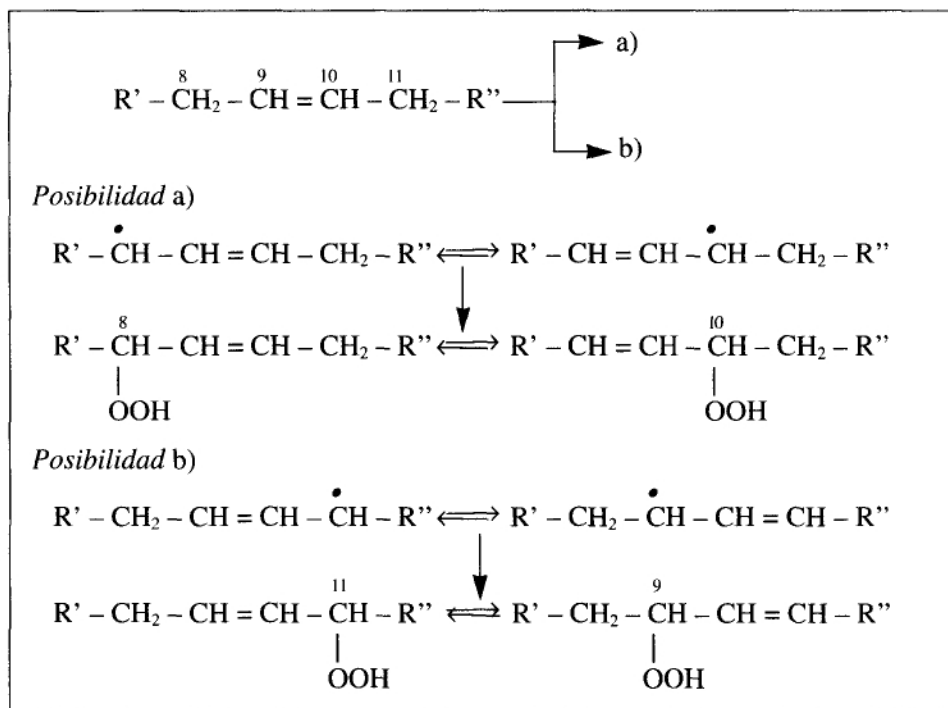


Figura 15.2. Hidroperóxidos resultantes de la oxidación del ácido oleico de acuerdo con las isomerías de posición.

que pierda un átomo de hidrógeno por un aporte de energía y se convierta en radical libre (Fig. 15.3). Como producto de la reacción se forman solamente hidroperóxidos conjugados.

En cambio, el oxígeno singlete es muy electrofilico, además de compuesto no radical, y puede reaccionar directamente con los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, dando lugar a diversos tipos de hidroperóxidos.

La cinética de la oxidación depende de la presión parcial de O_2 : hasta un valor determinado, la velocidad de reacción es proporcional a su concentración; a partir de este valor dicha velocidad se hace constante. Sin embargo, en la oxidación de los productos alimenticios se aprecia una gran variabilidad en cuanto a su comportamiento frente a la acción del O_2 , tal vez por la influencia de agentes pro-oxidantes y anti-oxidantes. Existen casos de alimentos, como los liofilizados, donde las superficies de contacto con el O_2 atmosférico resulta tan relevante que su velocidad de oxidación no depende de la presión parcial de oxígeno.

5. La actividad de agua del alimento puede tener su influencia sobre la velocidad de la oxidación de sus lípidos. El proceso de la autooxidación se puede desarrollar tanto en alimentos húmedos como desecados, pero siempre bajo el factor determinante de la disponibilidad del agua. La máxima estabilidad se suele observar para los valores intermedios de la actividad de agua, que algunos autores explican como consecuencia de la formación de una monocapa protectora. En este senti-

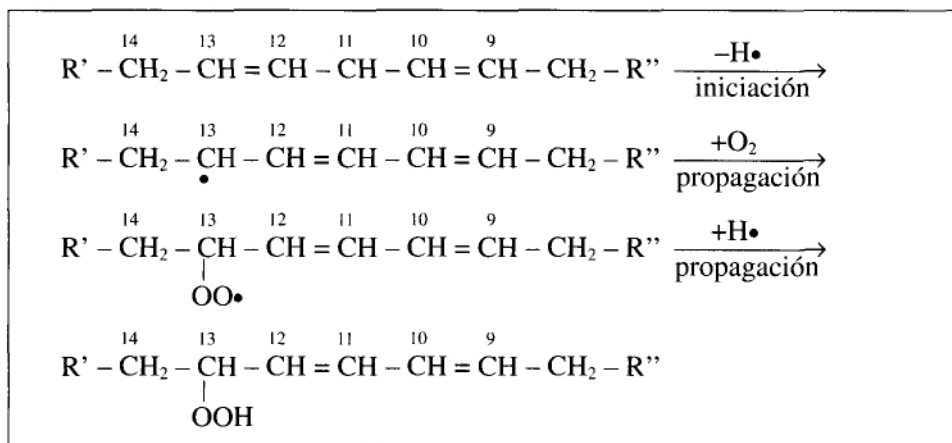


Figura 15.3. Mecanismo de reacción del $^3\text{O}_2$ triplete con el ácido linoleico.

do, resulta importante señalar que el fenómeno del enranciamiento oxidativo de los lípidos es una alteración particularmente importante en los alimentos congelados. De acuerdo con la hipótesis indicada, este hecho se justifica porque la cristalización de las moléculas de agua impide que se forme la monocapa acuosa protectora.

6. La presencia de catalizadores es muy importante para la velocidad de la autooxidación. Los cationes de metales pesados pueden ser poderosos catalizadores de este proceso, acortando el periodo de inducción e incrementando la velocidad de reacción. Los más eficaces son aquellos metales que pueden existir en dos o más estados de oxidación, pasando de uno a otro con cierta facilidad. Se ha observado que el cambio de valencia más favorable corresponde al de $2 \rightleftharpoons 3$ y los metales más eficaces son hierro, cobre, cobalto, níquel y manganeso, que encontrándose en los alimentos a niveles de vestigios (p.p.m.) es suficiente para ejercer el efecto catalizador de la oxidación.

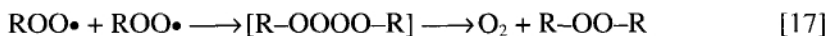
7. Las radiaciones ionizantes también pueden ser un factor a tener en cuenta para el desarrollo de la autooxidación. Como consecuencia de aplicar las radiaciones de alta energía a la conservación de alimentos, se ha podido comprobar un efecto perjudicial que obstaculiza el empleo de esta metodología: la marcada susceptibilidad de los lípidos de esos alimentos a desarrollar enranciamientos oxidativos. No está bien aclarado el mecanismo responsable de esta alteración, aunque siempre aparece durante la conservación y una vez efectuada la irradiación, nunca mientras se aplica. Se ha explicado por la formación de radicales libres, pero también la alteración se produce sobre grasas saturadas, en principio muy estables, pero que resultan fuertemente afectadas por la irradiación.

Tercera etapa de terminación

En la última etapa, la oxidación decrece después de alcanzar un máximo, porque los radicales peróxidos reaccionan unos con otros para anularse entre sí y originar productos no radicales al final de la reacción.

Los resultados finales serán diferentes según el tipo de radicales que intervengan en la neutralización. Cuando no hay limitación de oxígeno, serán los radicales peroxilos quienes marquen la pauta de la naturaleza de los compuestos no radicales. En caso contrario, el resultado dependerá de varios factores como solubilidad del oxígeno en el alimento graso, la temperatura, la porosidad del alimento, etc. De todos modos, se pueden señalar dos caminos a seguir según las condiciones del medio ambiente en el que se encuentre el lípido oxidado:

— A la presión atmosférica y bajas temperaturas, se llega al final por combinación de los radicales peroxilos a un producto intermedio inestable, un tetróxido, que rápidamente se descompone de acuerdo con el mecanismo de Russell, según el esquema [17].



— Para temperaturas elevadas y bajas presiones de oxígeno, los radicales alcoxil ($\text{ROO}\cdot$) y alquil ($\text{R}\cdot$) pueden combinarse para dar lugar a dos tipos de dímeros: los que se enlazan por la unión C-C [18] y los que integran en su estructura una función éter [19].



Antioxidantes

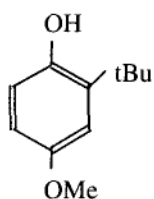
Una de las reacciones de terminación más interesante es la que implica la intervención de una sustancia antioxidante (AH), es decir, sustancias que de algún modo impiden o retrasan la oxidación de los lípidos, según esquema [20].



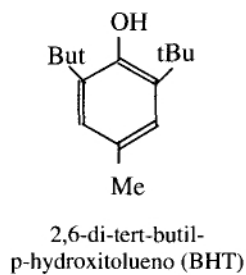
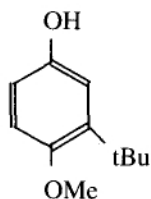
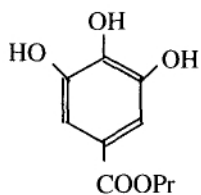
La inhibición del proceso de autooxidación a partir de radicales libres por medio de los agentes antioxidantes resulta de gran importancia práctica para preservar a los alimentos que contienen ácidos grasos insaturados de un posible deterioro de su calidad.

Desde hace años, la industria alimentaria ha empleado, con gran eficacia y bajo costo, antioxidantes artificiales de síntesis, como butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propilo (GP) o palmitato de ascorbilo (PA). Sin embargo, la reciente tendencia mundial de evitar, o al menos minimizar, el uso de aditivos sintéticos ha hecho que la atención se centre en las sustancias antioxidantes de origen natural, cuya presencia suele ser frecuente y abundante en las plantas, de modo particular en el romero, donde se han detectado carnosol, ácido carnósico y ácido rosmarinico. Las estructuras de todos ellos se recogen en la Figura 15.4.

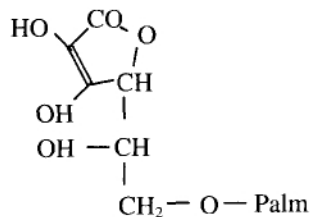
Para sus aplicaciones en la elaboración de los alimentos, los antioxidantes deben ser suficientemente activos para que puedan ser usados a concentraciones inferiores al 0,02 %, con el fin de eludir sus niveles de toxicidad. Además, para ser eficaces deben tener la capacidad de situarse en las interfases aire/aceite o aceite/agua, según el sistema alimentario sobre el que actúe, un cuerpo graso o una emulsión. También se requiere que serán estables bajo las condiciones propias de



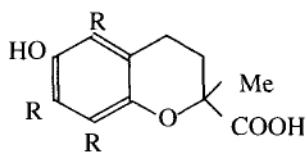
2 y 3-tert-butil-4-hidroxianisol (BHA)

2,6-di-tert-butil-
p-hidroxitolueno (BHT)

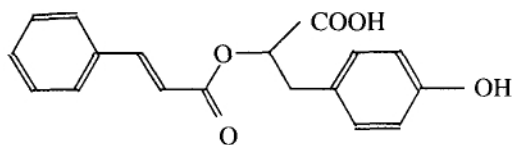
Galato de propilo (GP)



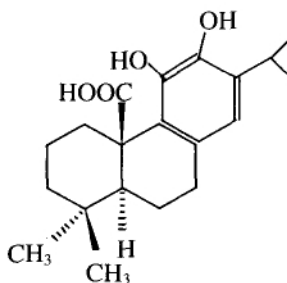
Palmitato de ascórbilo (PA)



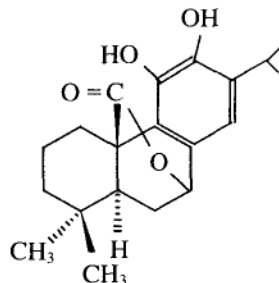
Trolox



Ácido rosmarínico



Ácido carnosínico



Carnosol

Figura 15.4. Estructuras químicas de las principales sustancias que se emplean en alimentos por su actividad antioxidante.

una cocción. Para facilitar su solubilidad o dispersabilidad en los alimentos, los productos comerciales se formulan sobre vehículo adecuado como propilenglicol, monooleato de glicerol, monoacilgliceroles, diacilgliceroles o aceites vegetales.

El galato de propilo, bastante eficaz bajo condiciones muy estrictas, presenta la propiedad de ser algo soluble en agua y poco soluble en los lípidos. Sin embargo, resulta poco resistente al tratamiento térmico y suele originar sales pardas con los compuestos de hierro, por lo que necesita de la ayuda de un agente secuestrante del metal.

En cambio, el BHA y el BHT son bastante solubles en los lípidos y resisten bien la acción deletérea del calor. En su contra, tienen el inconveniente de poseer un olor desagradable y de evaporarse con gran rapidez, lo que dificulta su empleo en alimentos que han de ser sometidos a un proceso tecnológico de deshidratación.

En la industria alimentaria es frecuente aplicar mezclas de antioxidantes para aprovechar sus propiedades sinérgicas. Así se emplean mezclas de BHA y BHT, o bien de BHA con GP, con varios niveles de ácido cítrico. El GP refuerza la actividad del BHA, pero no la del BHT. El palmitato de ascorbilo es un antioxidante débil cuando se usa solo, pero posee una actividad sinérgica cuando se mezcla con antioxidantes naturales. También los fosfolípidos pueden ser usados como agentes sinérgicos de la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos, pero sus efectos resultan bastante complejos debido a sus otras funciones, como eficaces agentes quelantes de metales o buenos agentes emulsificantes.

En los últimos años ha aumentado el interés por los antioxidantes de origen natural para reducir al mínimo el empleo de los aditivos sintéticos artificiales. Entre los naturales más empleados hay que destacar los tocoferoles, el ácido ascórbico y el extracto de romero, con algunos intentos de extractos de otras especies vegetales como salvia, tomillo, orégano, jengibre, clavo, etc. Los aceites vegetales son buenas fuentes de tocoferoles, aunque presentan grandes variaciones en cuanto a las proporciones a las que se encuentran los diversos homólogos alfa, delta o gamma: el aceite de soja es muy rico en gamma-tocoferol, mientras que el de girasol lo es en alfa-tocoferol. Desde luego el que más abunda es el alfa-tocoferol.

Por lo general, los tocoferoles resultan antioxidantes de escaso poder frente a los aceites vegetales que contienen una gran riqueza en ácidos grasos poliinsaturados, situándose su actividad óptima en los niveles entre 400 y 600 p.p.m.

El ácido ascórbico, además de formar quelatos con los vestigios de iones metálicos presentes, actúa como un eficaz agente reductor que permite regenerar el antioxidante y aumentar su eficacia. En este sentido, se ha demostrado un sinergismo entre alfa-tocoferol y el ácido ascórbico, que se explica por la acción reductora del segundo que lleva a reciclar el radical tocoferol intermediario y regenerar su estructura primaria antioxidante.

Los extractos de romero suministran una buena fuente de sustancias naturales con actividad antioxidante, relacionadas con dos estructuras diterpenos fenólicos: el ácido carnósico y el carvasol. Las actividades antioxidantes de estos dos compuestos se encuentran influidas de modo muy significativo por los sustratos lipídicos sobre los que actúan, demostrando mejores resultados con las grasas de origen animal, además del sistema coloidal presente en el alimento graso, pues de tales sistemas van a depender los fenómenos interfaciales que puedan tener lugar.

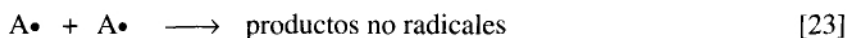
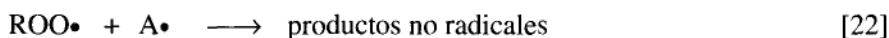
También se reconoce a los flavonoides, presentes en uvas y hojas de té verde, como sustancias quelantes de metales y actividad antioxidante.

De acuerdo con sus mecanismos de acción se pueden distinguir tres grupos de sustancias antioxidantes:

1. Los que tienen la capacidad de interrumpir la cadena de formación de radicales libres.
2. Los que ejercen una acción preventiva de la oxidación.
3. Los que tienen una capacidad destructiva sobre los hidroperóxidos.

Antioxidantes del grupo primero

Los antioxidantes (AH) de este grupo son aquellos que inhiben, o retardan, la oxidación de los ácidos grasos insaturados al interferir, unas veces con la propagación de la cadena de radicales libres, otras con la etapa de iniciación al facilitar la donación de átomos de hidrógeno a los radicales libres con una neutralización de sus efectos, según el tipo de reacciones [21], [22] y [23].



Dentro de este tipo de antioxidantes resultan muy eficaces los de estructura fenólica: BHA, BHT, GP y tocoferoles, por las dos razones siguientes:

- Al producir radicales antioxidantes relativamente reactivos y estables, no propagan la cadena.
- Permiten competir por los radicales peroxilos con el sustrato lipídico RH, por lo general presente en más alta concentración.

En presencia de un antioxidante de este grupo, la formación de hidroperóxidos depende de la relación de concentraciones $[RH]/[AH]$.

No obstante, hay que tener en cuenta que los antioxidantes fenólicos, como el alfa-tocoferol, pueden bajo ciertas condiciones de temperatura elevada y alta concentración del antioxidante, actuar como agente prooxidante, al invertirse la reacción y generar radicales peroxilos, según los esquemas [24] y [25].



Antioxidantes del grupo segundo

Los compuestos más importantes de este grupo de antioxidantes son los inactivadores de metales, capaces de ejercer tres tipos de acciones:

- Desactivar los iones metálicos.
- Promover el inicio de la degradación de los hidroperóxidos.
- Retrasar la formación de aldehídos deletéreos.

Suelen funcionar una vez mediante coordinación con los iones metálicos y modificación de su potencial al suprimir las reacciones redox que llevan a radicales alcoxilos y peroxilos, y otras por bloqueo de la formación de hidroperóxidos y promover su degradación.

No obstante, con los que actúan del primer modo hay que tener cierta cautela,

porque los compuestos de coordinación también pueden presentar un efecto prooxidante cuando las propiedades redox de los metales experimentan un cambio y permiten ejercitar sus actividades catalíticas oxidativas.

En este grupo son eficaces los ácidos cítrico y ascórbico, aunque este último puede tener una acción prooxidante cuando se encuentra a concentraciones elevadas.

Antioxidantes del grupo tercero

Son compuestos que inhiben la oxidación de los ácidos grasos insaturados al inducir la descomposición de los hidroperóxidos y formar compuestos estables e inactivos. Algunos de ellos como el alfa-tocoferol y el ácido ó-hidroxy-2,5,7,8-tetrametil-croman-2-carboxílico (denominado TROLOXTM por la empresa Hoffman La Roche, Inc.), solubles en agua, resultan débiles destructores de hidroperóxidos. En cambio, agentes reductores como los compuestos en cuya estructura existen fosfitos, fosfuros, azufre o selenio, son bastante más eficaces pero sus actividades tóxicas no les hace aptos para incorporarlos a los alimentos.

Productos responsables del flavor en lípidos enranciados

La naturaleza de los productos responsables de los sabores rancios están relacionados con las diferentes transformaciones de los hidroperóxidos, que transcurren de acuerdo con los más diversos mecanismos, vinculados a fenómenos de una descomposición primaria o secundaria:

— La degradación de tipo primario transcurre con reacciones que exigen una elevada energía de activación y por ello se ven favorecidas por la acción de las radiaciones luminosas o por el efecto catalítico de algunos metales presentes. Las reacciones de descomposición de los hidroperóxidos pueden optar por dos caminos, en función de la concentración de los peróxidos que previamente se hayan formado (Fig. 15.5):

- Reacciones monomoleculares, en las que tiene lugar una escisión homolítica rápida con formación de radicales libres muy reactivos.

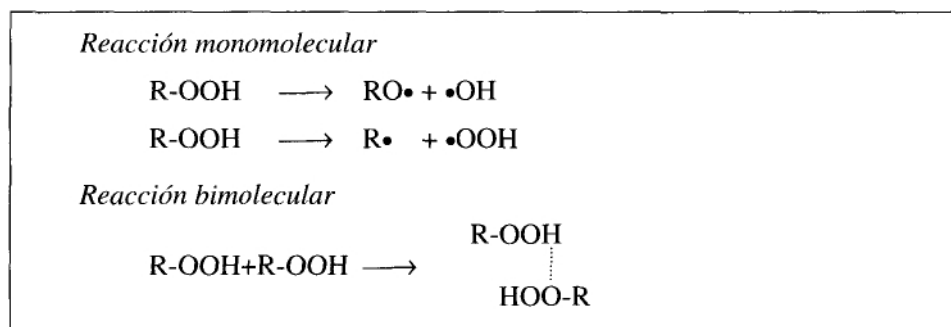


Figura 15.5. Descomposición primaria de hidroperóxidos.

- Reacciones bimoleculares, a través de las cuales se forman compuestos dímeros.

— Los procesos de degradación secundaria de los hidroperóxidos pueden ser también muy diversos, con una consecuencia analítica muy importante: el significado de la valoración de los contenidos en peróxidos (índice de peróxidos), porque salvo al inicio de la oxidación, este valor no constituye una medida eficaz de la magnitud de la oxidación de los lípidos en el producto alimenticio. Con el desarrollo de las sucesivas etapas de la oxidación, los peróxidos desaparecen al ser transformados en otros compuestos.

De todos modos, como los compuestos que tienen una función oxígeno complementaria son más polares que los ácidos grasos, pueden ser separados por los actuales métodos cromatográficos: su valoración permite obtener una idea aproximada del nivel de oxidación de los lípidos de los alimentos. Desde un punto de vista práctico, los aldehídos volátiles formados pueden ser organolépticamente percibidos, incluso a concentraciones muy débiles (del orden de $\mu\text{g/litro}$), aunque el umbral de percepción depende del disolvente, según sea agua o aceite.

Precisamente, el principal problema de tipo práctico que plantea la oxidación de los lípidos en relación con la calidad estable de los alimentos es la formación de compuestos volátiles con olores bastante desagradables, que limita en alto grado su período de vida útil, incluso cuando el contenido lipídico no alcanza el 1 %.

Los tipos de reacciones más importantes, que caracterizan la posible descomposición de los hidroperóxidos (Figura 15.6), pueden ser reunidas en cinco grupos:

1. *Fisión molecular*. A través de ella se originan las estructuras químicas más variadas: hidrocarburos, cuyo número de carbonos depende del ácido graso de partida; ácidos grasos de cadena más corta que la inicial; aldehídos de cadena corta, ligeramente diferentes unos de otros como consecuencia de los procesos homolíticos y heterolíticos que dan lugar a su formación.

2. *Hidrogenación*. Los radicales peroxilos reaccionan con un alqueno para dar un alcohol y un radical libre alqueno.

3. *Deshidrogenación*. Dos radicales libres, uno peroxilo y otro alqueno, reaccionan entre sí para dar una cetona y un alqueno.

4. *Oxidación de dobles enlaces*. Un ácido graso insaturado y un hidroperóxido pueden reaccionar entre sí para reducir hasta alcohol la función peróxido y a su vez originar una estructura epóxida en el doble enlace del ácido graso. Los epóxidos son sustancias muy reactivas, especialmente en medios ácidos, que unas veces pueden ser convertidos en dioles o en sus derivados, y otras sufrir una fisión molecular.

5. *Polimerización*. Los diversos radicales libres pueden reaccionar entre sí formando dímeros, que pueden corresponder a hidrocarburos diméricos, éteres o bien peróxidos internos.

La autooxidación es un problema que no suele afectar demasiado a las piezas de carne fresca y por tanto no se ha de considerar un factor limitante de su conservación en almacenes refrigerados. En cambio, sí hay que tomar precauciones cuando se encuentran trituradas, porque bastan de dos a diez días a 5 °C para que se oxiden los fosfolípidos de sus membranas celulares y mitocondriales.

El verdadero problema lo presenta la conservación de carnes guisadas, tanto en estado refrigerado como congelado. El calor del tratamiento culinario desnaturali-

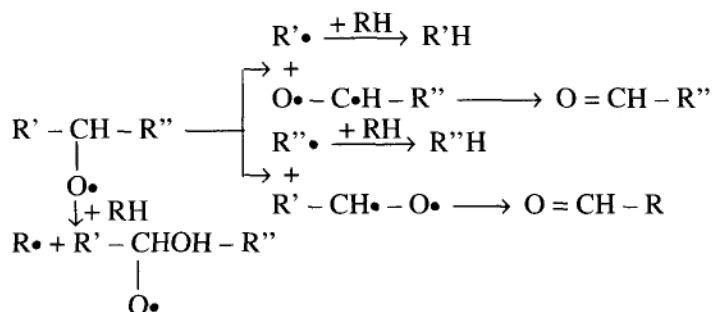
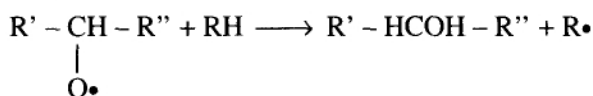
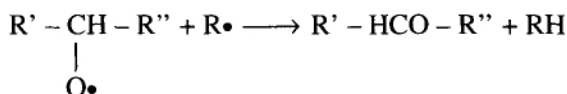
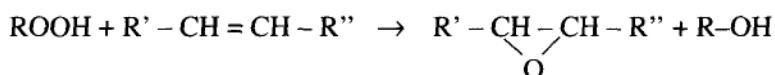
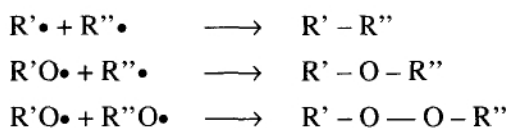
1. *Fisión molecular:*2. *Hidrogenación:*3. *Deshidrogenación:*4. *Oxidación de dobles enlaces:*5. *Polimerización :*

Figura 15.6. Procesos secundarios de la degradación de los hidroperóxidos.

za la mioglobina del músculo y su grupo hemo liberado posee un átomo de hierro, que actúa como un potente oxidante sobre todo tipo de lípidos: fosfolípidos y triacilglicerol. También la sal en las carnes curadas puede ser un eficaz agente prooxidante, que cataliza la autooxidación de los triacilglicerol a medida que el producto cárnico sufre la pérdida de agua y se deseca; sin embargo, la adición de algún polifosfato frena el enranciamiento.

En los pescados, la autooxidación de los lípidos puede ser una alteración impor-

tante, porque sus grasas son muy insaturadas y la presencia de la mioglobina muscular cataliza el proceso oxidativo. Esta alteración también aparece en los productos congelados, tanto más rápida cuanto la temperatura de almacenado se sitúe más cerca del punto de congelación. En estos casos, los compuestos carbonilos secundarios pueden reaccionar con los grupos aminos de las proteínas y provocar coloraciones, conocidas como *rusting* en la bibliografía inglesa, es decir, formación de herrumbre.

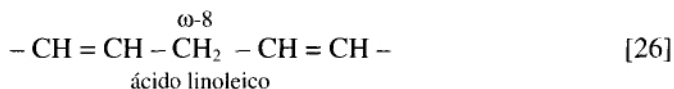
En los productos lácteos se detecta en seguida esta alteración grasa por el olor a rancio. Para la leche líquida, el sustrato de las oxidaciones suelen ser los fosfolípidos, catalizada por los vestigios de Fe o de Cu. En cambio, para la leche en polvo la autooxidación afecta de modo fundamental a los ácidos grasos de los triacilglicérol.

El contenido en tocoferoles hace que los aceites vegetales comestibles dispongan de una protección natural frente a la autooxidación y sean más estables, a no ser que su almacenamiento sea demasiado prolongado.

Oxidación por enzimas lipoxigenasas

Algunos alimentos contienen un grupo de enzimas muy heterogéneas, que por su actividad prooxidante sobre algunos ácidos grasos reciben el nombre de lipoxigenasas. En estos casos, una primera detección de peróxidos en el alimento alterado, puede llevar a la confusión de pensar en una autooxidación. Sin embargo, existen claras diferencias entre ambas alteraciones, tanto por los mecanismos que intervienen como por sus consecuencias, aunque de modo secundario también aparezcan sabores rancios.

Las lipoxigenasas (linoleato: oxígeno oxidoreductasa), en un principio conocidas como lipoxidasas, son enzimas con un átomo de hierro (Fell) no hemínico en su estructura, que en cantidades más o menos importantes están presentes en muchas plantas, tales como trigo, cacahuetes, patatas, rábanos y, de modo especial, en las legumbres. Estas enzimas catalizan de un modo altamente específico la oxidación de los sistemas 1,4 pentadieno *cis-cis*, que existen en los ácidos linoleico [26], linolénico y araquidónico.



Su especificidad requiere que los dobles enlaces tengan configuración *cis*, que el grupo metilénico central ocupe la posición $\omega-8$ y que el átomo de hidrógeno que se ha de separar del mismo esté en la posición L. Cuando el sustrato es el ácido linoleico puro, su pH óptimo de actuación es de 9,0. Su actividad se inhibe por los antioxidantes.

Además de los tres ácidos grasos importantes desde el punto de vista nutricional, también puede afectar de modo secundario a las estructuras carotenoides con la consiguiente repercusión negativa sobre su valor nutritivo y sus propiedades sensoriales.

Como una discrepancia particular, existen isoenzimas que son más activas frente a los ácidos grasos libres. Tales isoenzimas se han detectado incluso dentro de una misma fuente alimenticia: por ejemplo, cuatro en la soja, guisantes y trigo, dos en el maíz. Unas y otras pueden diferir en especificidad de sustrato, pH óptimo y actividad oxidativa.

La enzima es activa cuando tiene su hierro en forma férrica (FeIII), que la adquiere como resultado de la acción de las moléculas de hidroperóxidos presentes en la grasa ya autooxidada.

Bajo esta condición es capaz de arrancar un electrón de un doble enlace no conjugado para volver a su forma natural y dejar un catión radical. Se sabe que el proceso se inicia con la formación de radicales libres ($x\cdot$); después, por medio de un sistema de reacciones en cadena provoca la oxidación del ácido graso correspondiente. Sin embargo, los mecanismos de formación de hidroperóxidos deben ser diferentes a los estudiados para la autooxidación porque los productos secundarios que se originan son bien distintos.

En un principio, los puntos activos se localizan en lugares semejantes a como ocurre en el enranciamiento oxidativo: el carbono vecino al doble enlace. Posteriormente, se produce una tautomería acompañada de una conversión a la forma *trans* de ese doble enlace. Aun cuando en presencia de O_2 la enzima sigue el mecanismo oxidativo conocido con el nombre de *ciclo aeróbico* que conduce a la formación de hidroperóxidos, sin embargo, también puede actuar bajo situaciones de anaerobiosis pero con mecanismos que dan lugar a estructuras químicas muy distintas. Aunque no se conozcan con exactitud los mecanismos implicados en el primer caso, se admite como más probable la serie de reacciones indicadas en la Figura 15.7.

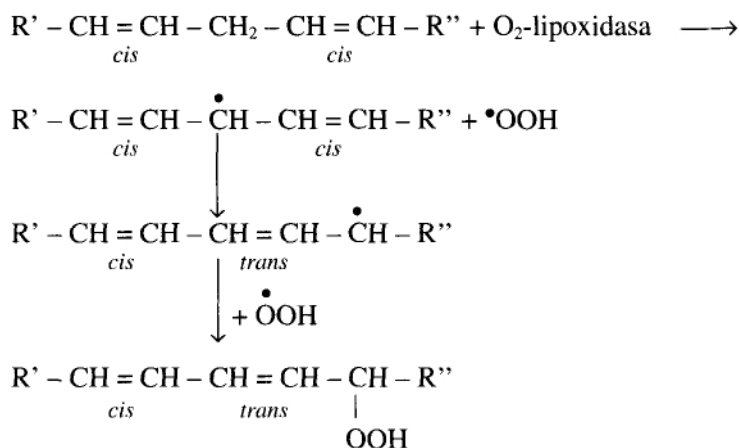


Figura 15.7. Esquema de las reacciones implicadas en el enranciamiento por enzimas lipoxidasas.

Fue una alteración observada desde hace muchos años en guisantes, judías, cereales, patatas, etc., después de prolongados periodos de almacenamiento, incluso a temperaturas bajas. Por ello, siempre se le ha concedido importancia dentro de

diversos grupos de alimentos, porque suelen contener de modo simultáneo enzimas lipoxigenasas y ácidos linoleico o linolénico. De aquí la necesidad de someter las legumbres verdes, como guisantes, a procesos de escaldado para inactivar estas enzimas antes de proceder a su congelación o desecación. En cambio, las lipoxigenasas ejercen un efecto positivo sobre la reología de la masa panaria, posiblemente por oxidar a los grupos tioles de las proteínas y originar puentes disulfuros.

Se ha demostrado que la presencia natural de lipoxigenasas en muchos alimentos vegetales es un modo de utilizar los ácidos linoleico y linolénico con fines metabólicos. Los hidroperóxidos obtenidos de ellos por la actividad de estas enzimas, son objeto de reorganizaciones o degradaciones por otros sistemas enzimáticos.

Entre ellos hay que citar la hidroperóxido-isomerasa presente en berenjena, cebada, coliflor, germen de maíz, etc. Asimismo, los sabores de muchos vegetales como pepinos, tomates, judías verdes, etc. se debe a la actividad de una hidroperóxido-liasa, capaz de catalizar la rotura del enlace carbono-carbono entre el doble enlace *trans* y el hidroperóxido. Suele actuar sobre los 9 y 13-hidroperóxidos, que son derivados predominantes cuando se actúa sobre los ácidos linoleico y linolénico, ya que la estabilidad de los sistemas dienos conjugados favorecen el ataque del O₂ en las posiciones más extremas. Del ácido linoleico aparece hexanal como producto secundario, mientras que del ácido linolénico se origina *cis*-3-hexanal. En cambio, la rotura de los 9-hidroperóxidos dan productos con nueve átomos de carbono.

Enranciamiento cetónico

Se produce como consecuencia de la oxidación enzimática de los ácidos grasos saturados de bajo peso molecular, dando lugar a la formación de metilcetonas a través de varios mecanismos posibles. La mayoría de las veces, estos compuestos secundarios alteran las propiedades sensoriales del alimento al aportar un cierto sabor característico.

Las enzimas capaces de provocar este tipo de alteración son producidas por el desarrollo sobre el alimento de unos tipos de mohos, conocidos con el nombre de *dry molds*, que pueden crecer sobre sustratos de ácidos grasos cuando las condiciones ambientales de temperatura y humedad le resultan favorables.

Fue conocida en primer lugar como una alteración de la manteca de cacao, rica en este tipo de ácido graso y, con posterioridad, se comprobó su existencia en productos de origen lácteo. Sin embargo, se pueden citar los quesos Roquefort como interesante ejemplo positivo de esta transformación lipídica, pues a ella se debe su sabor característico.

Los principales ácidos grasos afectados por las enzimas de estos mohos son caprílico (C-8), cáprico (C-10) y láurico (C-12), que por un mecanismo de beta-oxidación primero y descarboxilación después, se degradan a metilcetonas. Como ejemplo de reacción se ofrece la correspondiente al ácido caprílico (Fig. 15.8).

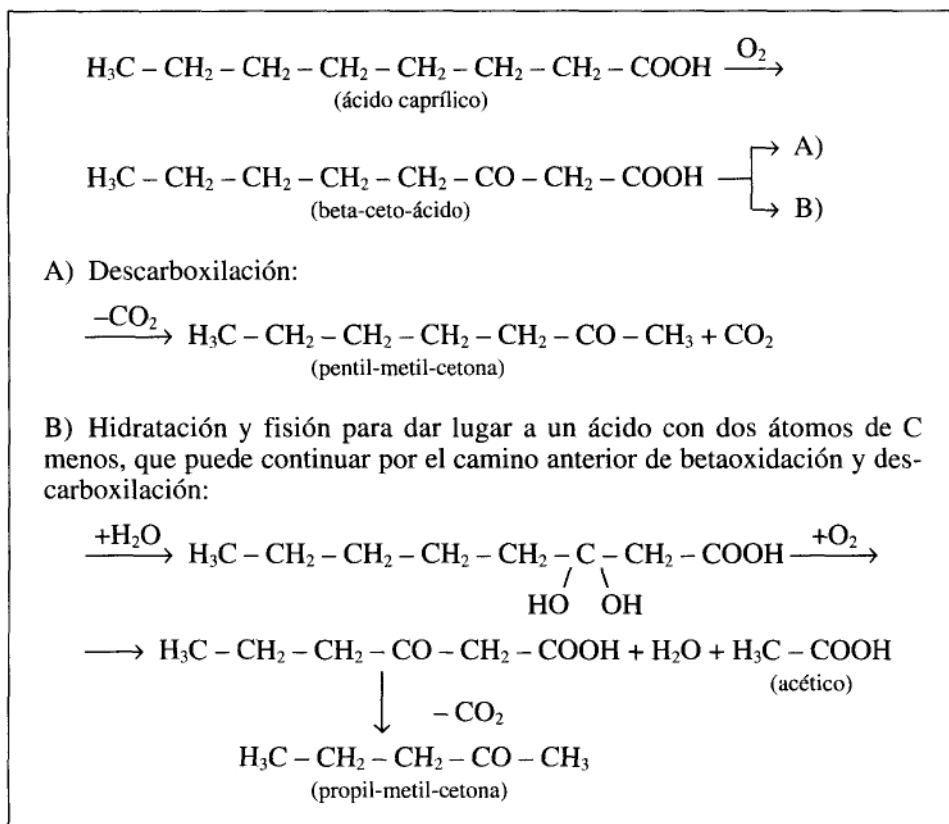


Figura 15.8. Esquema del enranciamiento cetónico provocado en las moléculas de ácido caprílico.

Reversión del flavor en los aceites comestibles

Algunos aceites sufren un cambio en el flavor, muchos antes de que se haya podido detectar cualquier tipo de enranciamiento. Este fenómeno fue conocido por primera vez en aceites extraídos de animales marinos que, una vez refinados para convertirlos en algo totalmente sin olor ni sabor, reversion al cabo de cierto tiempo a su flavor primitivo. Por ello se le conoce con el nombre de *reversión del flavor*.

En general, sus estímulos sensoriales son bien diferentes a los que puede producir un enranciamiento y no debe ser confundido con él. Aparece una vez que el aceite ha sido sometido a la acción de temperaturas elevadas, como ocurre en las frituras o en el horno, o bien en los almacenamientos con cierto ambiente de humedad.

Se ha definido como «la aparición de sabores recusables y molestos, que aparecen como consecuencia de un proceso de oxidación menos intenso al que se necesita para desarrollar un verdadero enranciamiento».

El proceso no es bien conocido, pero se sabe que se influye por factores, tales como oxígeno, luz y algunos metales (Cu, Co, Zn, Cr), aunque otros metales resul-

tan totalmente inactivos (Al, Ni, Sn). Se sabe que suele ser muy característico de aquellos aceites ricos en algunos ácidos grasos poliinsaturados. Todos aquellos de contenido rico en ácido linolénico como los aceites de soja y de colza o los aceites de pescado, presentan este fenómeno de alteración del flavor cuando se exponen a la acción del aire. Se trata de un tipo particular de flavor oxidado, que se desarrolla a niveles de oxidación comparativamente bajos: puede tener lugar en aceites cuyos *índice de peróxidos* no superan los valores de uno o dos.

Hoy día se admite que el factor determinante de estos cambios anormales en el flavor de algunos aceites es el ácido linolénico y su origen parece responder a los productos oxidados volátiles formados a partir del radical penteno terminal [27] de dicho ácido.



Las sustancias químicas con actividad antioxidante carecen de eficacia para contrarrestar este proceso. Constituye un verdadero problema para la comercialización y uso de aceites de pescados y de soja, porque con el almacenamiento pueden ofrecer los sabores más anormales y variados: pescado, paja, melón, mantequilla rancia, etc. El primero de los compuestos volátiles perceptibles fue el 3-cis-hexenal, que tiene un pronunciado olor a judías verdes. Otros aldehídos aislados fueron el 2-trans-hexenal con olor a hierba verde, el 2-trans-nonenal con olor a rancio y el 2-trans-6-cis-nonadienal con olor a pepino. Desde luego se trata de un fenómeno de gran complejidad todavía no bien aclarado.

Para soslayar el problema se ha acudido muchas veces a la hidrogenación de estos aceites para poder comercializarlo, pero esto sólo es posible cuando el producto hidrogenado se va a destinar a la fabricación de grasas plásticas, como margarinas. No obstante, también han aparecido sabores extraños en los aceites de soja hidrogenados.

Con las modernas técnicas analíticas se han podido reconocer más de 50 componentes en la fracción volátil. Algunos de ellos son aldehídos con uno o dos dobles enlaces, análogos a los que se producen en las alteraciones donde intervienen peróxidos. Otros, en cambio, responden a estructuras de ácidos grasos saturados, así como cetoácidos de cadena corta, tales como diacetilo, 2-pentil-furano, 2,3-pentadiona, etc., cuyas estructuras se recogen en la Figura 15.9.

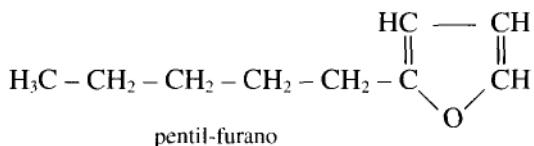
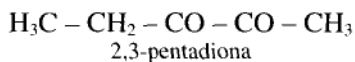
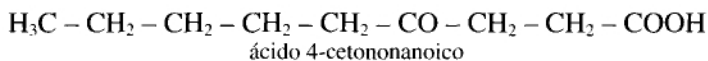
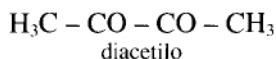


Figura 15.9. Estructuras químicas de compuestos volátiles aislados de aceites revertsos.

Polimerizaciones provocadas por el calor

Cuando los lípidos alimentarios se someten a tratamientos térmicos elevados pueden experimentar profundos cambios: se liberan un 1 % de ácidos grasos saturados, se reduce su valor yodo y se oscurece el color.

Uno de los cambios más importantes implica la formación de compuestos poliméricos a través de dos mecanismos posibles: unas veces, por interadición entre dobles enlaces correspondientes a moléculas diferentes de ácidos grasos; otras, al ciclar por reacción dentro de la misma molécula. Muchas veces, la polimerización tiene lugar porque de modo parcial el sistema 1,4-dieno con configuración *cis* del ácido linoleico se convierte en el conjugado 1,3-dieno con la configuración *trans*. Después, ambas estructuras se combinan a través de una reacción tipo Diels-Alder y origina un compuesto dímero.

Fundamentalmente, la alteración afecta a los triacilgliceroles que incorporan en sus estructuras algún ácido graso insaturado. Estos compuestos químicos responden al tratamiento térmico de dos modos diferentes, según que las condiciones tecnológicas se desarrollen en un medio anaerobio o por el contrario se realice con la intervención del oxígeno.

En el primer caso, uno de los mecanismos favorecidos por la anaerobiosis es la ruptura homolítica de aquellos enlaces C-C, que se encuentran localizados en cualquiera de las dos posiciones contiguas al doble enlace, para convertir los fragmentos de la estructura en radicales libres.

Con posterioridad, estos fragmentos pueden sustraer, bajo determinadas condiciones ambientales, un átomo de hidrógeno de alguna molécula de ácido graso insaturado, como puede ser el ácido oleico, para dar lugar a un radical alilo. Después, existe una adición intermolecular entre este radical libre y el enlace C-C de otra molécula de ácido graso, con la formación de un compuesto radical dimérico.

Llegado a este punto se puede continuar por tres vías diferentes, que conducen a un dímero dienoico, a un dímero monoenoico o a un dímero monocíclico saturado (Fig. 15.10).

Las reacciones transcurren de modo semejante para el caso del ácido linoleico, aunque difieren en los productos finales, que suelen ser mezclas de dímeros monocíclicos, bicíclicos y tricíclicos, con grados de saturación muy diversos. Las estructuras monocíclicas se forman con la participación de un dieno conjugado que reacciona con un doble enlace de otra molécula de ácido graso insaturado. En cambio, las estructuras bicíclicas y las tricíclicas, pueden responder a reacciones en las que se combinan la formación de radicales libres con la ciclación intramolecular de Diels-Alder (Fig. 15.11). Con otros ácidos grasos poliinsaturados se obtienen estructuras más complejas.

La descomposición térmica de los ácidos grasos insaturados con la intervención del O₂ del aire suele conducir a la formación de dímeros, trímeros y tetrámeros con grupos polares. En este tipo de oxidación se forman hidroperóxidos, cuya descomposición puede optar por dos caminos diferentes: la formación de un radical libre *oxi* (O•) o la conversión en un radical libre *peroxi* (OO•).

A su vez, estas dos variantes de radicales pueden reaccionar a través de dos mecanismos distintos: *a*) quitar un átomo de H a otra molécula de ácido graso para

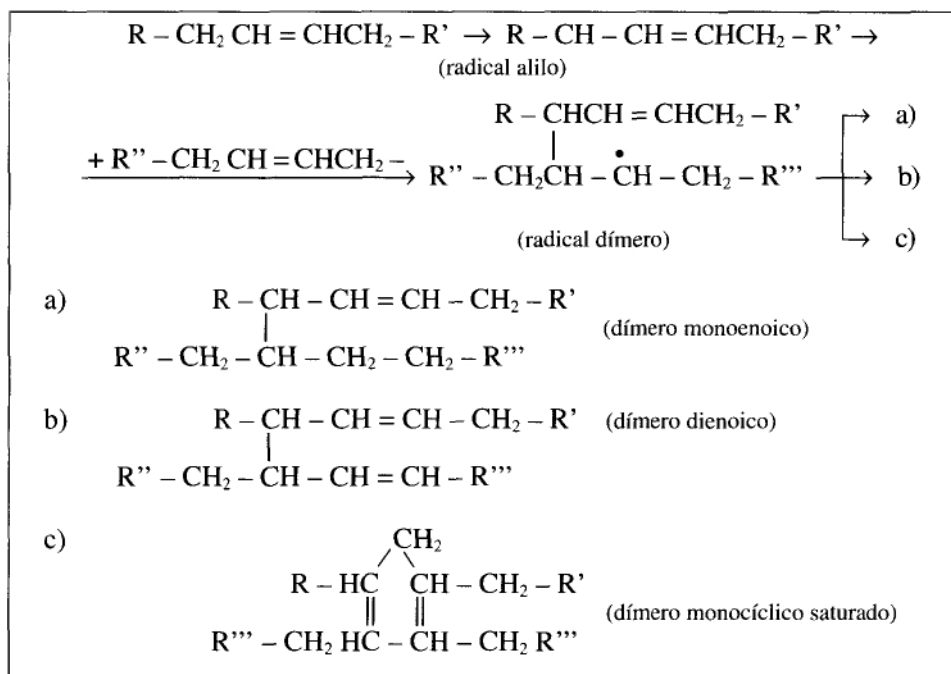


Figura 15.10. Polimerización anaeróbica de compuestos grasos insaturados por la acción del calor.

originar nuevos radicales; *b*) adicionarse a un doble enlace entre átomos de carbono de una molécula de ácido graso insaturado para convertirse en dímeros radicales, con puentes éter o peróxidos. A continuación, estos nuevos radicales pueden unirse a una molécula de O_2 y dar un radical peroxilo, que a su vez puede intervenir en una segunda adición o combinación. De este modo, se llega a la formación de polímeros de gran tamaño.

Con todos estos productos secundarios se incrementan tanto la viscosidad del aceite como su capacidad para formar espumas en los procesos de fritura. Cuando en estos procesos culinarios no se renueva el aceite de modo conveniente se forman productos tóxicos.

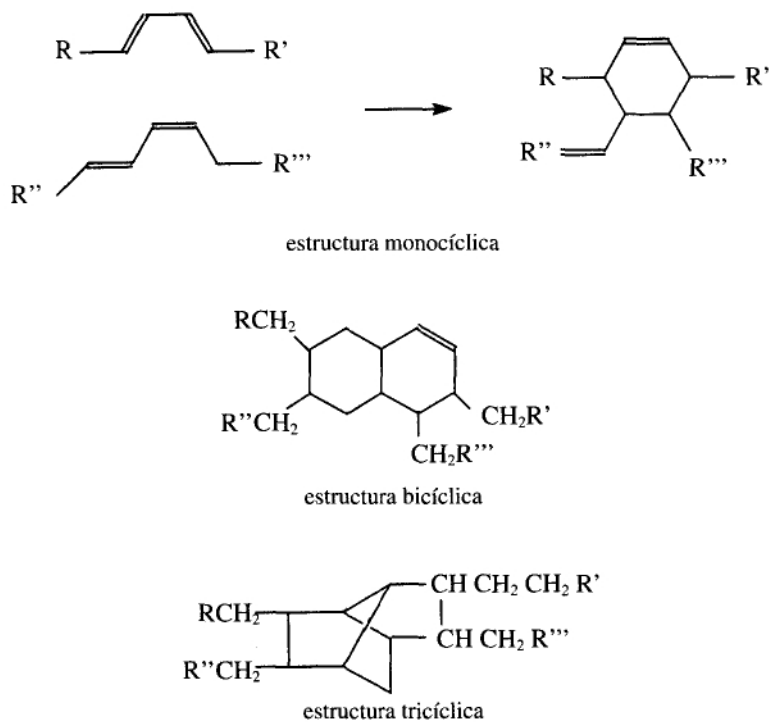


Figura 15.11. Estructuras monocíclicas, bicíclicas y tricíclicas provocadas por el tratamiento térmico.

El pardeamiento enzimático

• Introducción. • Sustratos del pardeamiento enzimático. • Sistemas enzimáticos responsables.	• Mecanismos de reacción. • Modos de prevenir la alteración.

Introducción

Se conoce con el nombre de *pardeamiento enzimático* a una alteración química, aunque enzimática en sus primeras etapas, que tiene como sustratos a los compuestos fenólicos que transforman en estructuras poliméricas poco aclaradas, por lo general con coloraciones pardas.

Por su origen, apenas puede ocurrir en los alimentos de origen animal, mientras que sí puede ocasionar significativos problemas de calidad en la conservación de frutas y verduras. En estos casos, las alteraciones aparecen sobre todo cuando los productos vegetales han sufrido algún daño en sus tejidos por contusiones ocasionales o bien debido a las agresiones propias de algunos tratamientos tecnológicos: troceado, extracción de zumos, deshidratación, congelación, etc. Los ejemplos de alimentos de origen vegetal pueden ser abundantes: patatas, champiñones, manzanas, melocotones, peras, plátanos, etc.

No siempre la formación de estos pigmentos coloreados se ha de considerar como un fenómeno químico indeseable, puesto que existen diversos casos dentro de la tecnología de alimentos en los que precisamente se busca esta transformación de los componentes fenólicos: proceso de maduración de dátiles, fermentación de las hojas de té, secado de granos fermentados de cacao, etc.

Sustratos del pardeamiento enzimático

Los principales sustratos para que pueda tener lugar el inicio de esta alteración son todos aquellos compuestos que responden a estructuras de monofenoles, ortodifenoles y polifenoles, con una mayor o menor reactividad en función de dicha

estructura. En general, los monofenoles suelen originar procesos más lentos porque necesitan de una primera hidroxilación enzimática y sus oxidaciones resultan más selectivas que en el caso de los difenoles.

Se ha podido observar que muchos de los sistemas enzimáticos que intervienen en esta alteración son muy específicos de los compuestos ortofenólicos. Por eso, los metadifenoles, como el resorcinol, casi nunca son sustratos de pardeamiento enzimático porque no existen sistemas enzimáticos que actúen sobre ellos.

Los sustratos fundamentales (Fig. 16.1) que pueden ser objeto de las reacciones propias del pardeamiento enzimático hay que buscarlos entre los principales componentes fenólicos de los alimentos de origen vegetal:

- El orto-difenol y sus derivados, aunque no sus compuestos mediados: el *pirocatecol*, pero no el guayacol; el *ácido cafeico*, pero no el ácido ferúlico; el *ácido protocatéquico*.
- Los compuestos derivados del aminoácido L-tirosina: la *dopa* o *3,4-dihidroxi-fenilalanina*, existente en la patata, y la *dopamina* o *3,4-dihidroxi-feniletilamina*, que es el sustrato principal del pardeamiento de los plátanos.
- Los ácidos orgánicos que incluyen en sus estructuras anillos aromáticos: el *ácido gálico*, que puede tomar parte de algunos taninos hidrosolubles, y el *ácido clorogénico* presente en los granos de café, manzanas, patatas, etc., que con vestigios de cationes de hierro puede dar lugar a pigmentos negro azulados.
- Los compuestos *flavonoides*, que pueden encontrarse bajo las formas más diversas:
 - *Antocianósidos* y *antocianidoles*, que presentan coloraciones muy sensibles a las variaciones de pH o a la pérdida hidrolítica del grupo glucídico de los primeros.
 - El compuesto incoloro *leucocianidol*, que por el calor en medio ácido se oxida y deshidrata desarrollando coloraciones de tonos rosas o rojos, como ocurre en coles, habichuelas, manzanas, peras, etc.
 - Los *flavonoles*, como el quercetol.
 - Las *flavononas*, como el naringenol, cuyo glucósido con glucosa y ramosa es la naringina, responsable del amargor de algunos frutos cítricos.
- Las *ligninas*, que son polímeros fenólicos responsables de las estructuras rígidas de muchos vegetales.
- Los *taninos*, unos derivados pirogálicos y otros condensados catéquicos, que reaccionan con proteínas y que bajo sus formas oxidadas aportadas por el lúpulo, participan en la turbidez de las cerveza, o pueden formar compuestos pigmentados pardos, como ocurre en las castañas cuando se elabora el «marrón glacé», que es el resultado de una reacción entre los taninos pirogálicos y los vestigios de hierro.

Sistemas enzimáticos responsables

Desde finales del siglo XIX se conoce la naturaleza enzimática de algunas alteraciones de los productos vegetales y años después se puso de manifiesto la parti-

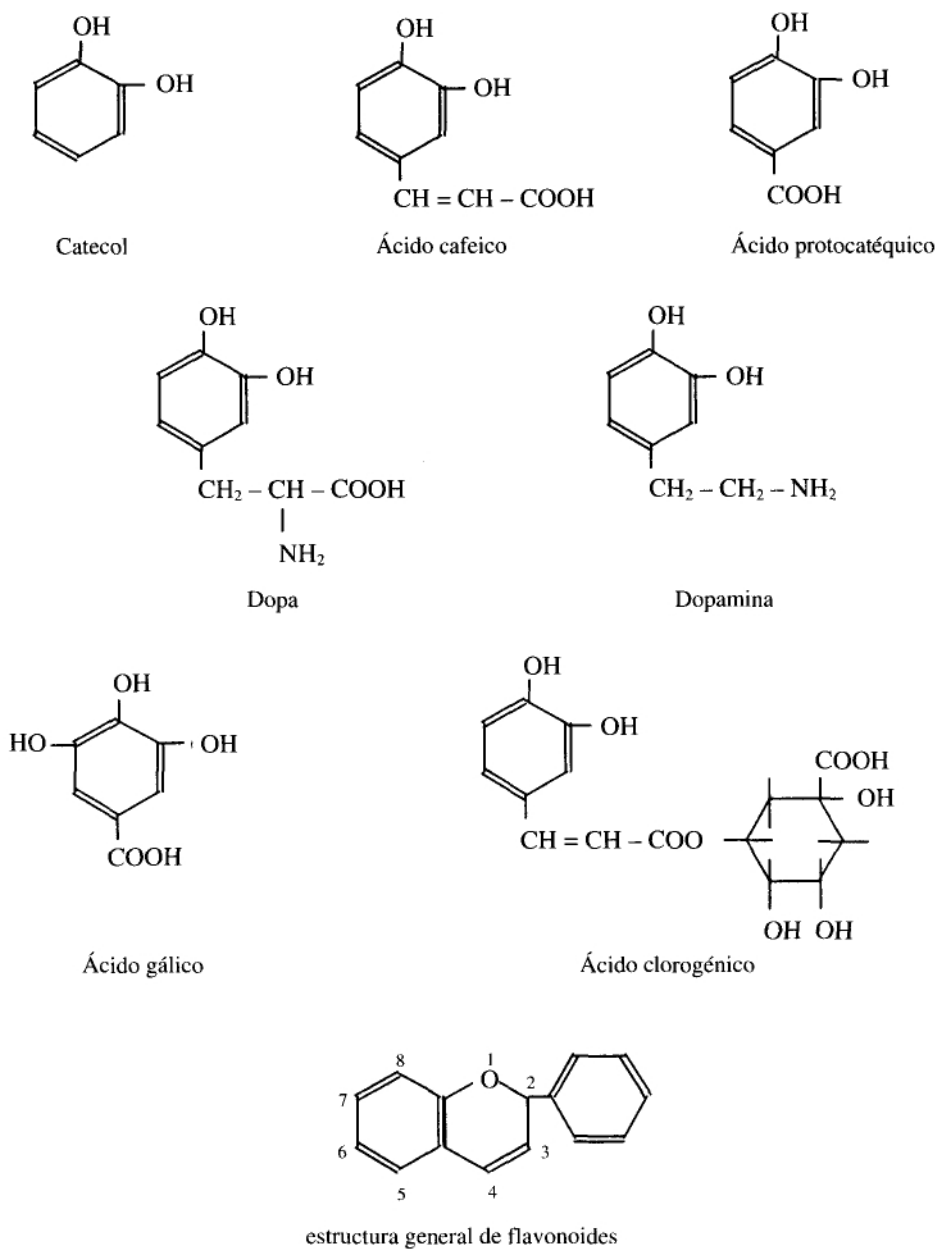


Figura 16.1. Principales sustratos del pardeamiento enzimático.

cipación de los compuestos ortodifenólicos presentes en estos productos. Hoy día se sabe que en el pardeamiento enzimático intervienen los sistemas polifenol oxidasas, que se encuentran en muchos vegetales con la función de oxidar diversos sustratos. Posiblemente, los polímeros coloreados que aparecen inmediatamente

después de una lesión del tejido vegetal constituyan una defensa de la planta frente a la penetración de microorganismos o, tal vez, para obstaculizar su propagación.

Parece que enzimas y sustratos se localizan en compartimentos celulares o tisulares diferentes, siempre que permanezcan los tejidos sanos e intactos. Así, en los plátanos los sustratos se reparten entre las capas de tejido de la piel y en las manzanas se ha detectado una enzima ligada a los cloroplastos y otra hidrosoluble. Solamente aparecen pardeamientos en las superficies de verduras y frutas cuando se rompe la estructura tisular, porque el O_2 del aire provoca la activación del sistema enzimático.

Las enzimas implicadas en este pardeamiento se conocen con el nombre de polifenoloxidasas, también denominadas polifenolasas o simplemente fenolasas. Generalmente se admite que todos estos términos incluyen las enzimas que tienen la capacidad de oxidar los compuestos fenólicos a orto-quinonas. Su nombre sistemático corresponde al de *orto-difenol oxígeno oxidoreductasa*. Se trata de metaloenzimas que contienen un 0,2 % de cobre como grupo prostético. El sistema presenta una doble actividad capaz de catalizar dos tipos de reacciones:

- El paso de monofenoles a orto-difenoles mediante una actividad cresolasa, que implica una hidroxilación.
- La conversión de orto-difenoles a orto-quinonas, a través de una actividad catecolasa, que implica una oxidación.

En general, el sistema es activo en la zona situada entre los pH 5,0 y 7,0, con preferencia por el rango 6,0-6,5, aunque su pH óptimo no se encuentra bien definido. El sistema se inactiva cuando el pH del medio alcanza las zonas ácidas inferiores a 3,0.

En algunos vegetales se ha comprobado que uno y otro proceso son catalizados por enzimas distintas, que incluso han podido ser separadas. Las diferencias observadas en las actividades hidroxilantes y oxidantes de enzimas obtenidos a partir de vegetales diversos, hacen pensar en la existencia de isoenzimas y también en variaciones de los contenidos en cationes cuprosos y cúpricos.

Aunque estos sistemas enzimáticos se encuentran en la mayoría de las plantas, solamente los granos de café verde, champiñones, manzanas, melocotones, patatas, plátanos, peras y hojas de té verde lo contienen en cantidades relativamente elevadas. Parece que algunas frutas, como cítricos y pinas, contienen muy poco sustratos fenólicos y carecen del sistema enzimático polifenol oxidasa; otros, en cambio, pueden contener las enzimas, pero no los sustratos.

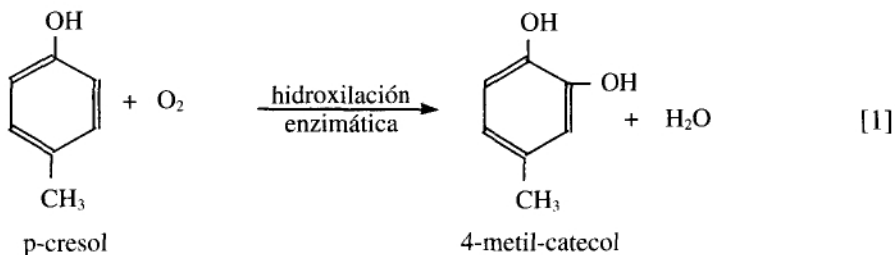
Mecanismos de reacción

Tal como se conoce hoy día, el pardeamiento enzimático transcurre a través de un proceso muy complejo, en el que se pueden distinguir cinco etapas, cada una de ellas con mecanismo de actuación propio, de naturaleza enzimática los dos primeros:

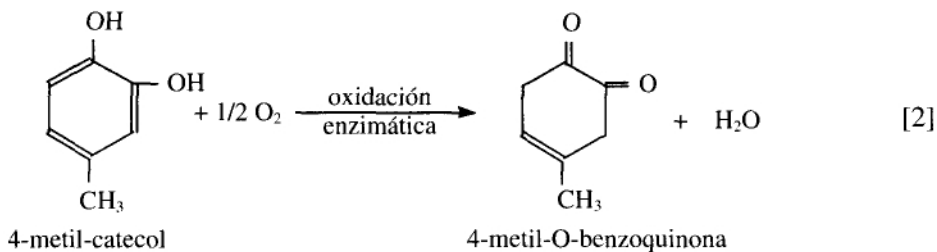
1. Hidroxilación inicial mediante actividad cresolasa.
2. Oxidación a quinonas por actividad catecolasa.

3. Hidroxilación química secundaria de las quinonas.
4. Cambios intramoleculares entre quinonas y fenoles.
5. Condensaciones de quinonas para dar lugar a polímeros.

1. La primera etapa tiene como sustrato a los monofenoles, casi siempre incoloros, que para ser convertidos en difenoles, también incoloros, necesitan de una hidroxilación enzimática, con la ayuda de una actividad cresolasa con intervención de la molécula de O_2 , de la cual un átomo se usa para formar el difenol y el otro es reducido a agua, como se expresa en la reacción [1].



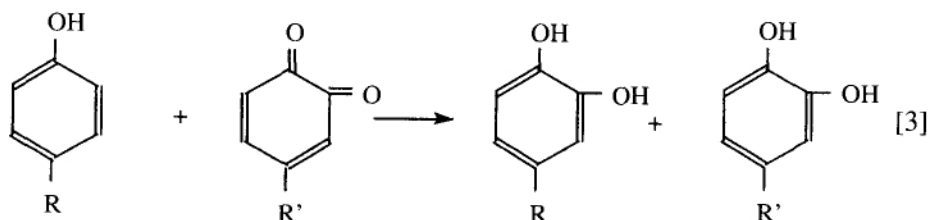
2. No se conoce con claridad el mecanismo de oxidación de los difenoles, aunque puede ser esquematizado como se expresa en la reacción [2].



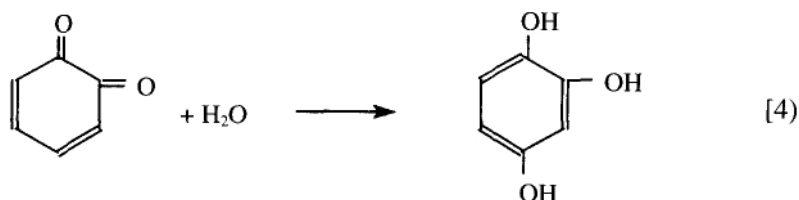
En esta etapa también interviene el oxígeno del aire como aceptor de hidrógenos y la actividad enzimática conocida con el nombre de catecolasa.

En ambas actividades, la implicación del catión cobre que se encuentra en todos los sistemas polifenolasas resulta esencial. Tanto para la actividad cresolasa como para la catecolasa, la intervención catalítica del cobre comprende un mecanismo que se desarrolla en varias etapas. Aunque la enzima se encuentra en los productos vegetales a concentraciones reducidas, suele ser la cantidad de sustrato el que limite la velocidad de la alteración.

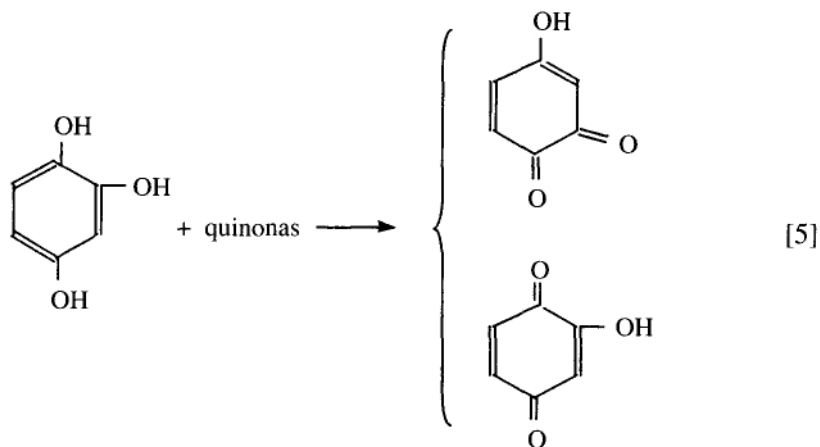
Como resulta muy difícil la separación de las actividades cresolasa y catecolasa, algunos autores han puesto en duda su existencia y han explicado el mecanismo de reacción como una oxidación no enzimática en la que deben intervenir a la vez tanto los monofenoles como las quinonas ya presentes en el alimento, según el esquema de la reacción [3].



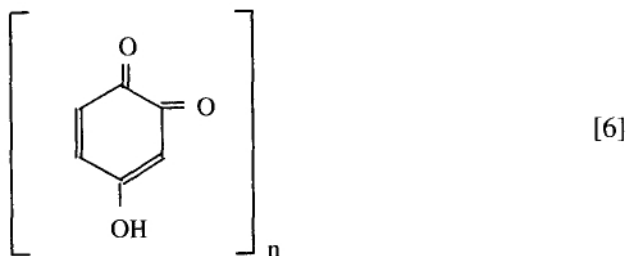
3. La formación de quinonas es un proceso que depende de la presencia de oxígeno y enzima, pero una vez que han sido formadas se producen de modo espontáneo una serie de reacciones de muy diversa naturaleza. Entre otras posibilidades, las quinonas pueden ser hidroxiladas de modo secundario mediante reacción con moléculas de agua para dar lugar a trihidroxibencenos, de acuerdo con el esquema [4].



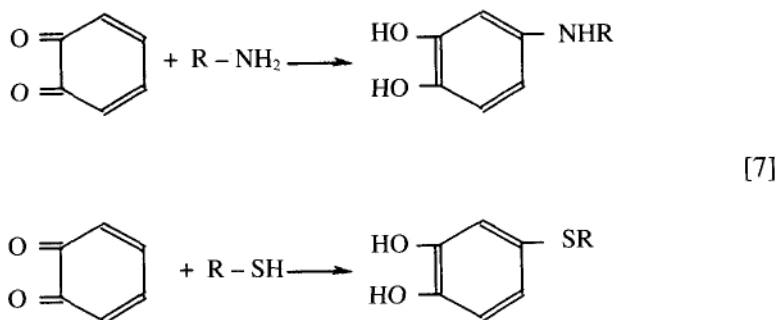
4. La gran capacidad de reacción de estos compuestos trifenólicos les lleva a cambios intramoleculares entre quinonas y fenoles para dar lugar a la formación de hidroxiquinonas, según la reacción [5].



5. Las hidroxiquinonas son la base de condensaciones oxidativas que conducen a la formación de polímeros denominados *melaninas*, que tras pasar por una gran variedad de colores rosa, rojo, azulado intermedios, alcanzan su coloración final parda o negra. Estas melaninas responden a las estructuras complejas no bien aclaradas, cuyo esquema general corresponde a lo indicado en [6].



Las proteínas y los aminoácidos también pueden reaccionar, a través de sus grupos libres aminos ($-\text{NH}_2$) y tioles ($-\text{SH}$), con las quinonas para dar compuesto de coloración intensa, según se indica en el esquema [7].



Algunas estructuras específicas de ciertos aminoácidos también pueden experimentar una serie de transformaciones químicas, que llevan a la formación de polímeros con coloraciones que varían desde el rosa al pardo después de pasos sucesivos. Un ejemplo, bastante bien estudiado y que ha servido de base para numerosos estudios sobre el mecanismo del pardeamiento enzimático, ha sido el del aminoácido fenólico L-tirosina, muy abundante en las patatas. A través de la conversión a *dopa* (3,4-dihidroxi-finilamina) y por oxidación de ésta a *dopaquinona* (orto-quinona-finilalanina) llega a un cierre de la cadena aminoacídica para formar un anillo heterocíclico, que se convierte en un halocromo de color rojo (5,6-quinona-indol-2-carboxílico), que por diversas oxidaciones y polimerización conduce a las melaninas de colores pardos (Fig. 16.2).

Modos de prevenir la alteración

Como para muchos alimentos el desarrollo de un pardeamiento enzimático durante los períodos de almacenamiento constituye una alteración que perjudica la vida útil comercial del producto, se han sugerido diversos modos de actuación para prevenir este tipo de perturbación de la calidad.

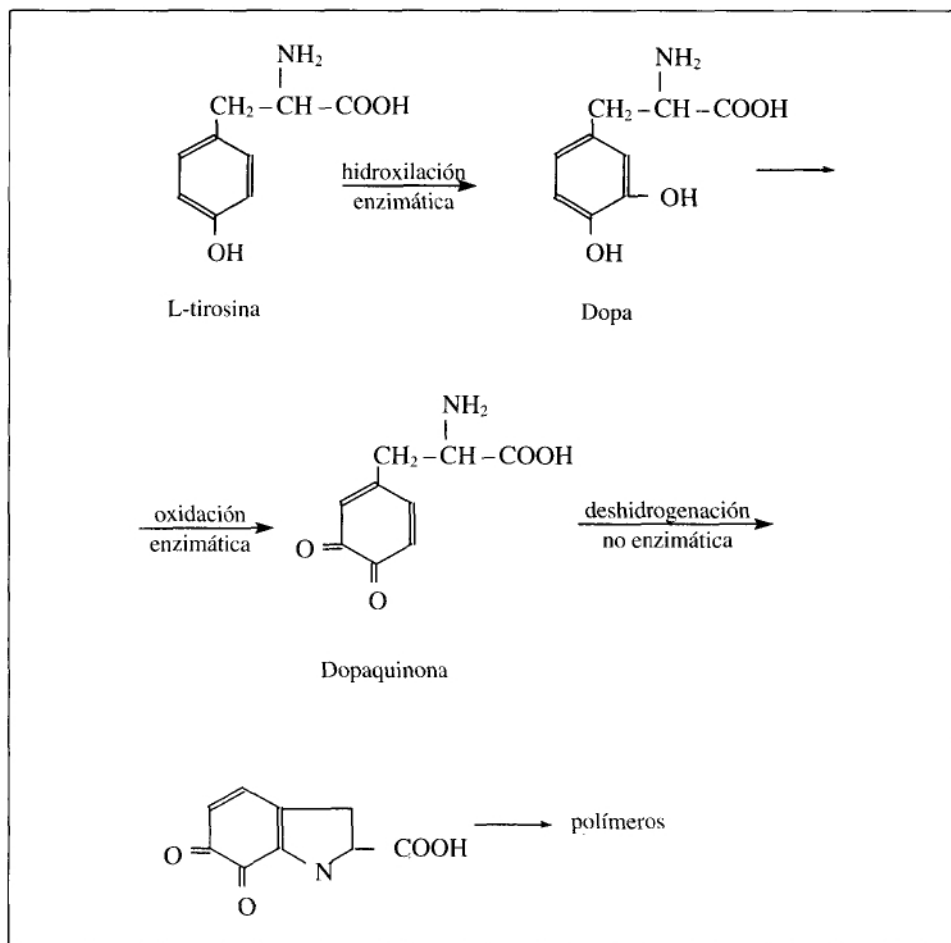


Figura 16.2. Conversión de la L-tirosina de las patatas en polímeros melanínicos.

Para que el pardeamiento enzimático tenga lugar hace falta que concurren tres factores esenciales:

- Presencia de sustratos fenólicos adecuados.
- Sistema enzimático activo: enzima O-difenol oxígeno oxidoreductasa, con átomos de cobre como grupo prostético.
- Presencia de oxígeno.

Por consiguiente, para el control de las etapas iniciadoras del proceso resulta posible actuar sobre dos de estos factores: la actividad enzimática y la disponibilidad del oxígeno. En cambio, poco se puede hacer para una eliminación del sustrato: bien elegir variedades pobres en ellos, o bien intentar su transformación en derivados menos reactivos, como son los derivados acetilados, con el fin de bloquear la transformación en quinonas.

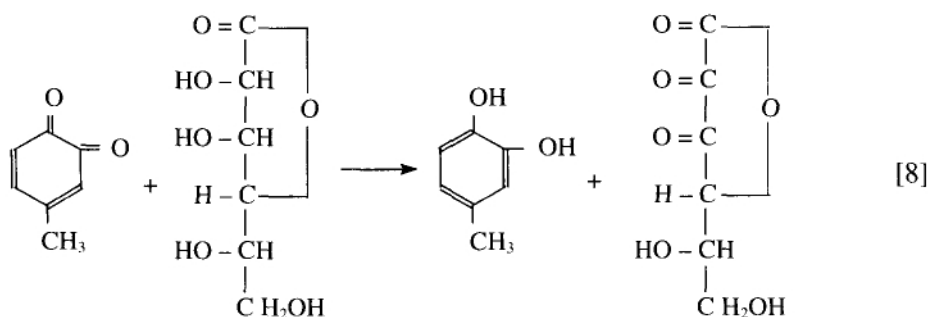
A pesar de todo, desde un punto de vista teórico podrían ser aplicados medios bastante numerosos para impedir la alteración, pero razones de toxicidad, productos secundarios desfavorables, exigencias legales o costo de la operación, reducen a siete los recursos con aplicación práctica:

1. Aplicación de calor.
2. Adición de compuestos reductores, como el ácido ascórbico.
3. Tratamiento con anhídrido sulfuroso o sulfitos.
4. Exclusión del oxígeno.
5. Inhibición del sistema enzimático por el CINa.
6. Mediación de los grupos fenoles.
7. Variación del pH mediante el uso de acidulantes.

1. El método más empleado para inactivar las enzimas fenolasas suele ser el tratamiento con agua caliente, porque estas enzimas se inactivan a temperaturas entre 85 y 95 °C en muy poco tiempo. Sin embargo, esta metodología, propia del escaldado de los vegetales, tiene sus limitaciones de aplicación, porque son pocos los alimentos que la resisten sin que se modifiquen sus caracteres organolépticos.

Por tanto, no siempre puede ser aplicada. Incluso, cabe el riesgo a veces de romper las estructuras celulares y facilitar así el contacto de las enzimas liberadas con el sustrato; de este modo, el escaldado podría acelerar la aparición del pardeamiento. En la práctica, existe una estrecha relación entre la temperatura de trabajo y el tiempo de tratamiento, aunque dicha relación varía con la concentración de la enzima y con el pH del alimento.

2. Los compuestos reductores pueden convertir de nuevo las quinonas a fenoles e impedir, o al menos retrasar, el desarrollo del pardeamiento enzimático. Uno de los reductores más útiles es el ácido ascórbico, muy usado en la producción comercial de purés y zumos de frutas, que actúa según la reacción [8].



También las sustancias que poseen grupos tioles (-SH) libres pueden reducir las quinonas y, por consiguiente, evitar el pardeamiento. Sin embargo, es importante seleccionar muy bien la adición de las mismas, debido a la influencia que pueden tener sobre los sabores.

3. Los mejores inhibidores de la actividad enzimática de las polifenolasas son el anhídrido sulfuroso y las sales sódicas de sulfitos, bisulfitos y metabisulfitos, compuestos usados también como antisépticos, aunque a diferentes niveles de los

aplicados para prevenir el pardeamiento enzimático. En estos casos bastan concentraciones de SO_2 del orden de p.p.m., para que actúe con eficacia. La presencia de ácido ascórbico o de tiamina permiten reducir la dosis necesaria para los sulfitos. Se suelen aplicar en aquellos productos donde el tratamiento térmico puede ocasionar cambios de texturas o desarrollar sabores anormales.

No obstante, también con estos compuestos pueden presentarse efectos secundarios recusables, como la destrucción de tiamina con pérdida del valor nutritivo, degradación de antocianinas con modificación del color, etc. No se conoce con exactitud el mecanismo de actuación de estos compuestos, pero al parecer sólo es eficaz el SO_2 libre; por tanto su exceso debe ser eliminado para evitar malos sabores.

4. También puede resultar eficaz como método de control de esta alteración impedir el contacto del oxígeno con los tejidos. Sin embargo, las dificultades tecnológicas que lleva consigo su aplicación restringe bastante su uso. Además, la exclusión del oxígeno conduce a situaciones de anaerobiosis, que representa un grave riesgo para el desarrollo de posibles esporas de las bacterias anaeróbicas, como los *Clostridium*, cuando los alimentos se han de conservar durante un cierto tiempo. Generalmente, su empleo queda reducido a los casos en los que no cabe aplicar otros métodos. Se puede llevar a cabo mediante envasado del producto a vacío o en atmósfera de nitrógeno.

5. La inmersión de vegetales en soluciones diluidas de CINA, inmediatamente después de ser troceados, ha resultado un modo eficaz para retrasar la aparición del pardeamiento. Se piensa que es debido a una inactivación de la enzima por la acción de la sal, bastando para ello concentraciones del 0,1 %. Por razones del sabor salado que aporta, el método se limita a las verduras y no se puede hacer extensivo a las frutas por su sabor dulce. En estos casos se suele aplicar un recubrimiento de jarabe para las frutas que van a ser congeladas.

6. El haberse probado que guayacol y ácido ferúlico no sirven de sustratos para estas alteraciones enzimáticas ha llevado a pensar que la metilación de los grupos hidroxilos puede servir de protección al bloquear los grupos reactivos. Por ello, se ha querido aprovechar que los vegetales suelen tener enzimas como la O-metiltransferasa, que metilan los orto-difenoles en presencia de compuestos donadores de grupos metilos, como la S-adenosilmetionina (Fig. 16.3). La aplicación de este método implica la inmersión de los trozos de vegetales en una solución con la enzima y el donador de los grupos metilos. Tienen el inconveniente de exigir un pH ligeramente alcalino, que dificulta su empleo en el caso de frutas.

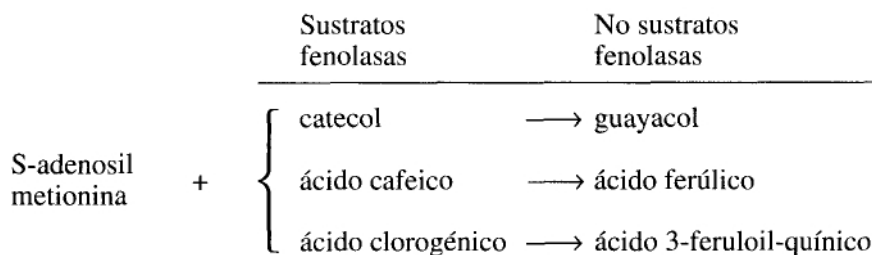
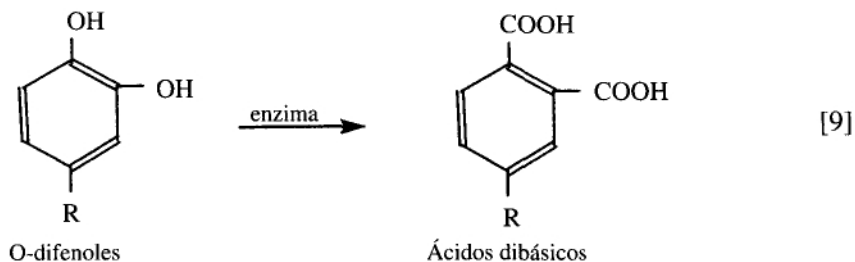


Figura 16.3. Metilación de diferidles con O-metiltransferasa.

También se puede aplicar para prevenir el pardeamiento la enzima protocatequico oxigenasa, que oxida los dos grupos fenoles a sus correspondientes funciones ácidos, según esquema [9].



7. Por último, un método ampliamente empleado consiste en la adición de ácidos orgánicos con la finalidad de reducir el pH del tejido vegetal y con ello amortiguar la velocidad de desarrollo del pardeamiento enzimático.

Generalmente, se suelen usar ácidos que se encuentran de modo natural en los productos vegetales, como cítrico, málico y ascórbico, aunque a veces se ha llegado a usar el fosfórico. El pH óptimo de la mayor parte de las enzimas fenolasas se sitúa en valores próximos a 7,0 y por tanto la actividad de la enzima se reduce de modo notable cuando el pH llega a ser de 4,0. Los más eficaces suelen ser los ácidos cítrico y málico, aunque los mejores resultados se obtienen con el ascórbico, porque, como ya se ha visto anteriormente, reduce a las quinonas a los difenoles de origen. En las industrias de frutas congeladas se suele usar una mezcla de ascórbico con cítrico.

El pardeamiento no enzimático

- Introducción.
- Reacción de Maillard.
- Caramelización de los azúcares.
- Oxidación del ácido ascórbico.
- Factores que condicionan el desarrollo del pardeamiento no enzimático.
- Medidas de prevención.

Introducción

Con el concepto de *pardeamiento no enzimático* se designa a un complejo conjunto de reacciones químicas, que afectan a ciertos componentes de los alimentos, de modo principal a proteínas y azúcares, después de varias etapas y conducen a la formación de pigmentos poliméricos de colores pardos o negros, que reciben el nombre de *melanoidinas*. A menudo, estas reacciones químicas provocan modificaciones en el color, olor y flavor de los alimentos, la mayoría de las veces desfavorables pero deseadas en algunos casos.

Se trata de un fenómeno bastante común, vinculado a ciertos procesos tecnológicos de elaboración de los alimentos, así como al período de su almacenamiento. Así por ejemplo, puede acontecer durante las tecnologías de concentración de productos como la leche o los zumos de frutas, o incluso durante los tratamientos de pasteurización de los mismos; también, suele darse durante la deshidratación de carnes, huevos, leches, zumos de frutas, concentrados de pescado, etc. En la práctica resulta de primordial interés, porque además de afectar a las cualidades organolépticas, también puede perjudicar el valor nutritivo de los productos alimenticios, hasta el punto que puede ser considerado la mayoría de las veces como un factor limitante de la vida útil comercial de los alimentos procesados.

Por el contrario, existen ejemplos en los que estas reacciones químicas se buscan como algo deseado y favorable: la formación de la corteza del pan, la elaboración de patatas fritas, tostado de granos de cafés, flavor de las carnes asadas, fabricación de cereales para el desayuno, etc.

Aunque los resultados finales puedan ser siempre semejantes, este tipo de alteración química suele estar integrado por un conjunto de reacciones muy variado y complejo, que provocan modificaciones en los sustratos correspondientes. Aunque los componentes que intervienen en ella sean, de modo principal, los carbohidratos de bajo peso molecular y los aminoácidos, también hay que contar con los compuestos carbonilos que, de modo secundario, se forman en el enranciamiento de los lípidos insaturados.

Lo que se conoce del mecanismo de reacción de esta alteración se basa esencialmente en los estudios realizados sobre sistemas modelos, más o menos sencillos, cuyos resultados se extrapolan al caso de alimentos convencionales. Con el sistema modelo más simple, formado por mezcla de glucosa y glicina, se ha podido comprobar que tanto las posibles reacciones que intervienen, como los productos secundarios que aparecen, alcanzan proporciones insospechadas.

De todos modos, hoy día se admite que en el pardeamiento no enzimático pueden intervenir hasta tres mecanismos de reacciones diferentes, que dependen tanto de los sustratos como de las condiciones bajo las que se encuentre el alimento. Como todo alimento viene a ser un sistema bastante complejo de componentes químicos, es posible que en ellos se puedan dar de modo simultáneo los tres mecanismos:

1. La *reacción de Maillard*, que afecta a la interacción entre los grupos carbonilos libres de los azúcares y los grupos aminos libres de aminoácidos, incluso integrados en cadenas peptídicas.
2. La *caramelización de los azúcares*, provocada por un tratamiento térmico intenso de los mismos, catalizada unas veces por los ácidos y otras no.
3. La oxidación del ácido ascórbico.

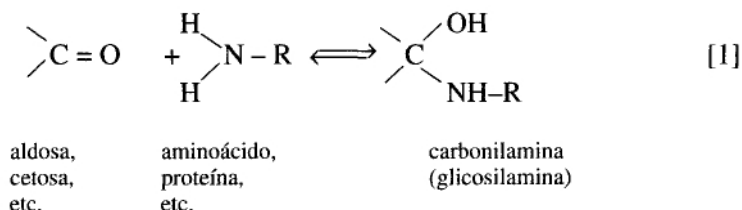
Reacción de Maillard

Muy estudiada, desde que fue conocida en 1912, se admite que su mecanismo global puede ser estructurado, dentro de su complejidad, en cinco etapas bien diferenciadas:

- Condensación azúcar-aminoácido.
- Transposición de los productos condensados.
- Formación de estructuras insaturadas por separación de átomos de hidrógeno.
- Procesos de fisión y degradación.
- Polimerización para dar lugar a pigmentos melanoidinas.

a) Primera etapa

La etapa inicial de la *reacción de Maillard* consiste, desde el punto de vista de los mecanismos químicos, en una condensación. En ella, reaccionan los grupos carbonilos de los azúcares reductores con los grupos aminos de aminoácidos y proteínas para dar lugar a la formación de carbonilaminas o glicosilaminas N-sustituidas [1].

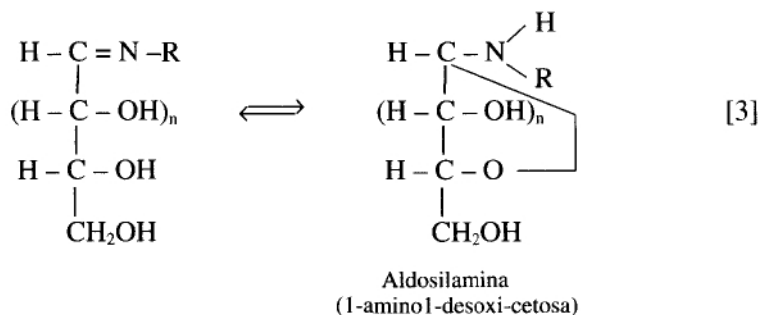


La condensación puede acaecer con cualquiera de los azúcares reductores presentes en un alimento: aldosas, cetosas, disacáridos, ácidos uránicos, etc. Las pentosas suelen ser más reactivas que las hexosas, las aldosas más que las cetosas. En lo que hace referencia a los aminoácidos, se ha observado que su grupo amino es tanto más reactivo cuanto más alejado esté situado del grupo carboxilo.

Las glicosilaminas, pueden perder una molécula de agua entre el grupo OH glucosídico libre y el hidrógeno del grupo amino sustituido y ser transformadas en bases de Schiff, estructuras muy inestables [2], cuando se encuentran en medio ácido.



Cuando se trata de una aldosa, la base de Schiff se isomeriza rápidamente en una aldosamina N-sustituida [3].



Las glicosilaminas que proceden de proteínas resultan más estables que las originadas por los aminoácidos, porque en este segundo caso el grupo carboxílico ejerce una actividad catalítica que le obliga a continuar de modo rápido a la siguiente etapa de la alteración.

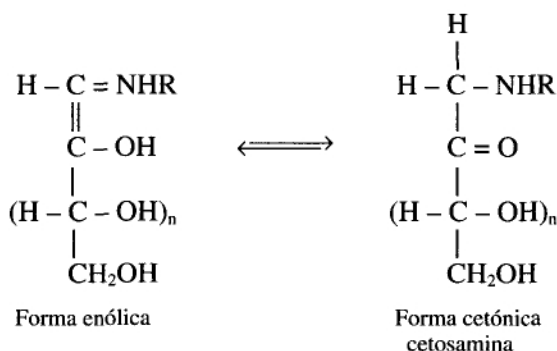
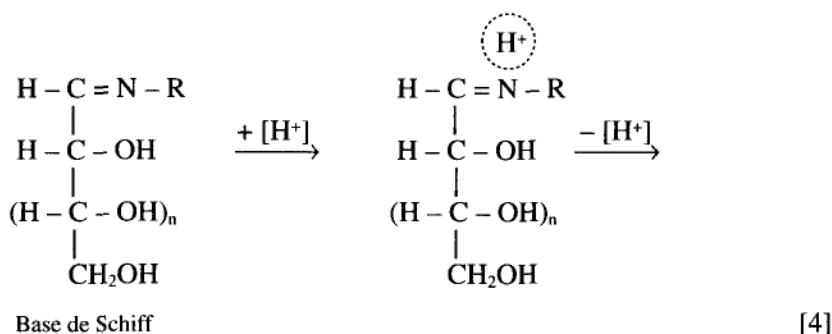
El proceso químico de la condensación depende del pH de un modo bastante complejo: la velocidad de la reacción [1] se inhibe por los pH ácidos, mientras que la reacción [2] se acelera por la catálisis acida de los protones. Incluso, la condensación puede ser un fenómeno reversible, al ser fácilmente hidrolizada por los ácidos diluidos la glicosilamina formada. Como consecuencia de la formación de agua en la reacción [2], la condensación estará favorecida, de acuerdo con la ley de acción de masas, en aquellos productos alimenticios que se comercializan parcialmente deshidratados.

Esta condensación entre grupos carbonilos y aminos implica una menor dispo-

nibilidad de muchos aminoácidos alimenticios, así como una pérdida de solubilidad y digestibilidad de las proteínas. El alimento pierde valor nutritivo al quedar no disponibles algunos aminoácidos esenciales como la usina, que tiene un segundo grupo amino libre en posición épsilon, o cuando interviene el ácido ascórbico, que pierde su actividad vitamínica con la reacción.

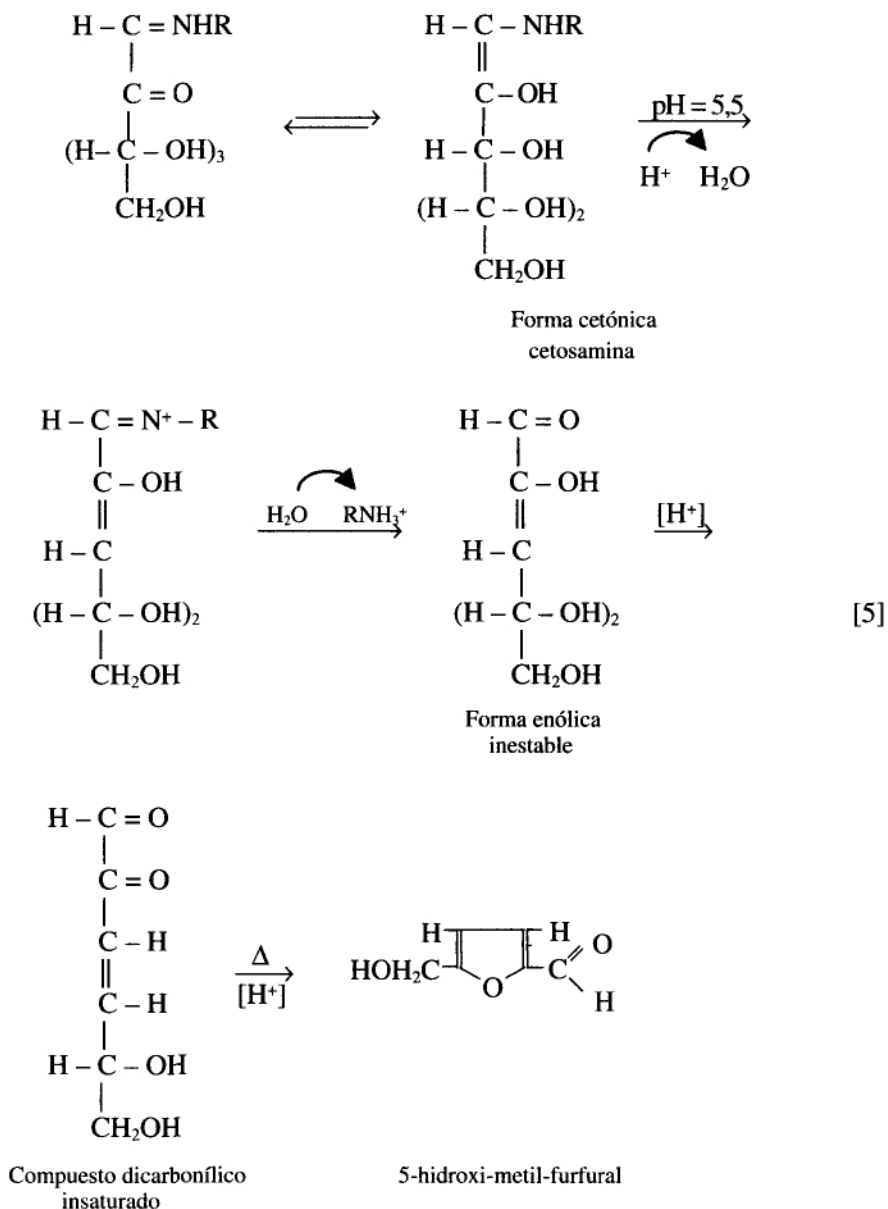
b) Segunda etapa

Con el tiempo, los productos resultantes de la condensación anterior sufren una transposición [4], de tal modo que si se ha partido de una aldosa aparece una cetosamina (transposición de Amadori) y cuando participa una cetosa se origina una aldosa (transposición de Heyns). Como esta transposición se cataliza por las funciones carboxílicas de los aminoácidos, la estabilidad de las glicosilaminas originadas a partir de aminoácidos suele ser reducida. No obstante, son más estables las glicosilaminas derivadas de los aminoácidos aromáticos o las que llevan sustituciones en el N del grupo amino. Estas transposiciones entre aldosas y cetosas resultan ser el primer paso irreversible de este tipo de alteración química.



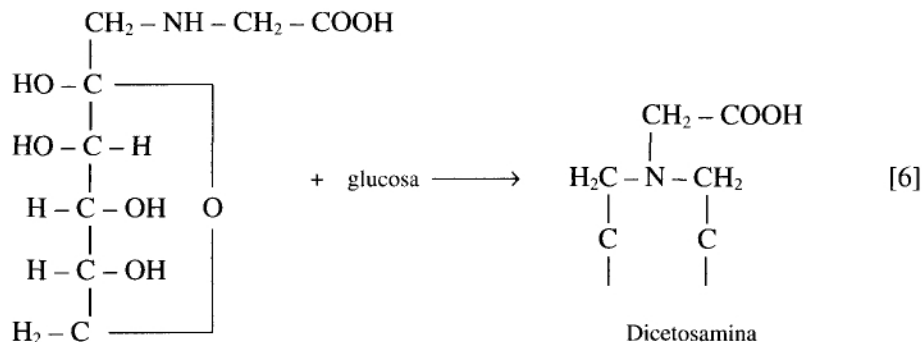
c) Tercera etapa

Cuando los estudios acerca de los mecanismos del proceso se llevan a cabo con sistemas modelos se observa que después de las transposiciones se detecta un alto grado de insaturación, que proporciona una gran reactividad a los productos secundarios detectados. Así, en medio ácido, las osaminas pasan por una enolización en posición 1,2, que conduce a compuestos dicarbonílicos insaturados, poderosos precursores de los polímeros pardos [5].



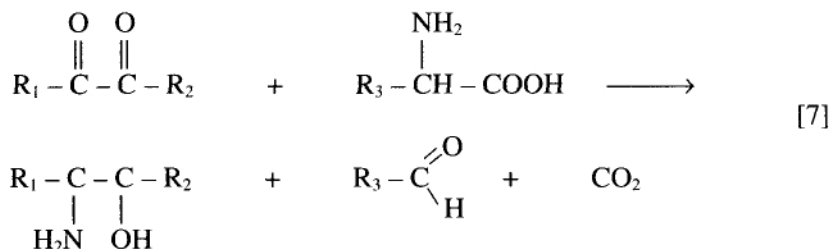
Los compuestos resultantes suelen ser menos estables que el producto de transposición y por tanto son fácilmente degradados a estructuras de carácter insaturado, llamadas osulosas, que entre otros derivados dan lugar a furfurales, de modo principal el 5-hidroximetilfurfural, cuando el azúcar de partida ha sido una hexosa. Precisamente, una forma de controlar la velocidad de la alteración consiste en seguir mediante espectrofotometría la formación de este compuesto, puesto que se ha encontrado una gran correlación entre dicha velocidad y la intensidad del pardeamiento alcanzado al final del proceso.

También es posible que se formen dicetosaminas [6] mediante una reacción catalítica entre el grupo amino secundario de la cetosamina y otra molécula de azúcar. En su favor está la confirmación de casos en los que la velocidad de pérdida de hexosas resulta mayor que la de los aminoácidos, hecho que puede ser considerado como una prueba de la formación de dicetosaminas.



d) Cuarta etapa

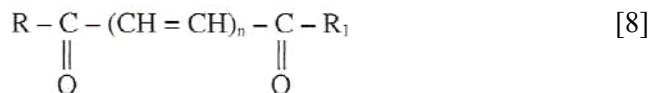
Un mecanismo alternativo lo constituye la denominada *degradación de Strecker*, que tiene lugar en presencia de ciertos compuestos alfa-dicarbonílicos capaces de interaccionar con los alfa-aminoácidos [7]. En cierto modo, el aminoácido sufre una desaminación y una descarboxilación con formación de un aldehído. Se ha comprobado, mediante el empleo de isótopos, que el CO₂ desprendido procede de la molécula del aminoácido, cuyo grupo amino emigra a la molécula dicarbonílica, teniendo de este modo la oportunidad de participar en las estructuras de los pigmentos pardos cuando se forman.



e) Quinta etapa

Se ha visto que de un sistema formado por un azúcar y un aminoácido pueden aparecer mezclas muy complejas de una gran variedad de sustancias muy reactivas: furfural y derivados, osulosas insaturadas, aldehídos que proceden de la degradación de aminoácidos, aldehídos y cetonas originados de la fisión de las moléculas de carbohidratos, etc.

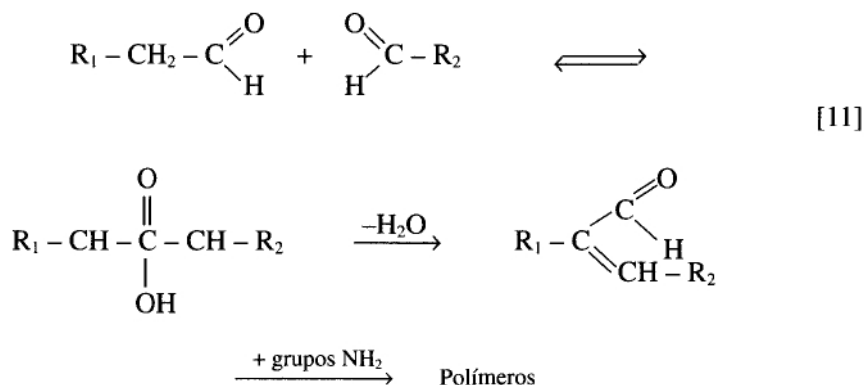
De todos ellos, las sustancias que tienen grupos carbonilos más reactivos son los compuestos dicarbonílicos no saturados [8], seguidas de los compuestos dicarbonílicos tipo reductonas [9] y por último los aldehídos y cetonas alfa y beta insaturados [10].



Parece que la etapa final entraña un proceso de polimerización en la que están implicados estos compuestos carbonílicos intermediarios, proceso en el que algunas veces pueden intervenir de nuevo estructuras de aminoácidos. Dos posibles mecanismos han sido sugeridos para explicar dicho proceso:

— A través de la formación de un aldehído insaturado más estable, que tiene lugar mediante reacción catalizada por la misma presencia del aminoácido [11].

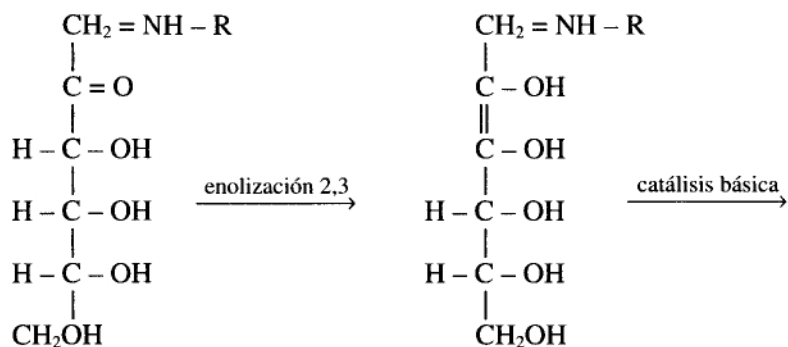
Posteriormente, estos compuestos carbonilos forman polímeros con los grupos aminos disponibles que están presentes. Éste podría ser el mecanismo a través del cual las proteínas de un alimento queden vinculadas a la estructura química de los pigmentos pardos. Los productos finales de la reacción reciben el nombre de melonoidinas y son complejos de alto peso molecular, aunque de estructuras poco aclaradas.



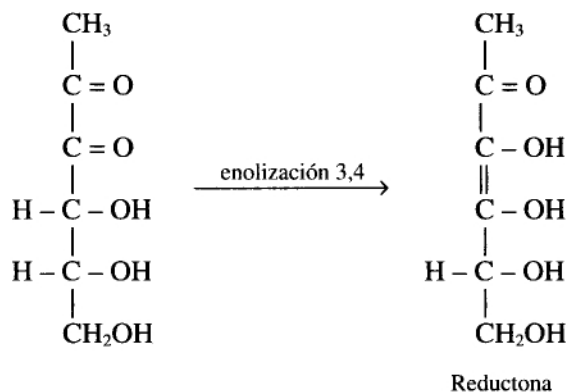
— Otra vía que ha sido sugerida para la formación de las melonoidinas se basa en la formación de reductonas a través de una enolización 2,3 en lugar que la 1,2 necesaria para la transposición de Amadori. Esta reacción se favorece en medios alcalinos o en aquellos casos donde la amina enlazada al azúcar resulta muy básica. En cierta medida, este tipo de reacción ocurre en aquellos alimentos que presentan un pH próximo a 7,0.

El mecanismo transcurre de acuerdo con varios pasos [12]:

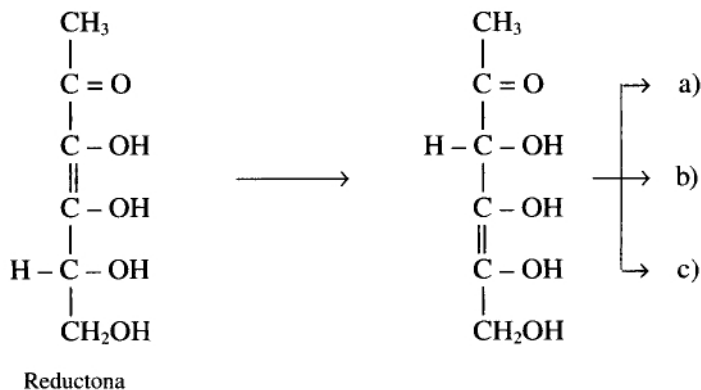
- Enolización 2,3.
- Eliminación de la amina por catálisis básica.
- Enolización 3,4 para dar la reductona.

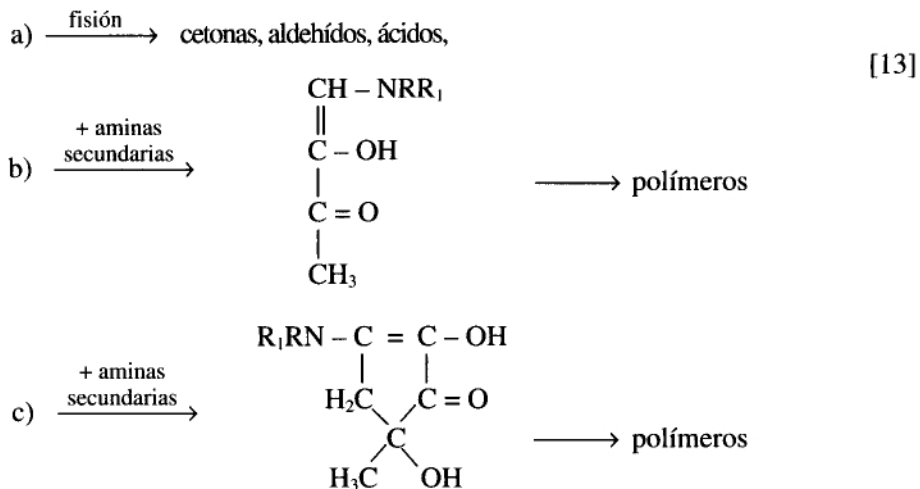


[12]



Con posterioridad, estas reductonas pueden sufrir una tautomería y el compuesto resultante reaccionar de nuevo con aminas secundarias (R_1RNH) para dar lugar a los polímeros [13].





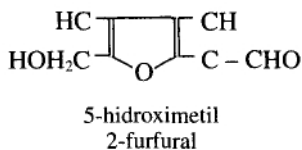
Los compuestos alfa-dicarbonílicos que resultan de la descomposición de las cetosaminas pueden reaccionar con un aminoácido mediante la degradación de Strecker, ya citada, y producir nuevos compuestos carbonilos. Estas sustancias tienen la posibilidad de reaccionar con aldehídos, o con aminas, para originar productos volátiles, que unas veces aportan olores deseables, como es el caso de las patatas «chips», y otras no.

Además de azúcares y aminoácidos, también pueden tomar parte en este tipo de alteración otros compuestos carbonilos, que se forman como productos secundarios en el proceso de autooxidación que afecta a los lípidos insaturados de los alimentos. Entre estos compuestos carbonilos destaca el aldehído malónico, sustancia que puede reaccionar con los más diversos componentes de los alimentos, aunque de modo particular con proteínas y aminoácidos. Estas interacciones han podido ser confirmadas para varios aminoácidos: tirosina, Usina, metionina y arginina.

En consecuencia, siempre que las condiciones de almacenado favorezca el enranciamiento de los lípidos de los alimentos, también cabe la posibilidad de que se produzcan interacciones entre los aminoácidos y los productos resultantes del proceso oxidativo de las grasas. Con ello, se reduce la disponibilidad de los aminoácidos y por tanto el valor nutritivo de las proteínas del alimento.

Caramelización de los azúcares

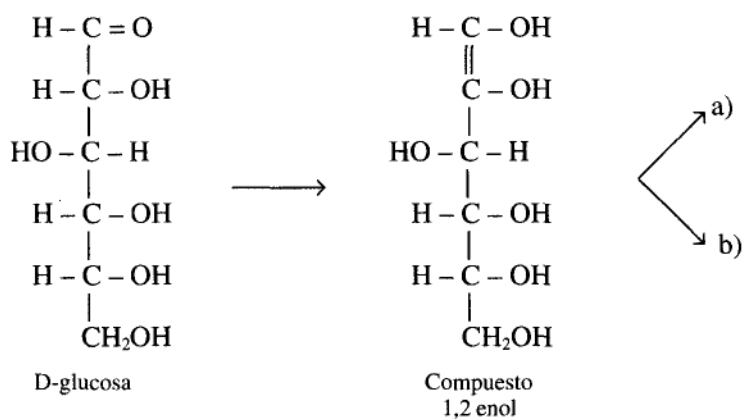
Los azúcares presentes en un alimento también pueden sufrir modificaciones que conducen a coloraciones pardas aunque estén ausentes los aminoácidos, como consecuencia de los tratamientos térmicos a temperaturas muy próximas a sus puntos de fusión. El fenómeno, conocido con el nombre de *caramelización*, puede ser frecuente en algunas preparaciones culinarias de los alimentos donde, además de los correspondientes pardeamientos, se desarrollan sabores y flvares característicos.



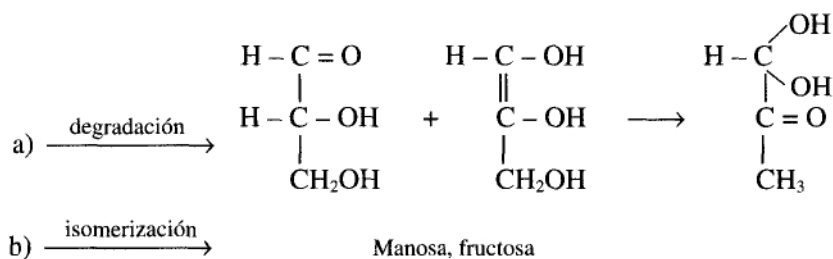
— La caramelización en *medio alcalino* también pasa por una primera etapa de enolización 1,2, para continuar con diversas posibilidades [15]:

- a) Una degradación con la fragmentación de la hexosa en dos moléculas de tres átomos de carbono cada una.
- b) Una isomerización con la aparición de otras hexosas, como pueden ser manosa y fructosa a partir de glucosa.

Y a partir de los diversos aldehídos y cetonas que aparecen, se producen condensaciones y polimerizaciones, todavía no bien aclaradas.



[15]



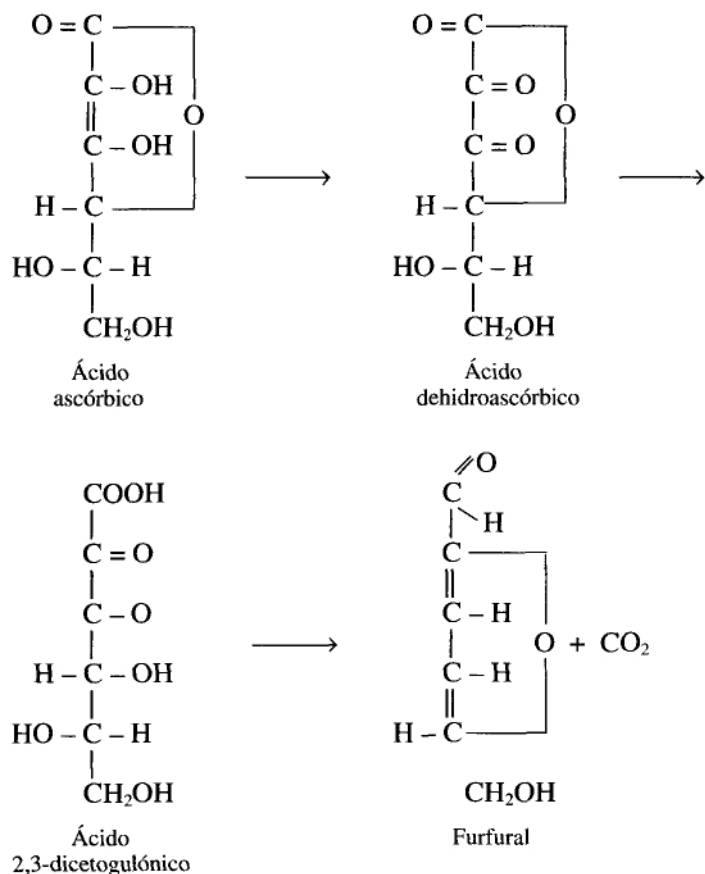
Oxidación del ácido ascórbico

Un papel particularmente importante es el que desempeña el ácido ascórbico en la alteración del color en los productos alimenticios derivados de cítricos, porque se le considera responsable en gran parte del pardeamiento de concentrados y zumos de frutas.

El desarrollo de coloraciones pardas se observa tanto en soluciones puras del ácido ascórbico a pH elevado, como en las mezclas del ácido ascórbico con los aminoácidos, y siempre a velocidades superiores a las que se dan cuando intervienen los azúcares.

Todavía no ha sido aclarado de modo conveniente el mecanismo de esta alteración química, aunque se sabe que la modificación de color de los zumos cítricos está estrechamente relacionada con la desaparición de la estructura propia del ácido ascórbico. El mecanismo parece ser diferente si la alteración se desarrolla en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. El paso a dehidroascórbido es una reacción catalizada por la luz o los iones Cu^{2+} y Fe^{3+} , así como por los pH superiores a 4,0 o la presencia de oxidasa ascórbica.

En la descomposición del ácido en la presencia de aire, o bajo condiciones oxidantes, tiene lugar la conversión en dehidroascórbico, que por su inestabilidad pasa a 2,3-diceto-gulónico [16]. Se ha comprobado que, en algunos casos, este compuesto se descompone en furfural y CO_2 , cuyo desprendimiento explica el abombamiento de algunos botes de zumos concentrados de cítricos. El CO_2 nunca procede de los aminoácidos presentes, por lo que hace pensar en la existencia de algún proceso relacionado con la degradación de Strecker. También se han detectado otros productos como los ácidos 2-furoico, treónico, oxálico y una osona de la 1-xilosa.



[16]

Por otra parte, el ácido ascórbico presenta una estructura propia de reductona, que como ya se ha señalado, son estructuras que de modo directo pueden tomar parte en reacciones de polimerización con los grupos aminos y formar pigmentos pardos. Sin embargo, no parece que éste sea el mecanismo más probable en el caso de pardeamientos en alimentos que tienen cierta riqueza en ácido ascórbico.

Bajo condiciones anaeróbicas, pueden existir otras fuentes de CO_2 , además de la estructura del ascórbico, sobre todo cuando el proceso se desarrolla a temperaturas elevadas. Se ha comprobado que la relación entre el desprendimiento de gas CO_2 y la formación de pigmentos pardos resulta bien distinta para una temperatura de 37°C frente a otra de 50°C , lo que lleva a pensar en la posibilidad de reacciones más complicadas.

Como resumen, y dentro de una visión general del mecanismo que caracteriza al pardeamiento no enzimático, se pueden señalar varios aspectos esenciales:

- a) En las primeras etapas de reacciones se forman compuestos incoloros.
- b) A un cierto nivel de desarrollo del proceso aparecen sustancias que poseen espectros de absorción característicos en el ultravioleta.
- c) A medida que la alteración progresa se va formando mayor cantidad de sustancias reductoras.
- d) A lo largo de las diversas reacciones se forman moléculas de agua a base de los átomos de hidrógeno que son separados de las estructuras químicas de los carbohidratos.
- e) Hacia el final del proceso tienen lugar mecanismos de fisión y degradación que reducen el peso molecular de las sustancias reaccionantes, desprenden CO_2 y aparecen compuestos volátiles responsables de los sabores y sabores específicos y característicos que acompañan al pardeamiento no enzimático.
- f) Por último, se desarrollan reacciones de polimerización, que dan lugar a las melanoidinas, algunas veces hidrosolubles.

Factores que condicionan el desarrollo del pardeamiento no enzimático

La cinética de las reacciones que intervienen en el pardeamiento no enzimático se encuentra influida por diversos factores, que van a ser condicionantes de su desarrollo: sustratos, temperatura, pH, actividad de agua, condiciones aeróbicas, efecto de catalizadores, etc.

a) *Sustratos*

Los sustratos específicos del pardeamiento no enzimático son en primer lugar los compuestos orgánicos que disponen de grupos carbonilos libres, tales como azúcares reductores y los aldehídos o cetonas formados en el enranciamiento de los lípidos insaturados. En segundo lugar, están los compuestos que poseen grupos aminos libres, tales como aminoácidos y proteínas.

La reactividad de los distintos sustratos está regulada por la posible existencia

de algún impedimento estérico. Así, los sustratos más reactivos suelen ser los compuestos carbonilos de bajo peso molecular y de modo especial aquellos que responden a estructuras abiertas; igualmente, las aldopentosas son más reactivas que las aldohexosas, las aldosas más que las cetosas y los monosacáridos más que los oligosacáridos. Esto explica que en la elaboración de la leche en polvo se produzca un pardeamiento mayor cuando se trabaja con leches cuya lactosa está hidrolizada. Asimismo, también reaccionan con los grupos aminos presentes aquellos compuestos carbonilos que, de modo secundario, se originan durante la propia reacción de Maillard, destacando el furfural que es particularmente reactivo.

Asimismo, la magnitud de la alteración depende de la naturaleza de los compuestos aminos: debido a la presencia de su grupo amino épsilon, la lisina es el aminoácido más reactivo. Esto explica mayores intensidades de pardeamiento en alimentos con proteínas más ricas en lisina, como las proteínas lácteas, que las pobres en ellas, como la proteína de soja.

b) *Temperatura*

La mayoría de las reacciones químicas que intervienen en el pardeamiento no enzimático se caracterizan por exigir energías de activación relativamente elevadas (10-160 kJ/mol). No es de extrañar, por tanto, que la velocidad con la que se desarrolle el pardeamiento global del alimento sea una función de la temperatura de exposición, con independencia de los mecanismos implicados. En efecto, esta velocidad se incrementa a medida que se eleva la temperatura, con un cociente de Vant' Hoff Q_{10} próximo a 2, para las condiciones normales de almacenado, de acuerdo con las observaciones experimentales realizadas. Es decir, que la velocidad de reacción se duplica por cada diez grados que aumenta la temperatura. Por ello, los alimentos almacenados a temperaturas elevadas en cuanto a su nivel normal, suelen desarrollar una intensa coloración parda; incluso, es frecuente que los alimentos sometidos a temperaturas elevadas durante su elaboración sufran pardeamientos más rápidos durante su almacenamiento.

No obstante, los efectos del nivel de temperatura varían con los sustratos que reaccionan por ser determinantes de los componentes volátiles que resultan. Así, aunque cada aminoácido suele dar lugar a un aldehído específico como consecuencia de la degradación de Strecker, sin embargo una misma mezcla de azúcar y aminoácido puede dar sabores diferentes en función de los tratamientos térmicos recibidos. El control de los efectos de la temperatura se realiza mediante seguimiento con espectrofotómetro de la concentración de hidroximetil-furfural.

Por otra parte, resulta muy difícil aislar los efectos provocados por la temperatura, que puedan ser considerados como específicos de ella, de la incidencia de otras variables, como el pH que puede ser un parámetro modificador de la energía de activación de algunas reacciones entre azúcar y aminoácido.

A pesar de todo, es posible que tales circunstancias representen una cierta ventaja, puesto que de acuerdo con ellas se podría dirigir las rutas de la reacción de Maillard durante el procesado de algunos alimentos.

c) *pH*

Los efectos del pH sobre la cinética del pardeamiento resultan ser extraordinariamente complejos debido a que cada etapa de las reacciones implicadas presentan sus propios pH óptimos. En la práctica, el pH del medio puede ser un determinan-

te del mecanismo de reacción por el que debe transcurrir la alteración; por ello, cuando no existe la posibilidad de cambios de pH en el alimento tampoco es probable que puedan acontecer los distintos mecanismos.

Esto significa que la formación de polímeros pardos como productos finales de las diferentes etapas pueden responder a estructuras muy diferentes, según que la composición del alimento permita, o no, disponer de sistemas reguladores del pH. No obstante, hay que tener cierta cautela cuando se decida la adición de tales sistemas, porque muchos de los compuestos que suelen integrarlos, como las sales sódicas de fosfatos o de ácidos orgánicos, pueden actuar como catalizadores de la reacción.

En algunas ocasiones puede resultar útil reducir los valores del pH para conseguir un cierto retraso en la aparición de la alteración; para ello es preciso que la naturaleza del alimento se preste a esta medida, como es el caso de la elaboración de huevos en polvo.

La complejidad observada en la incidencia del pH se debe a que su actuación tiene como resultado la suma de los efectos ejercidos sobre cada tipo de reacción, de acuerdo con sus pH óptimos específicos: 6-8 para la reacción de Maillard; próximo a 7 para la transposición de Amadori; 5,5 para la enolización de las cetosaminas; etc.

Esto ha permitido distinguir tres grupos de alimentos en función del pH que les caracteriza y sus efectos correspondientes:

— *Alimentos con pH comprendido entre 6,0 y 8,0.* Suelen ser carnes, huevos, leches, cereales, etc., en los que se dan las condiciones favorables para que tenga lugar la reacción de Maillard. En ellos se puede conseguir atenuar el pardeamiento durante los procesos de deshidratación si se le reduce el pH, aunque esta medida implique una modificación muy desfavorable de las características organolépticas.

— *Alimentos con pH comprendido entre 2,5 y 3,5.* Corresponde a los zumos y concentrados de las frutas ácidas, como los cítricos. Lo normal es que sean pobres en compuestos aminados y por tanto la reacción de Maillard aparece sólo en forma débil. En cambio, es frecuente que desarrolle durante la deshidratación y almacenado un pardeamiento debido a la degradación del ácido ascórbico, catalizado por el ácido cítrico y algunos aminoácidos presentes.

— *Alimentos con pH que corresponde a valores intermedios.* Incluyen las conservas vegetales, la miel, las salsas, las sopas, los alimentos fermentados, etc. En ellos pueden coexistir de modo simultáneo una alteración producida por la reacción de Maillard junto a una degradación del ácido ascórbico.

d) *Actividad de agua*

La disponibilidad del agua contenida en el alimento tiene una relevante influencia en el desarrollo de la reacción de Maillard, hasta el punto que la velocidad de la alteración aumenta de forma exponencial a medida que se incrementa la actividad de agua, hasta alcanzar un máximo en la zona de los valores correspondientes a las humedades intermedias. En este punto, una mayor disponibilidad de agua provoca una disminución de dicha velocidad. Por eso, los zumos de frutas concentrados pardean con mayor rapidez que los zumos completos.

A menudo, el riesgo de pardeamiento dentro de un proceso de deshidratación comienza cuando el contenido acuoso alcanza los valores inferiores al 20 %, a la

vez que se eleva la temperatura. Operar a temperaturas más bajas obliga a prolongar el tratamiento térmico con el riesgo de exponer al alimento durante un tiempo prolongado a los efectos nocivos de niveles críticos de agua. Por eso, las condiciones más apropiadas deben ser estudiadas para cada caso, debido a la marcada influencia que ejerce la actividad de agua del alimento. Aquellos alimentos que han sido desecados hasta niveles de capa monomolecular de agua suelen ser los más estables, siempre que se mantengan a temperaturas inferiores a 25 °C y al abrigo de la humedad.

También el estado fisicoquímico del sistema puede afectar al posible desarrollo de la reacción de Maillard, porque las isoterms correspondiente a las variaciones de la actividad de agua con el contenido acuoso depende del estado cristalino o amorfo del alimento. Para actividades reducidas, los productos amorfos tienen mayor capacidad para adsorber agua entre las moléculas, mientras que los sistemas cristalinos sólo pueden hacerlo en las superficies del entramado del cristal.

e) *Condiciones aeróbicas*

El oxígeno no es esencial para que tenga lugar la reacción de Maillard, mientras que muchas veces resulta imprescindible para que se produzca una oxidación del ácido ascórbico. Por ello, no tiene sentido pretender evitar el pardeamiento no enzimático en aquellos alimentos que carezcan de vitamina C mediante la aplicación de procedimientos que tengan como fin eliminar el oxígeno del medio ambiente.

f) *Presencia de catalizadores*

La presencia o ausencia de vestigios de cationes metálicos afecta al desarrollo de la reacción de Maillard. Sin embargo, el efecto catalítico de los metales no responden a un criterio general y por tanto carecen de uniformidad: el estaño inhibe, o retarda, el pardeamiento de los zumos cítricos, posiblemente porque el pH ácido de estos alimentos establece tales condiciones reductoras en el estaño que no permite la degradación del ácido ascórbico. En cambio, el cobre enaltece el pardeamiento cuando interviene el ácido ascórbico, mientras que tanto el cobre como el hierro han demostrado resultados contradictorios cuando se trata de la reacción de Maillard, con predominio de una aceleración; por el contrario, el manganeso la inhibe. Desde luego, se ha demostrado que algunos de los efectos de las sales metálicas se debe a los cambios en el pH.

Los fosfatos, los ácidos carboxílicos y sus sales aceleran el pardeamiento e incrementan la intensidad de la coloración final. Compuestos como el etilmalonato, la fenilacetona, las sales de aminas terciarias, el ácido acético y el trifluoruro de boro catalizan la reacción de Maillard.

Medidas de prevención

Las medidas que se pueden adoptar para prevenir el desarrollo del pardeamiento no enzimático en los alimentos durante su periodo de almacenamiento y, sobre todo, durante la aplicación de algunos procesos tecnológicos, tales como la deshi-

dratación, son más bien escasas. No obstante, se pueden señalar algunas, relativamente eficaces:

a) *Eliminación de sustratos*

Para evitar los fenómenos de pardeamiento existen casos de alimentos en los que es posible eliminar el monosacárido presente, como ocurre en la elaboración de huevos desecados en los que la poca glucosa contenida en el huevo se oxida por medio de la enzima glucosa oxidasa a ácido glucónico, o bien se elimina por fermentación. También, con las patatas se puede conseguir una resíntesis del almidón a partir del contenido en azúcares reductores mediante un almacenado a 20 °C durante dos semanas, proceso conocido con el nombre de *reacondicionamiento*.

También la conversión del grupo amino en la función amida por la actividad de enzimas transglutaminasas permite impedir que se pueda producir la primera etapa de la alteración.

b) *Acidificación*

En algunos casos se puede conseguir un retraso en la aparición del pardeamiento si se provoca un descenso del pH del alimento mediante una moderada acidificación. También es una medida que ha sido aplicada a la obtención de huevos desecados.

c) *Control de la temperatura y la humedad*

Para evitar la activación energética de las reacciones implicadas en los fenómenos de pardeamiento es una medida aconsejable trabajar con tratamientos térmicos poco intensos y conservar el alimento en almacenes bajo temperaturas moderadas.

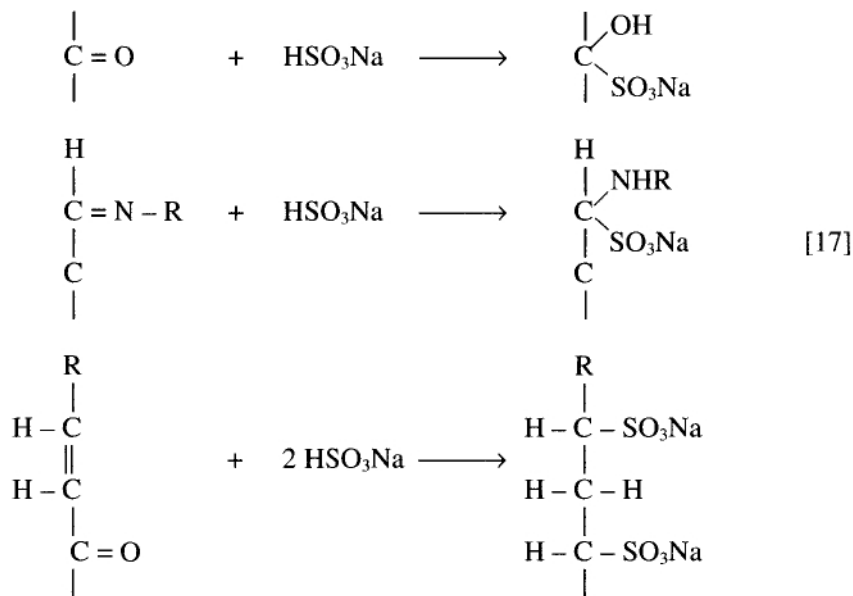
d) *Aplicación de agentes inhibidores*

Una de las medidas más utilizadas consiste en buscar la presencia de algún agente químico que sea capaz de inhibir de alguna manera la reacción. Los compuestos químicos que mejor resultado han dado son el dióxido de azufre y los sulfitos. Ambos compuestos se utilizan a dosis bajas para el tratamiento de frutas y verduras, purés de patatas deshidratados, trozos de manzana deshidratados, zumos de cítricos concentrados, etc., cuando sólo se trataba de evitar el pardeamiento no enzimático.

En esta alteración se forma un bloque de sustancias con grupos carbonilos que son muy reactivos y, por ello, responsables de las consecuencias deletéreas finales. Estas bases de Schiff, o los compuestos carbonilos insaturados, entre otros, reaccionan con los sulfitos para dar sulfonatos estables [17]. De este modo quedan fijados los productos intermedios y se consigue alargar el periodo de inducción, con lo que se retarda bastante la aparición de los polímeros oscuros. Por lo general, las dosis eficaces suelen ser siempre inferiores a la necesaria para su uso como antiséptico. Es posible que SO₂ y sulfitos ejerzan una actividad antioxidante frente a la degradación del ácido ascórbico, e incluso se puede pensar en una acción blanqueante que decoloraría a los pigmentos pardos.

Se ha investigado con relativo éxito la posible inhibición de la reacción de Maillard a partir de aminoácidos azufrados. Los resultados pusieron de manifiesto que aquellos aminoácidos que poseen grupos -SH libres, como la cisterna, el gluta-

tión y el L-acetil-cisteína son tan efectivos para prevenir la alteración como el bisulfito sódico. Varios productos alimenticios, tales como zumos frescos, zumos de frutas comerciales y alimentos proteicos, han resultado beneficiados por los efectos protectores de estos aminoácidos



La alteración de origen microbiano

• Introducción. • Factores reguladores intrínsecos. • Factores reguladores extrínsecos.	• Parámetros implícitos. • Consecuencias químicas de la alteración microbiana. • Medidas de prevención.

Introducción

Cualquiera de los productos alimenticios que el ser humano consume con su alimentación puede contener ciertos niveles de población microbiana. Normalmente se debe a contaminaciones del producto, unas veces como una secuela de la carga microbiana portada por los ingredientes y otras en razón de lo que puede recibir durante los procesos de elaboración, almacenado, comercialización y consumo. Sus consecuencias pueden ser más o menos importantes según los tipos de microorganismos que hayan conseguido quedar implantados en el alimento. Así, por ejemplo, las frutas son atacadas de modo preferente por mohos y levaduras, mientras que carnes, pescados y huevos lo son por bacterias.

La contaminación microbiana de las materias primas empleadas en la elaboración del producto alimenticio pueden tener los orígenes más diversos: agua, suelo, aire, polvo, etc. Influida por el ambiente, las contaminaciones pueden resultar en cierto modo específicas de cada tipo de alimento: el suelo suele ser determinante de la población microbiana presente en verduras y frutas, mientras que en las carnes lo son la piel y las vísceras de los animales, así como las ubres para la leche.

Aire y polvo pueden contener en suspensión un gran número de bacterias y a veces de mohos, de tal modo que las características del ambiente pueden marcar el desarrollo posterior de la carga microbiana contenida en un alimento contaminado. También la calidad higiénica del agua desempeña un papel importante en la contaminación de los alimentos al llevar en suspensión los más diversos tipos de microorganismos, procedentes en algunas ocasiones del suelo y en otras de los residuos fecales de los animales y los seres humanos. De otra parte, los procesos implicados

en la fabricación de un alimento, desde los primeros pasos en las plantas industriales hasta su comercialización y uso, inciden en las características fisicoquímicas de los productos y con ello seleccionan la naturaleza de los géneros y especies microbianas presentes.

De acuerdo con las posibilidades intrínsecas que ofrezca cada alimento, las características del medio ambiente en el que se encuentre, así como las posibles interacciones entre los diferentes tipos de microorganismos que contiene, la población microbiana puede experimentar un desarrollo y crecimiento a base de unos procesos metabólicos, que tienen como sustratos algunos de los componentes químicos del alimento. En consecuencia, se producen unas alteraciones en la naturaleza del alimento que pueden llevar a un deterioro de algunos aspectos de su calidad: valor nutritivo, propiedades sensoriales, seguridad sanitaria.

Por lo general, la alteración parte siempre de un desarrollo de la población microbiana superficial, cuando un ambiente favorable permite su multiplicación, que en pocas horas puede incrementar su carga desde unos cientos hasta unos miles.

Cuando la población microbiana presente en un alimento se encuentra bajo unas condiciones ambientales óptimas para su desarrollo se multiplican con rapidez muchas veces en pocos minutos. Sin embargo los microorganismos no proliferan de un modo regular e indefinido, sino que su desarrollo pasa por diversas fases. En un medio adecuado se adaptan perfectamente y crecen de acuerdo con lo que se conoce con el nombre de *crecimiento equilibrado*.

Cada una de las fases que caracterizan a este crecimiento viene determinada por la velocidad de su desarrollo (Fig. 18.1):

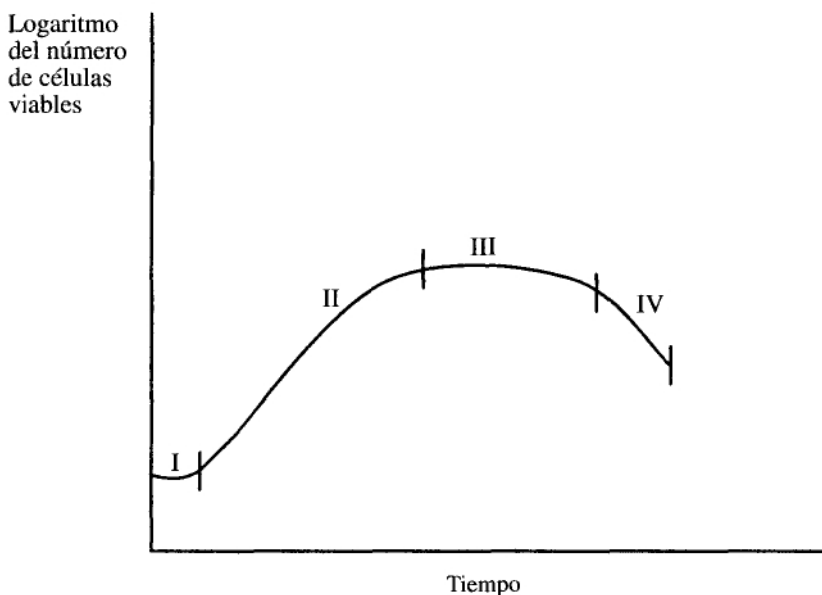


Figura 18.1. Representación gráfica de la evolución de un microorganismo en un alimento.

Zona I. Fase de latericia. Representa el periodo de adaptación de la población microbiana al medio en el que se ha de desarrollar. Su duración puede ser muy variable, aunque influye en la de la fase posterior.

Zona II. Fase de crecimiento logarítmico. Se caracteriza por el crecimiento exponencial de los microorganismos hasta quedar limitado por el agotamiento de los nutrientes disponibles o por la acumulación de compuestos tóxicos derivados de su propio metabolismo.

Zona III. Fase estacionaria. Como consecuencia de los obstáculos anteriormente citados se reduce la velocidad de crecimiento. La transición de la fase exponencial a esta fase estacionaria implica un periodo de *crecimiento desequilibrado* durante el cual las células microbianas sintetizan sus componentes celulares a velocidades diversas. Por ello, en esta fase III la composición química puede resultar diferente a la que presentaban las células en la fase II.

Zona IV. Fase de decadencia. Cuando no se produce crecimiento microbiano aparece la muerte celular como una consecuencia de diversos factores, entre los que destaca el agotamiento de las reservas energéticas celulares. Al igual que el crecimiento, la muerte celular suele también corresponder a una función exponencial. No obstante, la velocidad con que desaparecen es variable y depende tanto del ambiente como del organismo concreto.

Cada alimento se caracteriza por ofrecer en cada caso un perfil microbiano específico, que puede evolucionar de acuerdo con la influencia de una serie de factores, unos favorables para su crecimiento y otros que, por el contrario, dificultan o inhiben su desarrollo. Es decir, el crecimiento de una cierta población microbiana que, hospedada en un alimento, tiene una capacidad potencial para ocasionar su deterioro, está regulado por la concatenación de varios tipos de factores:

1. *Factores de elaboración.* Durante la preparación de un alimento puede actuar una serie de elementos capaces de incidir en la colonización de dicho alimento por determinadas especies de microorganismos a través de su desarrollo y su supervivencia. Son elementos que no sólo pueden ejercer una simple actividad de inhibición del crecimiento, sino también provocar la destrucción, total o parcial, de esa población.

2. *Factores intrínsecos.* Corresponden a muchas propiedades del alimento que, al ser determinantes de la velocidad de las reacciones enzimáticas metabólicas, repercuten en la intensidad de multiplicación de las células microbianas. En gran manera, el desarrollo microbiano se afecta por la naturaleza de los componentes del medio, que cumplen varias funciones: suministrar nutrientes, mantener un pH y un potencial redox favorable o desfavorable, etc. En consecuencia, se produce un efecto global, que se traduce en modificaciones de tres parámetros característicos de la vida de todo desarrollo microbiano: *a)* duración de la fase de latencia durante el crecimiento de las células, *b)* pendiente de la fase exponencial, *c)* duración y magnitud de la fase estacionaria, antes de la muerte celular.

3. *Factores extrínsecos.* Están constituidos por las características, tanto macroscópicas como microscópicas, físicas y químicas del entorno que rodea al alimento. Son factores que afectan de manera importante al crecimiento microbiano: condiciones aeróbicas, temperatura, humedad relativa, etc.

4. *Factores implícitos.* Vienen determinados por las propiedades fisiológicas que permiten a un microorganismo desarrollarse como consecuencia de la interac-

ción o efectos combinados de los factores anteriores, que da lugar a una selección de aquellas especies microbianas capaces de dominar numéricamente un nicho ecológico, debido a sus propiedades fisiológicas individuales marcadoras de su predominio. Son parámetros implícitos entre los que se deben incluir tanto las características de crecimiento individual de cada cepa, como la influencia mutua que se dan entre las especies que integran las poblaciones microbianas mixtas. Asimismo, el metabolismo de la especie dominante puede modificar las propiedades intrínsecas del alimento y promover las condiciones adecuadas para dar paso al desarrollo de otras especies. De este modo, a lo largo de la alteración del alimento se produce el fenómeno bastante frecuente de las sucesiones microbianas.

Factores reguladores intrínsecos

Son parámetros vinculados a las características físicas y químicas de los tejidos vegetales y animales de los cuales proceden los alimentos, que toman parte de nuestra alimentación. De todos ellos, merecen que se destaquen seis: pH, disponibilidad de agua, potencial de óxido-reducción, contenido en nutrientes, presencia de sustancias con actividad antimicrobiana y las estructuras de los productos alimentarios.

Concentración protónica del medio (pH)

Dentro de las condiciones óptimas necesarias para que pueda acontecer el crecimiento microbiano se encuentra la concentración protónica del medio. En este sentido, el pH del alimento resulta un factor controlador al posibilitar las reacciones químicas y bioquímicas implicadas en el metabolismo celular de los microorganismos. El pH de un alimento es uno de los factores principales que precisan la supervivencia y el crecimiento de unas especies determinadas.

Por tanto, el pH del alimento deber ser tenido en consideración con el fin de prevenir las posibles alteraciones provocadas por cada tipo de microorganismo capaz de crecer en el mismo. Este pH actúa de parámetro seleccionador al favorecer o impedir los crecimientos de unos u otros. En su estado natural, la mayoría de los alimentos son ligeramente ácidos, como ocurre en carnes, pescados, verduras y frutas; solamente unos pocos son alcalinos, como los huevos. Precisamente, durante siglos se ha usado la acidez para prevenir el deterioro microbiano de muchos alimentos.

A veces, resulta difícil separar los efectos *per se* del pH del de otros factores combinados con él. No obstante, se puede afirmar que los efectos del pH sobre el desarrollo de los microorganismos vienen determinados por varias circunstancias que afectan a su mecanismo de acción:

- La disponibilidad de los distintos nutrientes para un determinado valor de la concentración protónica,
- La permeabilidad de la membrana, que se ve afectada por los valores de pH,

según el tipo de microorganismo. Por debajo de un cierto nivel de pH, se considera que el medio es ácido y las permeasas catiónicas se saturan de protones y limitan, o anulan, el transporte de cationes indispensables para la vida de la célula; en cambio, por encima de ese nivel, el medio resulta alcalino y serán los iones hidroxilos los que saturan las membranas impidiendo la transferencia de aniones.

- Las actividades de los sistemas enzimáticos que intervienen en el metabolismo celular suelen estar relacionadas con un nivel óptimo del pH y cualquier que difiera del mismo significa cambios en las cinéticas de las reacciones. En consecuencia, disminuye la actividad enzimática y se inhibe, o reduce, el crecimiento del correspondiente microorganismo.

Como resultado se puede afirmar que el comportamiento frente al pH del alimento difiere de un tipo de microorganismo a otro. De hecho cada uno de ellos se suele desarrollar en unas zonas determinadas de pH, en la que destaca el valor óptimo. Como criterio general, aunque siempre con excepciones, se admiten los valores que se indican en la Tabla 18.1. En realidad, los valores mínimos y máximos señalados son orientativos y no representan límites exactos, porque sus valores reales dependen del resto de factores que inciden sobre el crecimiento.

La presencia o ausencia de sistemas amortiguadores del pH desempeñan un importante papel en la posible alteración microbiana de los alimentos, porque la capacidad para mantener durante bastante tiempo en el alimento el valor de un determinado pH, significa una evidente defensa contra el desarrollo de muchos microorganismos. En los alimentos, el pH suele estar asociado a la cantidad de proteínas que contienen, puesto que sus grupos ácidos y básicos contribuyen al sistema amortiguador de la concentración protónica. Por esta razón, la inclusión de sustancias ácidas, por adición o por fermentación, produce en los alimentos de origen vegetal, como verduras y frutas, importantes variaciones del pH.

Como muchos microorganismos son capaces de crecer dentro de un margen bastante amplio de pH, se podría suponer que sus células disponen de medios eficaces para estabilizar su pH interno. No obstante, según se ha podido comprobar, este parámetro puede ser notablemente influido por el pH del medio exterior.

En este sentido se ha observado cómo toda una serie de ácidos orgánicos débiles resultan ser potentes inhibidores del paso de los aminoácidos a través de la

Tabla 18.1

Valores límites y óptimos para el crecimiento de los distintos tipos de microorganismos presentes en los alimentos

Microorganismo	Máximo	Óptimo	Mínimo
Bacterias (en general)	11,0	6,5-7,5	4,5
Bacterias lácticas	10,5	5,5-6,5	3,2
Bacterias acéticas	9,2	5,4-6,3	4,0
Levaduras	8,0-8,5	5,0-6,5	1,5-3,5
Mohos	8,0-11,0	4,5-6,8	1,5-3,5

membrana celular, cuando se encuentran a pH cuyo valor es igual o inferior a su pKa. Parece que se trata de *ácidos débiles lipofílicos* que provocan la entrada de protones a través de la membrana celular, dando lugar a una acidificación del medio interno que tiene como consecuencia una inhibición del transporte de nutrientes al interior de las células. También las sales de los ácidos minerales débiles, como nitratos y sulfatos, actúan como potentes sustancias inhibidores a pH bajos y se conocen con el nombre de *iones potenciadores de ácidos*.

La tolerancia que los microorganismos presentan frente al pH ácido depende en gran manera del tipo de ácido empleado. Por regla general, las células de las diferentes especies microbianas presentan tolerancias muy diversas frente a la acidificación interna o a la acumulación de aniones, por lo que la permeabilidad de sus membranas para los ácidos *lipofílicos* es muy variable. En el caso bastante normal de la presencia en el alimento de una población mixta, los valores ácidos del pH ejercen un efecto selectivo y sólo permiten el crecimiento de los microorganismos ácido tolerantes, como levaduras y lactobacilos.

Una vez que se detiene el crecimiento microbiano, existe un periodo de tiempo dentro del cual los microorganismos pueden mantenerse todavía viables y ello es un dato crítico para poder evaluar su posible contribución al deterioro de los alimentos cuando las condiciones vuelvan a resultar favorables.

Muchos alimentos presentan una evolución de su pH hacia otras zonas que impiden el desarrollo microbiano, como consecuencia de las reacciones que dan lugar a su transformación o a su conservación. Así carnes y pescados suelen pasar del pH neutro, propio del tejido muscular, a otros ácidos como consecuencia de los procesos que convierten dicho tejido en carne; por el contrario, los huevos almacenados pierden CO₂ y los pH de clara y yema se alcalinizan.

Dentro de toda la escala de pH, son las bacterias no esporuladas las que tienen un papel relevante en lo que respecta a la alteración microbiana de los alimentos. Sin embargo, las esporas, caracterizadas por una mayor resistencia al tratamiento térmico que las células vegetativas, pueden ser impedidas en su germinación por los pH ácidos. En cambio, levaduras y mohos resisten normalmente los medios ácidos y crecen bastante bien a pH inferiores a 4,0. En cierto modo, los pH ácidos contribuyen a la estabilidad de los alimentos unas veces de modo directo al inhibir el crecimiento de los microorganismos, mientras en otras ocasiones lo hace de modo indirecto al disminuir sus resistencias frente al tratamiento térmico.

Disponibilidad del agua (a_w)

Los microorganismos requieren para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas la presencia de una cierta cantidad de agua disponible. Por tanto, la disponibilidad de agua que tenga un alimento representa un factor de gran transcendencia para que pueda acontecer el crecimiento de su población microbiana.

En la actualidad, se valora esta disponibilidad mediante el concepto de actividad de agua (a_w) representado por la relación, a una temperatura dada, entre la presión del vapor de agua en el sustrato alimenticio y la presión de vapor del agua pura. Como se sabe es un concepto relacionado con la humedad relativa del ambiente en la cual el alimento ni gana ni pierde agua, denominada humedad de equilibrio.

Cualquier alimento no estéril se altera con el tiempo, siempre que disponga de

la humedad suficiente para que sea posible el desarrollo microbiano, teniendo en cuenta que gran parte de los alimentos frescos disponen de una a_w con valores en torno a 0,99. Según el nivel de esta disponibilidad de agua, se pueden desarrollar en el alimento unos u otros microorganismos; a menudo resulta suficiente un pequeño descenso de la a_w para evitar la alteración microbiana de los alimentos.

La mayoría de los microorganismos, incluidas las bacterias patógenas, crecen con mucha mayor rapidez en la zona de valores comprendidos entre 0,99 y 0,90 para la a_w . Por debajo de estos valores, se reduce la velocidad de crecimiento y disminuye la masa celular final, así como se incrementa la fase de latencia. Se admite que para un valor suficientemente bajo de la a_w , siempre difícil de establecer con la precisión adecuada, la fase de latencia puede alcanzar tiempos infinitos.

Por los datos experimentales obtenidos se pueden indicar algunos valores de a_w mínimos requeridos para que puedan crecer los tipos de microorganismos más importantes relacionados con la alteración de los alimentos (Tabla 18.2). De todos modos hay que subrayar que se tratan de datos aproximados y que siempre se pueden encontrar ejemplos que representan una excepción a los mismos.

La mayoría de las bacterias que alteran los alimentos no crecen a valores de a_w inferiores a 0,90, aunque el *Clostridium botulinum* no crece por debajo de 0,94 mientras que el *Staphylococcus aureus* sí es capaz de hacerlo a valores tan bajos como 0,86. En cambio, mohos y levaduras alterantes pueden desarrollarse dentro de intervalos de a_w más amplios que las bacterias, pudiendo llegar los mohos hasta niveles de 0,70. Caso excepcional son los mohos *xerófilos*, resistentes a la sequedad, que crecen hasta niveles de 0,65 y las levaduras *osmófilas*, capaces de resistir presiones osmóticas elevadas, que pueden hacerlo hasta valores de 0,61.

Al igual que la proliferación microbiana, la a_w del alimento también afecta a la

Tabla 18.2

Valores mínimos aproximados de la a_w necesaria para el crecimiento de los principales tipos microbianos alterantes de los alimentos

Microorganismo	a_w
Bacterias (en general)	> 0,91
Bacterias Gram-negativas	
<i>Pseudomonas</i> spp	0,96
<i>Enterobacteriaceae</i>	0,93
Bacterias Gram-positivas	
<i>Lactobacillaceae</i>	0,94
<i>Micrococcaceae</i>	< 0,90
Bacterias esporuladas	
<i>Bacillus</i> spp	0,94-0,89
<i>Clostridium</i> spp	0,97-0,94
Bacterias halófilas	0,75
Levaduras (en general)	> 0,87
Levaduras osmófilas	0,61
Mohos (en general)	> 0,70
Mohos xerófilos	0,61

supervivencia de su población: los valores bajos de a_w reduce la letalidad de las células tanto a temperatura ambiente como bajo refrigeración; sin embargo, esta protección puede verse reducida por los efectos de la acidez.

El mecanismo de acción a través del cual se acusan los efectos de este parámetro se explica porque la reducción en la cuantía de la disponibilidad del agua en un alimento implica que las células microbianas sufran un fenómeno de plasmolisis. La pérdida de agua intracelular modifica las reacciones enzimáticas normales de tal modo que se registran en las células cambios metabólicos importantes: aumento de concentración en el potasio citoplásmico que, a su vez, activa la enzima glutamato deshidrogenasa de tal modo que todo el cetoglutarato posible pasa a glutamato, que se acumula. Algunos microorganismos poco resistentes lo convierten en ácido alfa-aminobutírico mediante una descarboxilación, mientras que otros, más resistentes a las condiciones de baja disponibilidad, lo reducen a cantidades importantes de prolina y con ello pueden desarrollarse a valores de a_w tan bajos como 0,860.

En la Tabla 18.3 se indican los valores aproximados que los alimentos frescos más usuales suelen presentar en lo que respecta a la disponibilidad de su agua. Como puede apreciarse todos ellos se encuentran dentro de las zonas de a_w que resultan favorables para el crecimiento bacteriano, salvo las frutas en las que se unen valores de pH y a_w para permitir de modo fundamental una población de tipo fúngico.

Potencial de óxido-reducción (Eh)

Hace ya bastantes años que ha sido comprobado que los géneros y especies microbianas pueden presentar variaciones en lo que respecta a la sensibilidad fren-

Tabla 18.3

Valores aproximados de la a_w de los alimentos de mayor uso en la alimentación humana

Producto alimenticio	Actividad de agua (a_w)
Carne de vacuno	0,99-0,98
Carne de porcino	0,99
Charcutería	0,95-0,85
Pescados	0,99
Leches	0,99
Cereales	0,70
Patatas	0,98
Alcachofas	0,99-0,98
Zanahorias	0,99-0,98
Tomates	0,99
Manzanas	0,98
Naranjas	0,99
Melocotones	0,99
Uvas	0,98-0,97
Melones	0,99

te al potencial de óxido-reducción de los medios en los que viven y, por tanto, de los alimentos. Por ello se piensa que este potencial redox (Eh) tiene que ser un factor selectivo de influencia para los microorganismos presentes en un alimento y para su metabolismo.

Como los procesos de oxidación y de reducción se definen en términos de migraciones de electrones entre compuestos químicos, es normal que el potencial redox de un alimento pueda también ser precisado de acuerdo con la facilidad que presente para perder o ganar electrones. Se considera que un sustrato es oxidante cuando tiene capacidad para capturar electrones, mientras que es reductor cuando los cede. De este modo, la medida en voltios de Eh indicará si es reductor cuando resulte negativo, porque significa la facilidad con la que pierde electrones, o por el contrario es oxidante cuando se muestre positivo, porque entonces denota la facilidad con la que los pierde.

Numerosos alimentos contienen diversos tipos de compuestos, que pueden ser sustancias fuertemente hidrogenadas, azúcares reductores, radicales SH, ácido ascórbico, tocoferoles, etc., que proporcionan un Eh negativo y les da carácter reductor. En otros, la presencia de oxígeno atmosférico unas veces en su interior, como en los productos de origen vegetal gracias a estomas y parénquimas de los tejidos, y otras en la superficie, como en las carnes, da lugar a Eh positivos y tendrán carácter oxidante. En esta línea puede decirse que unos alimentos restringen el acceso del oxígeno del aire y otros no. La mayor parte de los alimentos frescos disponen de mecanismos capaces de regular su potencial redox mediante sistemas muy específicos: ácido ascórbico y azúcares reductores en los vegetales, glutatión y cisterna en los de origen animal.

En definitiva, el potencial de oxidación-reducción de un alimento viene determinado por cuatro elementos:

1. El potencial redox específico del alimento en su estado original.
2. La capacidad que tiene el alimento para mantener su potencial redox.
3. La presión parcial de O_2 que existe en la atmósfera donde se encuentra el alimento.
4. La posibilidad que tenga esta atmósfera de conectar con el alimento y penetrar en el mismo.

El potencial redox es un parámetro cuya medida resulta difícil de conseguir con repetibilidad y por consiguiente complicado de interpretar su significación. No obstante, puede ser utilizado para especificar el ambiente en que un microorganismo es capaz de generar energía y obtener nuevas células sin recurrir al oxígeno molecular para los procesos metabólicos. En general, los aerobios necesitan valores Eh positivos para crecer, mientras que con frecuencia los anaerobios lo requieren negativos.

Las diferencias que se observan en los productos finales del metabolismo celular microbiano pueden ser debidas a variaciones en los valores del potencial redox. En muchos alimentos no homogéneos, como las emulsiones y los derivados cárnicos picados, los valores de Eh pueden variar de modo considerable de una parte a otra de la masa por la irregular distribución en las concentraciones de las sustancias que intervienen en el potencial redox.

De acuerdo con sus exigencias de O_2 , los microorganismos se distribuyen de modo tradicional en tres grupos:

— *Aerobios estrictos*. Incluyen aquellos, como *pseudomonas*, *micrococcus* y *bacillus*, que usan el oxígeno como aceptor final de electrones para los procesos propios de la respiración; disponen de catalasa para eliminar el peróxido de hidrógeno que se forme, pero no tienen posibilidad de utilizar una vía fermentativa.

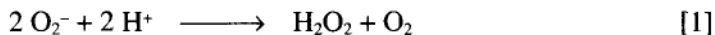
— *Anaerobios facultativos*. Comprende a *lactobacillaceae*, *enterobacteriaceae* y *corynebacteriaceae*, que pueden utilizar el oxígeno como aceptor final de electrones, pero que en su ausencia también pueden utilizar otros aceptores: nitratos, sulfatos, etc. Poseen cadena respiratoria, tienen los enzimas necesarios para la fermentación y son catalasa positivos; con frecuencia sus metabolitos de desechos son ácidos orgánicos. No obstante en medios anaeróbicos presentan mayores exigencias para su crecimiento, que puede ser más escaso. Suelen crecer tanto en la superficie como en el interior de alimentos de bajo Eh y son responsables de bastantes casos de alteración y no faltan los casos relacionados con problemas de sanidad alimentaria.

— *Anaerobios obligados*. Reúne a una serie de microorganismos prevalentes en los alimentos y que sólo pueden crecer a potenciales redox bajos, e incluso algunos en total ausencia de O₂ molecular; necesariamente, poseen un metabolismo fermentativo. Unos, como los *clostridium*, son esporulados y otros, como los *bacteroides*, no.

El papel del oxígeno en la microbiología de los alimentos es doble: de una parte, influye sobre el valor del potencial redox (Eh) del medio; de otra, tiene un efecto específico sobre el metabolismo de las células microbianas.

En el primer caso, el valor de Eh puede determinar el sentido del equilibrio en muchas reacciones metabólicas importantes. Los Eh fuertemente positivos favorecen aquellas reacciones que tienen lugar en el sentido de las oxidaciones. Un claro ejemplo lo constituye las reacciones del ciclo de los ácidos tricarboxílicos donde la oxidación del piruvato necesita de un potencial redox elevado y los sucesivos productos que se forman en el ciclo exigen un Eh cada vez más alto. En cambio, los Eh con valores negativos pueden inhibir esas reacciones oxidativas o incluso provocar una inversión del ciclo.

En el segundo caso, el oxígeno puede ser utilizado por algunos microorganismos como aceptor final de electrones y también puede ser transformado en superóxido O₂⁻ por las flavoproteínas de la cadena transportadora de electrones. En este sentido, la superóxido dismutasa (SOD) desempeña un papel importante en la sensibilidad de los microorganismos frente al oxígeno por su capacidad para degradar el superóxido y formar peróxido de hidrógeno, de acuerdo con la reacción [1].



La tolerancia a la presencia de oxígeno de los microorganismos catalasa negativos es posible que esté bastante ligada a su contenido en la enzima SOD, normalmente presente en los aerobios y los aerotolerantes.

Entre las especies bacterianas, las propiónicas transforman los carbohidratos y el lactato en gas carbónico y en los ácidos acético y propiónico. Sin embargo, se caracterizan por presentar frente al oxígeno sensibilidades variables, incluso de unas cepas a otras. Esta circunstancia se explica por sus contenidos en los citocromos a y b, que bajo condiciones de anaerobiosis son utilizados como transportadores de electrones para la reducción del lactato en fumarato. En cambio, en aerobio-

sis se ha observado una oxidación completa del lactato sin que se produzcan los productos propios de una fermentación. Todo ello significa que en ciertos microorganismos anaerobios los citocromos desempeñan un importante papel y las células en ausencia de oxígeno inducen la síntesis de estos sistemas enzimáticos.

Todos los microorganismos que crecen en un ambiente sin acceso libre al aire reducen su valor de Eh hasta el límite más bajo. En el caso de poblaciones mixtas, el potencial redox que resulta según las distintas capacidades para modificarlo es un factor muy determinante de los tipos de sucesiones microbianas que puedan darse.

Normalmente, los anaerobios facultativos, entre los que se encuentran las *enterobacteriaceae*, no resultan inhibidos por el desarrollo de los aerobios estrictos; más bien, por el contrario, son ellos los que al proliferar inhiben el crecimiento de estos microorganismos alterativos.

Los anaerobios suelen crecer mejor en aquellos alimentos donde se dan las denominadas «condiciones reductoras», es decir, donde existe una demanda mínima de la capacidad reductora de la bioquímica celular que las células pueden emplear de modo más eficaz para obtener energía o llevar a cabo la biosíntesis de compuestos esenciales.

En resumen, el potencial redox que existe en un alimento puede ser un significativo factor determinante del crecimiento microbiano y actuar no sólo como un elemento selectivo sino también como un componente que influye en los productos metabólicos que se forman.

Contenido de nutrientes

La composición química de un alimento suele ser un factor decisivo para su idoneidad como medio o sustrato del crecimiento microbiano. Cada microorganismo posee una capacidad específica de utilizar determinadas estructuras químicas para el desarrollo normal de su fisiología o para multiplicarse. Con frecuencia, es la composición química del alimento la verdaderamente responsable de la naturaleza de la alteración microbiana que pueda sufrir, así como de los productos degradados que se formen.

Los microorganismos más importantes que pueden alterar los diferentes alimentos necesitan de cinco grupos de compuestos químicos para poder vivir: agua, una fuente de energía, una fuente de nitrógeno, vitaminas y sales minerales. No obstante, no todas las especies presentan el mismo nivel de necesidades y pueden ser ordenadas en orden creciente del siguiente modo: mohos, levaduras, bacterias gram-negativas y bacterias gram-positivas.

Los nutrientes empleados con mayor frecuencia como fuente de energía son los azúcares, aunque algunos también pueden usar alcoholes y aminoácidos. Los carbohidratos complejos sólo pueden ser utilizados por aquellos pocos que contienen los sistemas enzimáticos capaces de hidrolizar los polímeros. Es de señalar la capacidad de algunos hongos y bacterias para hidrolizar las sustancias pécticas por el papel relevante que estos polisacáridos desempeñan en el ablandamiento de algunas frutas. A falta de azúcares, algunos microorganismos y de modo particular los aerobios pueden utilizar lípidos como fuentes energéticas.

También cabe señalar diferencias en las capacidades para utilizar diversos componentes como fuentes de nitrógeno. Para los microorganismos heterótrofos son los

aminoácidos las principales fuentes empleadas para ello. Son muchos las especies microbianas que no son capaces de utilizar las proteínas y para poder desarrollarse necesitan de la actividad previa de otras bacterias proteolíticas.

Algunas estructuras químicas tienen el carácter de vitaminas o de factores de crecimiento y, por tanto, resultan esenciales para el desarrollo microbiano cuando éstos no son capaces de sintetizarlas. Entre ellas destacan la tiamina, el ácido ascórbico, el ácido pantoténico y el ácido fólico. En general, las bacterias gram-positivas son las que menos vitaminas del grupo B sintetizan y por ello, en los alimentos pobres en estas vitaminas hidrosolubles sólo se suelen encontrar mohos y bacterias gram-negativas, que sí las producen en cantidades suficientes.

Algunos microorganismos requieren pequeñas cantidades de elementos minerales que, si bien suelen estar presentes en los alimentos, pueden encontrarse bajo formas combinadas no disponibles para uso de las células microbianas.

Presencia de sustancias con actividad antimicrobiana

Muchos alimentos manifiestan una cierta estabilidad frente a la invasión por los microorganismos porque entre las sustancias que integran su composición química se encuentran algunas con actividad microbiana. Los ejemplos de tales compuestos resultan bastante numerosos:

- La lisozima presente en leche y huevos, capaz de hidrolizar las paredes bacterianas.
- La lactoferrina y el sistema lactoperoxidasa de la leche.
- La conalbúmina del huevo constituye un sistema antimicrobiano eficaz.
- Los ácidos p-cumárico, ferúlico, cafeico y clorogénico, todos ellos derivados del ácido hidroxycinámico, contenidos en frutas, verduras, té, etc.
- Algunas de las estructuras químicas que toman parte de la composición de los aceites esenciales de las especias: la alicina en el ajo, el timol en el orégano, el eugenol en el clavo y en la canela, etc.
- El gossipol de las semillas de algodón.

Normalmente, las sustancias que impiden la proliferación microbiana suelen actuar de modo bastante específico, porque la sensibilidad frente a ellas suele variar mucho de unos tipos de microorganismos a otros:

- Los clostridios son muy sensibles a la acción de los nitritos.
- Las bacterias gram-positivas suelen ser sensibles a los citratos, los sorbatos, los benzoatos, la nisina y los antioxidantes BHA y BHT.
- Las bacterias gram-negativas son sensibles al SO₂.
- Los hongos son susceptibles frente al ácido propiónico y la pimaricina.

Toda proliferación microbiana en un alimento repercute sobre su composición química, de tal modo que pueden desaparecer algunos nutrientes a la vez que aumenta la concentración de productos residuales. Una consecuencia importante son las modificaciones que se producen en el equilibrio de la población de microorganismos, debidas esencialmente a diversos fenómenos de antagonismos y sinergias:

— El desarrollo de las bacterias lácticas resulta antagonista para la población psicrótrofa y banal de los alimentos. El efecto inhibitor se atribuye a un descenso del pH, así como a la producción de bactericinas y de peróxido de hidrógeno.

— Las bacterias lácticas suelen presentar fenómenos de sinergismos, unas veces entre ellas (caso del yogurt) y otras con algunos géneros de levaduras (caso del kéfir). Asimismo, las bacterias productoras de metano dependen de las acidógenas que producen ácido fórmico e hidrógeno.

Estructuras del producto alimentario

La estructura biológica de un alimento ejerce una notable influencia sobre la posibilidad de una alteración microbiana. Normalmente, los tejidos sanos de todo organismo vivo son estériles porque disponen de sistemas que se oponen a la penetración de microorganismos y les impide causar el daño que conduce a las correspondientes alteraciones. Los productos alimenticios, tanto de origen animal como vegetal, se recubren a menudo de una envoltura natural que le proporciona una excelente protección del medio exterior y contribuyen a su estabilidad durante su conservación. Además, son determinantes del tipo, velocidad y desarrollo de la alteración química: cáscaras en los huevos, escamas en los pescados, piel en las frutas, etc.

Estas barreras antimicrobianas pueden ser reducidas, o incluso desaparecer, con el sacrificio del animal o la recolección del vegetal, bien por una simple descomposición natural, bien porque ha sido lesionada. Muchas veces, los procesos tecnológicos de conservación, como la congelación o el escaldado, pueden implicar algún daño para los tejidos, que al liberar su contenido ofrecen un adecuado sustrato para que tenga lugar la alteración de origen microbiano.

El estado físico bajo el que se muestra un alimento, su posible naturaleza coloidal, las manipulaciones que ha recibido, los procesos a los que ha sido sometido, etc., son factores que se complementan con la estructura biológica, coadyuvan a la posibilidad de una alteración y marcan la pauta para las consecuencias que el alimento pueda sufrir motivadas por el desarrollo de los microorganismos que consiguen instalarse en el mismo.

Factores reguladores extrínsecos

Los alimentos almacenados reciben las influencias ejercidas por las peculiaridades propias de cada ambiente en el que están inmersos, que afectan tanto a las características de los propios alimentos como a la naturaleza de la población microbiana que contienen.

Estos factores aportados por el medio ambiente reciben el nombre de *factores extrínsecos*, entre los que caben destacar tres: la temperatura de conservación, la humedad relativa del ambiente y la composición de dicho ambiente.

Temperatura de conservación

Suele considerarse el factor extrínseco más importante en relación con el desarrollo de los microorganismos presentes en el alimento, de gran interés sobre todo en el almacenado de los productos frescos y congelados. No obstante, la influencia de este parámetro resulta más acusada en alimentos húmedos, cuya a_w es superior a 0,85.

La mayor parte de los microorganismos proliferan en la zona de temperatura de 20-40 °C, mientras que su crecimiento cesa y quedan en estado de latencia por debajo de los -10 °C; sin embargo, no faltan ejemplos de situaciones extremas, que puede abarcar desde los 90 °C hasta los -34 °C. En general, las células microbianas procariotas pueden crecer dentro de escalas muy amplias de temperaturas, de modo particular los mohos más que las bacterias.

De acuerdo con las necesidades térmicas para su crecimiento, se pueden clasificar en tres grupos:

1. *Termófilos*. Aquellos capaces de crecer a temperaturas superiores a los 45 °C y que se caracterizan por presentar un elevado nivel de crecimiento dentro de un tiempo de duración muy corto. Están representados por dos géneros bacterianos (*bacillus* y *clostridium*) y varios mohos (*aspergillus*, *cladosporium*, etc.). Al ser bastante ubicuos, abundan en suelos, aguas y aire.

A ellos pueden añadirse los denominados *termótrofos*, que bajo condiciones normales corresponden al grupo siguiente, pero que bajo determinadas circunstancias son capaces de un desarrollo a temperaturas elevadas, como es el caso de algunas bacterias lácticas (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgáricus*) muy empleadas por la industria láctea o con una bacteria de origen fecal (*Streptococcus faecalis*), que puede adaptarse a la temperatura de 50 °C.

2. *Mesófilos*. Aquellos que se multiplican en la zona térmica comprendida entre 20 y 45 °C, aunque tengan preferencias por los 37 °C. Necesitan de uno a varios días para alcanzar la fase estacionaria y sus niveles de crecimiento son altos. La mayor parte de los principales géneros y especies de bacterias están incluidos en este grupo, donde abundan los microorganismos saprofitos, aunque no falten los patógenos. Se les puede encontrar en los alimentos que han sido almacenados a la temperatura ambiente y en aquellos refrigerados, a los que se les ha interrumpido la cadena del frío.

3. *Psicrófilos*. Aquellos perfectamente adaptados al frío y que crecen bien a temperaturas próximas a los 0°C. Sin embargo, en el ámbito del alimento tienen más relevancia los denominados *psicrótrofos*, que a pesar de tener un crecimiento óptimo entre los 15 y 20 °C, sin embargo se han adaptado al frío y se multiplican muy bien por debajo de los 7 °C. Su velocidad de crecimiento suele ser lenta y por tanto necesitan de un tiempo de una a tres semanas para invadir los alimentos. No obstante, su metabolismo permanece muy activo, de modo particular los sistemas enzimáticos hidrolíticos, que incluyen lipasas y proteasas responsables de problemas tecnológicos y organolépticos. Muy pocas veces corresponden a gérmenes patógenos, pero sí incluyen numerosos géneros bacterianos alterantes entre las que destacan *pseudomonas* y *enterococcus*, así como la mayor parte de levaduras y mohos. Suelen crecer bien a la temperatura de las neveras y llegan a ser los domi-

nantes y responsables de sus alteraciones en todos los alimentos refrigerados: carnes, pescados, aves, huevos, leches, etc.

Para todos estos grupos se pueden establecer temperaturas consideradas como óptimas para sus crecimientos, así como los valores máximos y mínimos que señalan los límites térmicos fuera de los cuales no es posible la supervivencia (Tabla 18.4).

Por consiguiente, la temperatura de almacenamiento será la determinante de la población microbiana que se desarrolle en un alimento almacenado y lo altere:

- A 5 °C, los psicrotófos *achromobacter*, *micrococcus*, *pseudomonas* y *flavobacterium*.
- A 20 °C, predominan los *lactobacillus* que acidifican y agrian el alimento.
- Entre 20 y 35 °C, los hongos que prefieren temperaturas más elevadas; *penicillium* a 20/25 °C y *aspegillus* a 25/35 °C.
- Por encima de 35 °C pueden predominar algunos patógenos: *salmonellas*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus faecalis*.

Humedad relativa del ambiente

Este factor extrínseco debe su importancia a su estrecha relación con la actividad de agua que posee un alimento. Cuando un alimento, que tenga una a_w más bien reducida, se coloca en un ambiente con una humedad relativa elevada se provoca una captura de agua por parte del alimento hasta que se establezca un equilibrio con el medio ambiente. Cuando ocurre lo contrario, será el alimento quien pierda agua hasta que se consiga el equilibrio entre ambas partes.

A la hora de elegir el ambiente apropiado para almacenar un alimento sin pérdida de su calidad debe ser tenida en cuenta la relación que existe entre la humedad relativa de la atmósfera y su temperatura, que se influyen en sentido inverso: a mayor temperatura menor humedad relativa. De aquí que en las neveras suelen tener una humedad relativa elevada y faciliten la alteración superficial de algunos alimentos por mohos, levaduras y determinadas bacterias.

No obstante, al elegir una humedad relativa baja para reducir las posibles modificaciones superficiales en algunos alimentos, no hay que olvidar que bajo estas

Tabla 18.4
Escalas de temperaturas esenciales para los grupos
de microorganismos contenidos en los alimentos

Grupo microbiano	Margen de temperatura (1°C)		
	Máxima	Óptima	Mínima
Termófilos	90/60	75/55	45/40
Mesófilos	47/35	45/30	15/05
Psicrotófos	35/30	30/25	+5/−5
Psicrofilos	20/15	15/12	+5/−5

condiciones es el propio alimento quien puede proporcionar agua a la atmósfera y sufrir una desecación. En este caso, se cambia una posible alteración de origen microbiano por una alteración de tipo físico, con perjuicio de su calidad.

Al seleccionar las condiciones apropiadas para el ambiente de almacenamiento hay que ponderar tanto el riesgo de crecimiento de microorganismos en la superficie de los alimentos, como la estabilidad física del alimento, con el fin de mantener una calidad deseable.

Composición gaseosa del medio ambiente

En los últimos años se emplea con cierta profusión el envasado y a veces almacenado en atmósferas modificadas para prolongar la vida útil de muchos alimentos. Para ello se emplean diferentes gases, tales como N_2 , CO_2 , O_3 , aire, mezclados en las proporciones más diversas.

Numerosos ensayos con los más diversos alimentos han permitido conocer la eficacia de estas atmósferas modificadas en su prevención frente a la alteración microbiana. Así, se ha comprobado que el dióxido de carbono retarda el desarrollo de la podredumbre de las frutas bajo los efectos de los hongos, tal vez por inhibir la actividad del etileno como factor de envejecimiento. También el ozono ha resultado eficaz para retrasar la alteración superficial de canales de carne durante un almacenamiento prolongado. Sin embargo, por sus poderosos efectos oxidantes no es recomendable para alimentos ricos en lípidos insaturados.

Asimismo, el CO_2 hiperbárico ha resultado eficiente y válido para aumentar la vida útil de las carnes almacenadas. Igualmente, el almacenado en atmósfera de CO_2 resulta importante para la buena conservación del pescado. En general, el efecto inhibitor del CO_2 se incrementa conforme se reduce la temperatura, posiblemente por la mayor solubilidad de este gas cuando las temperaturas son bajas. Se ha observado que las bacterias gram-negativas son más sensibles frente al efecto inhibitor del CO_2 que las gram-positivas, destacando por su sensibilidad las del género *pseudomona*. Por el contrario, se pueden citar como más resistentes las bacterias acidolácticas junto con las anaerobias.

Así se explica que los envasados de carnes bajo concentraciones elevadas de CO_2 hayan implicado modificaciones notables en la población microbiana de origen. Con un carácter bastante heterogéneo, aunque con predominio de las bacterias gram-negativas, resultan con una población microbiana integrada principalmente por las bacterias acidolácticas.

Parámetros implícitos

La mayoría de los alimentos crudos contienen una gran variedad de géneros y especies de bacterias, levaduras y hongos, que de acuerdo con las condiciones ambientales se desarrollarán unas mejores que otras. En condiciones favorables para todos ellos, suelen ser las bacterias las que crezcan con mayor rapidez que levaduras y hongos. Aquellas especies que encuentren sus condiciones óptimas

serán las principales responsables de los resultados de una alteración de origen microbiano.

No obstante, se puede afirmar que la alteración microbiana de un alimento va a depender de dos parámetros:

- La *clase* de microorganismos que existen en el alimento.
- El *número* que alcanza la carga microbiana en ese alimento.

El primero, se relaciona de modo principal con las posibles contaminaciones recibidas por el alimento debidas a las sucesivas manipulaciones y tratamientos. El segundo, suele ser una función del crecimiento microbiano.

Cada microorganismo individual, que existe dentro de la población microbiana contenida en un alimento dado, comprende importantes atributos biológicos capaces de influir en el predominio de unas especies frente a otras. Se trata de los denominados *parámetros implícitos*, entre los que destacan dos:

- La velocidad de crecimiento individual de las cepas microbianas.
- Las interacciones mutuas que de hecho se dan en las poblaciones mixtas.

Todo microorganismo situado en un ambiente dado crece a una velocidad específica y de un modo característico, aunque la duración de su fase de latencia, el tiempo de generación y la producción total de células son peculiaridades determinadas por factores de tipo genético. No obstante, la actividad metabólica sí puede estar influida por factores intrínsecos y extrínsecos que lo orientan hacia la producción de diferentes posibilidades de metabolitos.

En la implantación de una población microbiana mixta, la acumulación de los productos metabólicos representan un factor limitante para que se puedan desarrollar algunas especies determinadas. Estas interacciones existen mientras continúe la actividad metabólica de los microorganismos presentes y como consecuencia de este proceso dinámico se puede llegar a una situación de *dominio* de unas especies frente a otras.

La población microbiana que caracteriza a un alimento es algo dinámico, cambiante, nunca estático. Por ello, cuando se analiza el perfil microbiano característico de un alimento en un momento dado se consigue establecer el conocimiento de lo que se denomina una *asociación*. Sin embargo, el caso más frecuente es aquel en el que se tiene conciencia de un cambio continuo en el perfil microbiano, de tal modo que una asociación sucede a otra. En estas circunstancias se debe hablar de *sucesiones*.

El manejo del concepto asociación ha significado un avance importante en los conocimientos acerca de la alteración microbiana de los alimentos, porque ha permitido centrar la atención en aquellos pocos que se sabe pueden ser los responsables de la alteración de un alimento en particular.

En tal sentido ha facultado para hacer algunas deducciones importantes:

- Las bacterias gram-negativas, no acidúricas y poco exigentes desde el punto de vista de nutrientes, suelen estar implicadas en la alteración de alimentos proteicos con una disponibilidad de agua elevada.
- Los géneros acidúricos están implicados en el deterioro de las frutas ácidas.
- Las bacterias lácticas tienen preferencia por los alimentos ricos en carbohidratos fermentables.

— Los mohos están involucrados en la alteración de productos de origen vegetal.

Dentro de este fenómeno de interacciones provocadas por la coexistencia de varios microorganismos se puede hablar de algunos tipos de enorme interés: las acciones antagonicas y las acciones sinérgicas.

El *antagonismo* comprende procesos predadores y parásitos entre los distintos microorganismos como resultado de una clara competencia por los espacios vitales y los nutrientes tomados de los alimentos.

Por otra parte, cuando las células microbianas mantienen una elevada actividad metabólica pueden consumir nutrientes de tal manera que el medio se empobrece y de rechazo se inhibe el crecimiento celular. Algunos microorganismos presentes pueden sintetizar sustancias de diversa naturaleza: protones, CO₂, ácidos orgánicos, peróxidos, antibióticos, que afectan de modo negativo al desarrollo de otras. Por el contrario, existen ocasiones que los metabolitos o las condiciones resultantes son motivo para facilitar el crecimiento específico de algunos otros. De este modo, cambios en la composición química de los sustratos alimenticios pueden servir de estímulo o de freno ante los efectos competitivos.

El resultado más importante que resulta de este tipo de interacciones en el llamado *efecto metabiótico*, que consiste en la producción por parte de un tipo de microorganismo de las condiciones favorables para que se puedan desarrollar otros, sin las cuales les resulta imposible crecer. La mayoría de las alteraciones alimenticias de origen microbiano responde a este tipo de interacción. El ejemplo más típico lo ofrece la leche cruda, que a la temperatura ambiente inicia una fermentación ácida (Fig. 18.2): después de una etapa inicial donde el porcentaje de ácido láctico es escaso y desempeña una acción germicida (zona A-B), se incrementa su porcentaje por el desarrollo de los *streptococcus lactis* y las bacterias *coliformes* (zona B-C) hasta que llega un momento en que la acidez producida por estas bacterias inhibe su propio crecimiento. Es la coyuntura que aprovechan los lactobacilos acidotolerantes para continuar la fermentación del sustrato con su propio metabolismo (zona C-D); con ello, aumentan la concentración protónica del medio hasta que el pH llega a ser tan ácido que también frena su desarrollo. Precisamente, en esta zona de pH tan bajo crecen levaduras y hongos (zona D-E), que con sus metabolismos van neutralizando la acidez del medio y lo ponen en condiciones favorables para que puedan crecer las bacterias proteolíticas (zona E-F), que ponen punto final a la alteración de la leche.

No hay que olvidar que este efecto metabiótico, perjudicial en la mayoría de los casos, puede llegar a ser beneficioso para ciertas ocasiones, buscadas en la preparación de algunos alimentos fermentados: choucrout o col fermentada.

No faltan ejemplos donde las interacciones entre las actividades de microorganismos presentes en los alimentos conducen a fenómenos de sinergismo, en los que la coincidencia de dos especies microbianas dan lugar a efectos que no ocurren cuando cada especie actúa sola. Estas acciones sinérgicas son típicas de levaduras, micrococos, estreptococos, lactobacilos y enterobacteriáceas. Sus actuaciones sinérgicas pueden tener lugar a través de los mecanismos más diversos: producción de metabolitos utilizados por otros; cambios de pH; cambios en el potencial redox; hidrólisis de polímeros estructurales, facilitando la invasión tisular por otros microorganismos; etc.

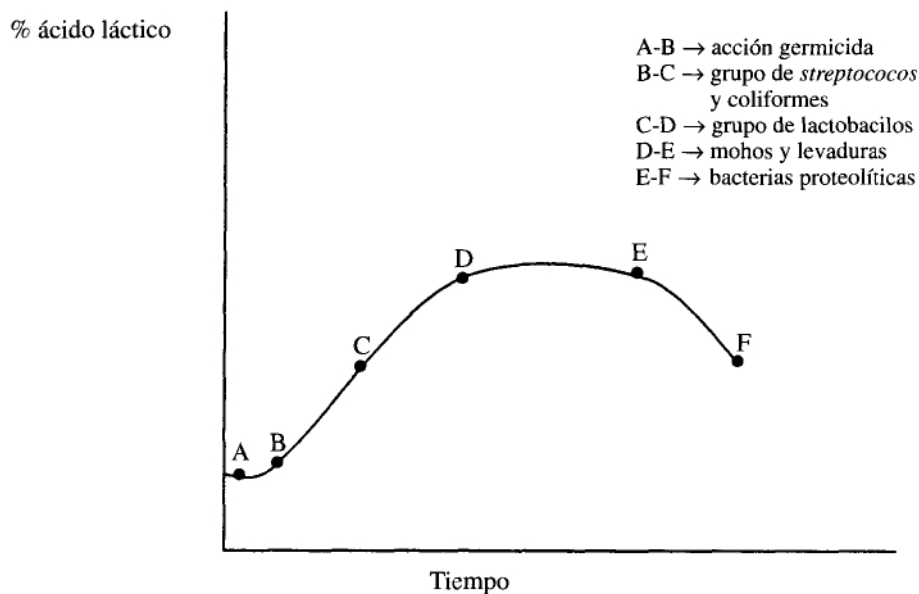


Figura 18.2. Efecto metabiótico característico de la alteración microbiana de la leche cruda.

Consecuencias químicas de la alteración microbiana

Toda proliferación microbiana que acontece en un producto alimenticio repercute en su composición química, de tal modo que el alimento alterado contiene sustancias que no estaban en su inicio ni se encuentran en el estable. El crecimiento de los microorganismos se acompaña de una actividad metabólica capaz de originar compuestos degradados modificadores de las cualidades organolépticas, aparte del peligro de toxicidad que entraña la presencia de algunos metabolitos específicos.

Para su metabolismo, los microorganismos suelen utilizar como sustratos principales los componentes mayoritarios de los alimentos, de acuerdo con el siguiente orden decreciente: carbohidratos, proteínas y lípidos. De hecho, se producen cambios en los compuestos que pueden aportar la cadena carbonada y en los de estructura nitrogenada.

Los primeros, junto a los alcoholes y los ácidos orgánicos pueden significar las primeras fuentes energéticas utilizadas por las células microbianas. Los lípidos suelen ser utilizados para la obtención de energía cuando no es posible el empleo de los otros nutrientes energéticos. La mayor parte del nitrógeno contenido en un alimento se encuentra bajo la forma de proteínas, que para ser utilizadas con fines metabólicos necesitan de una hidrólisis previa que le convierta en unidades estructurales más sencillas.

En consecuencia, la composición química de un alimento alterado por el desarrollo de microorganismos presentará una composición química final que variará en función de dos elementos importantes a tener cuenta: la especie del microorganismo que se desarrolla y los procesos metabólicos aplicados por las células microbianas a cada tipo de sustrato. De aquí la gran variedad de estructuras químicas que pueden ser detectadas en el análisis de cada producto alimenticio alterado.

El estudio de aquellos alimentos que han sufrido algún tipo de alteración microbiana ha permitido establecer los cambios físicos y químicos asociados con dicha alteración. Así, en muchos de los alimentos alterados se ha podido identificar el tipo de cambio principal provocado por los microorganismos alterantes, entre los que caben destacar los recogidos en la Tabla 18.5.

Tabla 18.5

Tipos de cambios provocados en los alimentos por la actividad metabólica de los microorganismos

Polimerización. Síntesis de compuestos poliméricos que aparecen como una viscosidad o limo extracelular.

Despolimerización. Hidrólisis de componentes poliméricos como almidones, pectinas, proteínas o lípidos, con pérdida de la organización biológica del alimento.

Desestabilización de un sistema emulsión. Es consecuencia de la degradación de un agente emulsionante.

Fermentaciones. Actividad sobre carbohidratos con formación de un acumulo de metabolitos, que pueden alterar el flavor del alimento.

Modificaciones en las cualidades organolépticas. Resultan de reacciones de oxidación, o de reducción, sobre algún componente que tienen como consecuencia cambios en color, olor, sabor, flavor, etc.

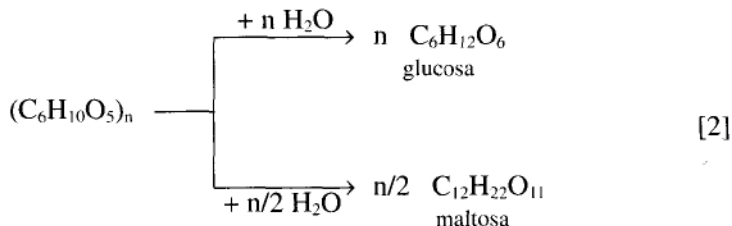
Pigmentación. Síntesis de pigmentos, que inciden sobre el color del alimento.

Cambios en los carbohidratos

Los microorganismos pueden actuar sobre las moléculas de los carbohidratos presentes en los alimentos a través de diversos mecanismos de reacción:

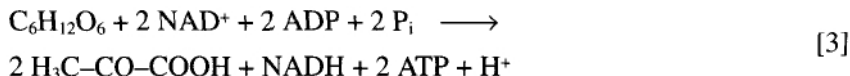
1. Degradación hidrolítica

Los polisacáridos de elevado peso molecular pueden ser hidrolizados por algunos enzimas extracelulares para dar lugar a mezclas de compuestos de bajo peso molecular [2]. Estas enzimas extracelulares, tales como amilasas, celulasas, etc., pueden proceder de bacilos, estreptomicos, penicilios y aspergilos.

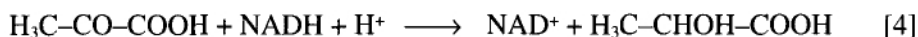


2. Glucólisis anaeróbica

Los mono y los disacáridos contenidos en los alimentos, tales como glucosa, fructosa, maltosa y lactosa, pueden ser convertidos en ácido pirúvico a través de la vía metabólica EMP, es decir, de Embden-Meyerhof-Parnas. La reacción general de lo ocurrido por esta vía queda resumida en [3].



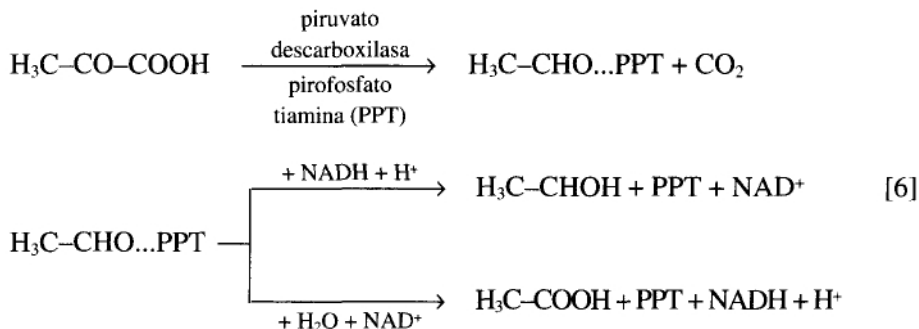
y la transformación de este ácido pirúvico formado va a depender del tipo de microorganismo que se desarrolle. Así, los lactobacilos, muy abundantes en los derivados lácteos, convierten el ácido pirúvico en ácido láctico [4].



mientras que las levaduras lo reducen y descarboxilan hasta etanol [5], como ocurre en la elaboración del vino.



Otras veces, como ocurre en las cervezas, la alteración puede llegar hasta la formación de ácido acético, dentro de un proceso anaeróbico en el que tiene lugar una reducción y una oxidación simultánea del acetaldehído formado, según las reacciones del esquema [6].



Por consiguiente, puede decirse que los metabolitos formados por los lactobacilos, las levaduras y las acetobacterias proceden todos de la transformación directa del ácido pirúvico.

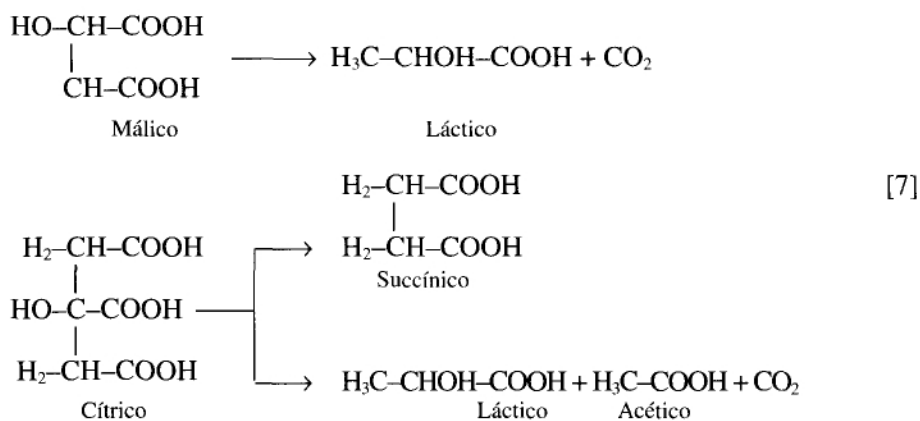
3. Síntesis de polisacáridos

Muchas bacterias pueden sintetizar polisacáridos a partir de las moléculas de disacáridos presentes en los alimentos, dando lugar a la formación de películas viscosas que proporcionan al alimento un cierto sabor y una textura inaceptable. En estos casos, se suelen formar compuestos dextranos, que son polisacáridos formados a base de unidades de alfa-D-glucopiranosas vinculadas entre ellas por enlaces alfa-1,6-glucósidos. Este tipo de alteración suele aparecer en los zumos de frutas contaminados por *Leuconostoc mesenteroides* y por *Streptococcus viscosum*. Se

puede inhibir la alteración mediante conservación a temperaturas por debajo de los 8 °C, es decir, propia de almacenamientos bajo refrigeración.

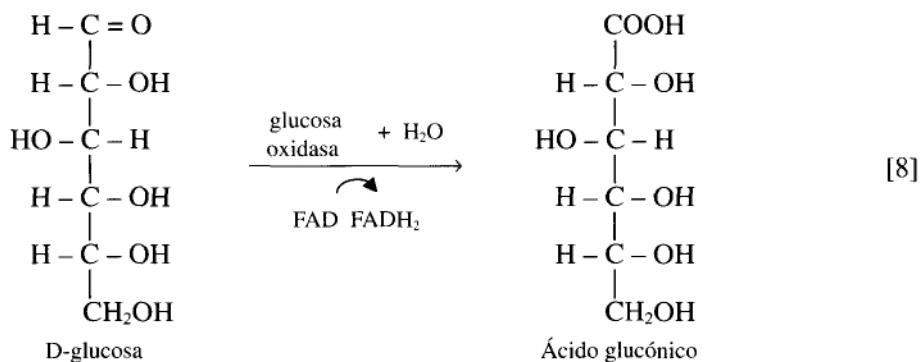
4. Descarboxilación

En los zumos de frutas ácidas que suelen presentar valores bajo de pH, puede ocurrir una subida de este parámetro como consecuencia de la actividad metabólica de algunas bacterias que toman como sustratos los ácidos policarboxílicos, para dar lugar a otras estructuras también ácidas pero con menor capacidad de aportar protones [7]. También se ha demostrado la presencia de diacetilo y de acetoina como resultado del metabolismo de algunos lactobacilos sobre los zumos de frutas. Como en la mayoría de los casos se pierden grupos carboxílicos se produce en consecuencia una subida del pH y las bebidas de frutas pierden parte de su astringencia y adquieren un gusto más blando y suave.



5. Oxidación de la glucosa

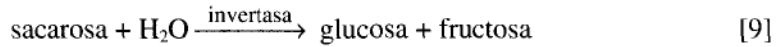
Las acetobacterias que se encuentran en algunos vinos también son capaces de producir una enzima, la glucosa-oxidasa, que oxida a la glucosa y la convierte en ácido glucónico [8].



6. Inversión de la sacarosa

El principal efecto de la alteración microbiana sobre el azúcar de caña o de remolacha es el desdoblamiento de la molécula de sacarosa, dando lugar a una

mezcla de glucosa y fructosa, debido a la actividad de una enzima invertasa que producen las levaduras y los hongos, de modo especial los *aspergillus* y algunos *sacharomyces* [9]



7. Degradación de pectinas

Todas las verduras y frutas contienen pectinas, cuyas macromoléculas pueden ser degradadas por la actividad hidrolítica de enzimas producidos por bacterias y hongos. Estas enzimas pueden ser de tres tipos:

- a) Enzimas poligalacturonidasas, que fragmentan las moléculas de pectinas para dar lugar a oligogalacturónidos.
- b) Enzimas pectinas-transeliminadasas, que separan moléculas de ácido metilgalacturónico, pero que llevan en su estructura química un doble enlace entre sus carbonos 4 y 5.
- c) Enzimas pectinaesterasas, que hidrolizan los grupos ésteres metilos, dando lugar a la formación de metanol y ácido péctico libre.

Como consecuencia de estas actividades enzimáticas aparece en los alimentos una podredumbre blanda, causada por la destrucción de la matriz de pectinas que suele estar localizada en los espacios intercelulares de los tejidos vegetales.

Cambios en las proteínas

De todos los tipos de alteraciones microbianas de los alimentos, las más complejas suelen ser las que tienen como sustratos a los constituyentes proteicos. Esta diversidad es un fiel reflejo de las diferencias existentes entre las numerosas proteínas alimenticias, junto a la gran variedad de los posibles microorganismos que pueden intervenir.

Los alimentos eminentemente proteicos, como carnes, pescados, huevos o leches, pueden experimentar cambios indeseables siempre que se almacenen bajo condiciones poco satisfactorias. Tales cambios suelen responder a dos tipos diferentes:

- a) «Degradación» de los constituyentes proteicos, de tal modo que puede entrañar destrucciones de proteínas estructurales, como el colágeno.
- b) «Putrefacción», caracterizada por la aparición de sustancias que aportan al alimento unas cualidades organolépticas nauseabundas, sustancias que suelen ser metabolitos resultantes del catabolismo anaeróbico de péptidos y aminoácidos por los enzimas microbianos.

La alteración proteica comienza con el uso nutricional que hacen los microorganismos de sustancias como nucleótidos, péptidos, aminoácidos y vitaminas. La metabolización de estas sustancias originan diversos compuestos que son responsables de las características fétidas del estado de putrefacción de los alimentos alterados. Cuando el proceso se encuentra en estado avanzado, las células microbianas sintetizan proteasas que degradan las estructuras proteicas propias del alimento:

miosina, colágeno, queratina, mioglobina, etc. De este modo, se aseguran la fuente de compuestos nitrogenados necesarios para llevar a cabo los procesos de su desarrollo y crecimiento.

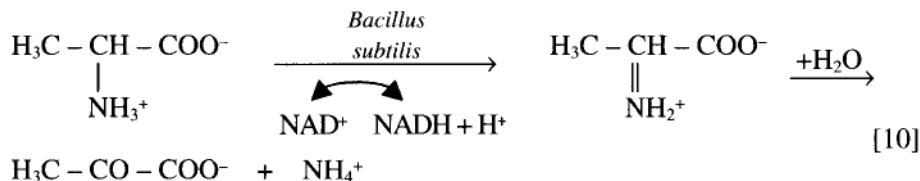
Muchos de estos metabolitos son aminas que se forman a partir de los aminoácidos mediante una descarboxilación anaeróbica. No obstante, no es ésta la única vía metabólica que actúa sobre las estructuras de los aminoácidos, sino que existen otras muy variadas.

1. Formación de aminas

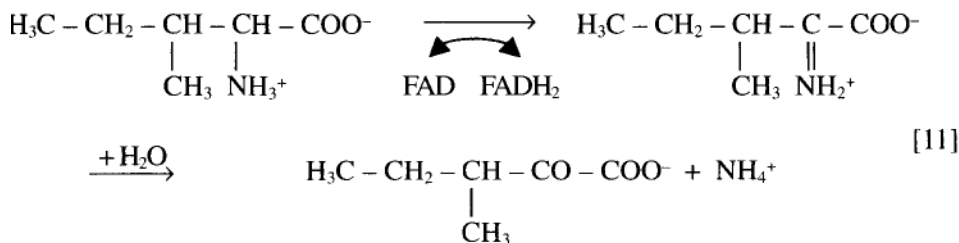
La aparición de estas aminas, la mayoría de las veces tóxicas, responde a la pérdida de los grupos carboxilos de los aminoácidos cuando sobre el alimento actúan microorganismos anaeróbicos (Tabla 18.6).

2. Formación de ácidos orgánicos y amoniaco

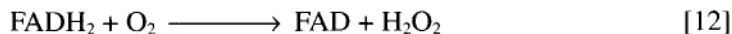
Se puede producir una desaminación de los aminoácidos por la acción de enzimas amino-oxidasas producidas por microorganismos dando lugar a la aparición de ácidos orgánicos neutralizados por cationes amónicos [10].



aunque la mayor parte de las enzimas aminoácidos-oxidasas utilizan una flavoproteína que contiene FAD como aceptor de hidrógeno o como reactivo electrofílico [11].



Cuando la reacción tiene lugar bajo condiciones aeróbicas, se regenera el FAD con formación de peróxido de hidrógeno [12].



En el caso de ausencia de enzimas catalasas que destruyan las moléculas de peróxidos de hidrógeno formados, éstas actúan sobre los cetoácidos y lo transforman en un ácido graso con un átomo menos de carbono [13].

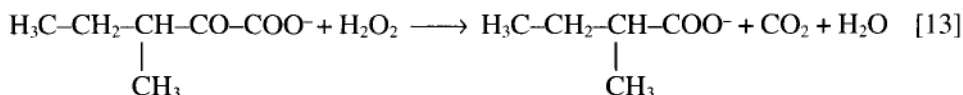
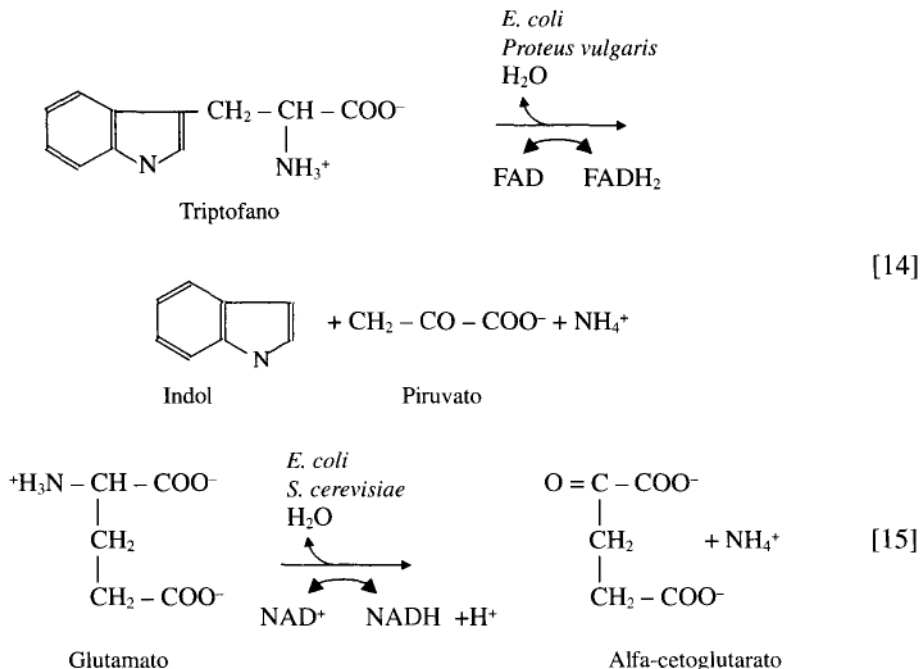


Tabla 18.6
Formación de aminas por descarboxilación anaeróbica
de aminoácidos

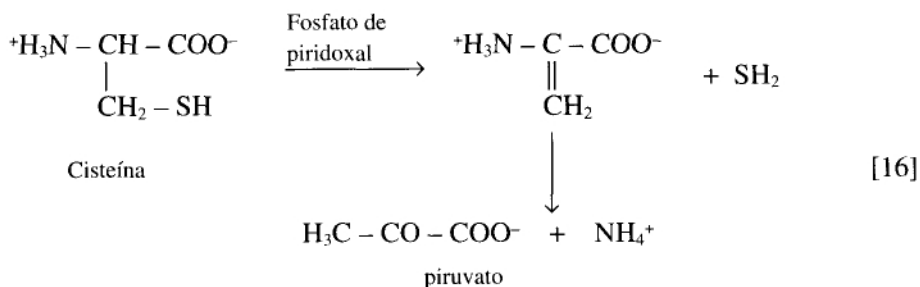
$\text{H}_2\text{N} - (\text{CH}_2)_4 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$ Lisina	$\xrightarrow[\text{Clostridium histolyticum}]{\text{E. coli, Bacillus cadaveris}}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ (\text{CH}_2)_3 + \text{CO}_2 \\ \\ \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$ Cadaverina
$\text{H}_2\text{N} - (\text{CH}_2)_3 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$ Ornitina	$\xrightarrow[\text{Clostridium welchii}]{\text{Clostridium septicum}}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ (\text{CH}_2)_2 + \text{CO}_2 \\ \\ \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$ Putrescina
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{CHNH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ Valina	$\xrightarrow[\text{Pseudomonas cocovenans}]{\text{Proteus vulgaris}}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH} - \text{CH}_3 + \text{CO}_2 \\ \\ \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$ Isobutilamina
$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH}$ Ácido glutámico	$\xrightarrow{\text{Streptococcus faecalis}}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 + \text{CO}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{C} - \text{COOH} \end{array}$ Ácido aminobutírico
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CHNH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$ Tirosina	$\xrightarrow{\text{Streptococcus faecalis}}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{NH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$ Tiramina

Todavía la actividad metabólica de los microorganismos puede recurrir a otras posibilidades de formar ácidos orgánicos y amoníaco. Ejemplo de esta vía las tenemos con *Escherichia coli* y *Proteus vulgaris* cuando sus sistemas enzimáticos actúan sobre la molécula de triptófano [14], así como el mismo *Escherichia coli* y el *Saccharomyces cerevisiae* sobre la molécula de glutamato [15].



3. Formación de sulfuro de hidrógeno

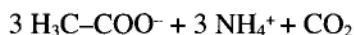
La degradación enzimática de la cisteína da lugar a la formación de sulfuro de hidrógeno, a la vez que también separa amoníaco por un mecanismo similar al de las enzimas deshidratasas sobre la serina y la treonina [16].



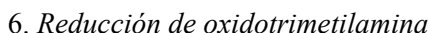
4. Reacción de Stickland

Los *clostridium* anaeróbicos metabolizan aminoácidos a través de la reacción de Stickland, que implica una combinación de dos procesos sobre dos aminoácidos diferentes:

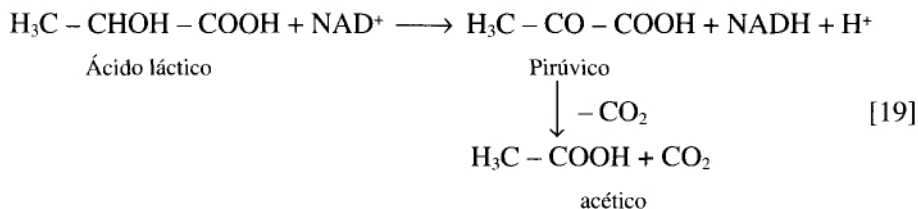
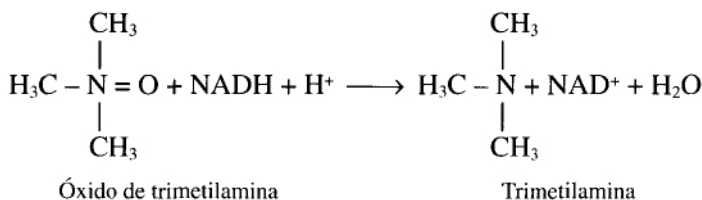
- Como productos finales se producen ácidos orgánicos, dióxido de carbono y amoníaco [17].



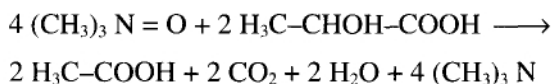
También los *clostridium* anaeróbicos pueden originar hidrógeno gaseoso a partir de los protones de los aminoácidos mediante la actividad de una enzima hidrogenasa específico, que requiere ferridoxina como cofactor [18].



En la putrefacción de los pescados se produce una reducción del óxido de trimetilamina por la actividad de una enzima reductasa que depende del NADH, mediante una reacción copulada con el metabolismo oxidativo que convierte el ácido láctico en ácido acético [19].



y en resumen



También los microorganismos pueden utilizar el glucógeno muscular, así como la glucosa libre o el ácido pirúvico, para la producción de trimetilamina.

Cambio en los lípidos

La acción de bacterias y hongos sobre los triacilglicerol presentes en los alimentos grasos es la causa de diversos tipos de alteraciones que hacen recusables a dichos alimentos, como consecuencia de la aparición de acidez, enranciamiento, sabores anormales, etc.

La actividad de enzimas lipasas da lugar a la liberación de los ácidos grasos esterificados en las estructuras lipídicas. Por lo general, los microorganismos sintetizan lipasas del mismo tipo que las pancreáticas, es decir, con una preferencia por las posiciones extremas sn-1 y sn-3 del glicerol. Ejemplos de ello pueden ser el *Penicillium roqueforti*, la *Candida lipolytica*, la *Pseudomona fragi*, etc. En cambio, el *Aspergillus flavus* y el *Staphylococcus aureus* producen lipasas específicas del enlace en la posición sn-2. También pueden encontrarse en algunas ocasiones lipasas que son específicas de isomerías de posición, como por ejemplo la que sólo liberan ácidos oleicos que tiene su enlace en disposición *cis*, pero nunca ácido eláidico con el enlace *trans*.

Algunas veces, el enranciamiento de las grasas es una consecuencia de enzimas lipoxigenasas específicas de las estructuras insaturadas propias de los ácidos linoleico y linolénico, producidas por algunas células microbianas.

Asimismo, micrococos, bacterias lipolíticas, levaduras y hongos suelen ser responsables de formar metil cetonas a partir de ácidos grasos de cadena corta, a través de un mecanismo en el que intervienen el proceso de la beta-oxidación de la cadena grasa.

En resumen, se puede afirmar que las modificaciones sufridas por los carbohidratos, proteínas y lípidos de los alimentos por la actividad metabólica microbiana son una consecuencia de la acción conjunta de toda la población microbiana, que convierte al alimento estable en un producto desechable.

Medidas de prevención

Nuestras materias primas alimentarias suelen proceder de animales y plantas que han sabido desarrollar diversos mecanismos defensivos frente a la invasión y multiplicación microbiana. Algunos de estos mecanismos permanecen operativos en los alimentos frescos, pero la necesidad de conservar los alimentos producidos durante un máximo de tiempo ha conducido a que se implanten nuevos procedimientos de evitar la alteración de los alimentos como consecuencia del desarrollo de microorganismos.

Todos estos medios de prevención se suelen basar en el control de aquellos factores que resultan esenciales para la vida y la multiplicación de las células microbianas. De aquí, que se manejen medidas de control en torno a dos parámetros rele-

vantes: la temperatura y la disponibilidad del agua. Estas medidas han dado lugar a los diferentes métodos de refrigeración, congelación y deshidratación muy utilizados en los momentos actuales. Por otra parte, a imitación de los procesos naturales también se hace uso de sustancias que se oponen a la vida de la célula y no permiten la proliferación de los microorganismos. Sobre estas medidas se basan los métodos de ahumado, fermentación, acidificación y uso de conservantes químicos.

PARTE V



Velázquez, Cabeza de venado (detalle), Madrid

LA CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS

Planteamiento general acerca de la conservación de los alimentos

- Introducción.
- Principios generales sobre conservación de alimentos.
- Principales tecnologías de conservación de alimentos.

Introducción

Es posible que uno de los primeros problemas con el que se enfrentó el ser humano fueran la buena conservación de las materias primas alimenticias conseguidas. Desde los tiempos más remotos tuvo como primordial preocupación la necesidad de prolongar la vida útil de sus fuentes alimenticias, que conseguía mediante sistemas de conservación relacionados con el hábitat en el que desarrollaba su vida. Es decir, tales sistemas variaban según que su vida transcurriera en climas fríos o cálidos.

Durante un primer periodo, posiblemente prolongado, los alimentos eran preservados sin otro fundamento que una simple selección de sus fuentes y un almacenado durante un tiempo relativamente corto. La aplicación de un método racional para conservación de granos de cereales se encuentra recogido por primera vez en la Biblia, donde se relata cómo el faraón de Egipto ordena a su intendente José, hijo del patriarca Jacob, que almacene la quinta parte de cada cosecha para compensar la escasez propia de los tiempos de sequía. Este relato bíblico puede ser considerado como la primera referencia conocida en la que se describe el empleo de un sistema de almacenado como aprovechamiento de la actividad antimicrobiana de los gases desprendidos en la respiración de los granos, en este caso dióxido de carbono.

Todavía en tiempos muy primitivos, la observación de ciertos fenómenos permitió el desarrollo de nuevas metodologías de conservación, aun cuando se igno-

rara su fundamento. Así, se llegó a conocer cómo los alimentos almacenados podían mejorar su estabilidad si se les protegía del contacto con el aire o con la humedad. De aquí la decisión, deducida por lo encontrado en las excavaciones arqueológicas, de introducir los alimentos en vasijas de arcilla, o bien de cubrirlos con miel, grasa, vino, etc. Por otra parte, también fueron advertidos los beneficiosos efectos provocados por el frío ambiental, o en su caso por el calor del fuego, además de las ventajas obtenidas al someter los alimentos a las acciones protectoras del sol, del humo o de la sal, que no sólo proporcionaban una mayor estabilidad a los alimentos sino incluso modificaban de modo favorable sus propiedades sensoriales.

De este modo aparecieron las diversas tecnologías, transmitidas a través de los siglos, propias del secado, salado, ahumado, congelado, salazón, etc. Según los datos aportados por las fuentes arqueológicas, parece que fueron los sumerios los primeros en combinar la desecación con el ahumado con el fin de retrasar el desarrollo de la putrefacción de las carnes que cazaban. Esta práctica resultó tan eficiente, que su empleo pasó después a otros pueblos y todavía la siguen aplicando algunos indios de América del Sur, que elaboran un producto denominado «tasajo», consistente en tiras de carne untadas de harina de maíz y desecadas al viento. En la práctica, la desecación de lo capturado mediante caza o pesca era el sistema obligado para aquellos pueblos que tenían dificultades para conseguir la sal común.

Ya en época histórica, los pueblos del norte de Europa aprovechaban el hielo aportado por su fría climatología como medio de conservación de lo cazado o pescado. De este modo, los pescados del Rhin, del mar del Norte y del mar Báltico llegaban sin pudrirse a los mercados de la antigua Roma, protegidos por los efectos del hielo en el que eran introducidos inmediatamente después de sus capturas. También la capital del imperio romano se surtía de las nieves caídas sobre la cordillera Apenina, que cruza la península italiana y durante la alta Edad Media la nieve recogida en el Líbano era transportada en caravanas de camellos hasta los palacios de los califas de Bagdad y de Damasco. Incluso antiguos documentos de China, Grecia, Macedonia y Roma recogen referencias sobre el consumo helado de algunos productos.

Durante muchos siglos, la alimentación humana tuvo como principal característica la monotonía de sus recursos. Se comía a base de cereales y harinas, que alternaban con carnes y pescados, bajo las formas de ahumados, desecados y salados. Sin embargo, la fermentación de materias alimenticias descubierta de modo empírico en algunos países de clima cálido, marcó una nueva etapa histórica y supuso un hito importante en la conservación y en el uso de los alimentos. Con este proceso, eran transformadas las materias primas perecederas, como la leche y los zumos de frutas, en otros productos, como quesos y vinos, de conservación más favorable y con otras cualidades organolépticas muy apreciadas.

El estudio bioquímico y el desarrollo de las técnicas analíticas permitió, siglos más tarde, conocer la naturaleza de las sustancias resultantes, en su mayoría ácidos orgánicos, que posteriormente se emplearon bajo el concepto de aditivos conservadores.

Igualmente, durante siglos también se han empleado las especias como buenos agentes protectores de la estabilidad de muchos alimentos y de la integridad de su composición química. Hoy día se sabe que muchas especias contienen estructuras químicas que, además de contribuir al flavor, actúan como antisépticos eficaces. Responden a compuestos orgánicos, distribuidos de modo heterogéneo: el deriva-

do fenólico eugenol en el clavo, el isotiocianato de alilo en la mostaza, el aldehído cinámico en la canela, etc.

También, a finales de la Edad Media, la difusión del azúcar permitió elaborar alimentos con alto contenido en ella, como las mermeladas, que resultaban ser tanto más estables cuanto más elevada fuera la temperatura de su tratamiento térmico.

Con el transcurso de los años se ha hecho cada vez más difícil conservar los alimentos durante periodos de tiempo prolongados por los medios conocidos, más o menos naturales. Con los años, la sociedad humana se ha ido haciendo cada vez más urbana, con una mayor densidad de población en determinados lugares, circunstancias que plantean problemas no sólo de producción, sino también de conservación y distribución de alimentos.

De aquí que la necesaria industrialización de las fuentes alimenticias significara un cambio importante tanto en las aplicaciones de las metodologías de conservación de los alimentos, como en las posibilidades de uso para sus recursos alimenticios. El progreso de las ciencias experimentales y de la ingeniería contribuyó de modo favorable al desarrollo de planteamientos novedosos, que implicaban una serie de ventajas adicionales: proteger las características específicas de muchos alimentos; mantener sus propiedades sensoriales y nutritivas; garantizar su seguridad sanitaria; etc.

En este sentido, la conservación de los alimentos, de acuerdo con unas bases científicas y tecnológicas apropiadas, tuvo su comienzo a principios del siglo XIX, cuando los avances tecnológicos permitieron la aplicación industrial de unos métodos de conservación que hasta el momento eran utilizados de manera doméstica o artesanal.

Ya en el siglo XVIII, aunque sólo fuera a nivel doméstico, se practicaba la conservación de frutas mediante tratamientos térmicos, aprovechada por el francés Appert para extender el procedimiento a otros alimentos, tales como verduras, leches, carnes, etc. Sin embargo, hasta la aparición a mediados del siglo XIX de los trabajos de Pasteur, no se desarrollaron los verdaderos tratamientos térmicos industrializados. Los métodos conocidos como pasteurización y esterilización de alimentos supusieron una verdadera revolución técnica dentro de la historia de la conservación de los alimentos, tan importante como pudo ser el hallazgo en la prehistoria de las aplicaciones culinarias del fuego.

Lo mismo cabe decir de la aplicación de las bajas temperaturas a la conservación de los productos alimenticios, ocurrida por la misma época. Durante siglos se habían empleado recintos y arcones aislados herméticamente y enfriados con hielo para conservar carnes, leches y pescados. El descubrimiento de las mezclas refrigerantes marcó un hito en el uso del frío por la industria alimentaria al poder disponer de lo que se conoce como *frío artificial*.

No obstante, la primera máquina frigorífica no aparece hasta 1755, aunque hubo que esperar más de un siglo para su perfección tecnológica en 1875. Actuando por separado a mediados del siglo XIX, los ingenieros Carre y Tellier diseñaron una máquina para hacer hielo, cuya instalación en los barcos permitió disponer de unos grandes espacios frigoríficos con los que se pudo trasladar alimentos congelados de unos países a otros a través de mares y océanos.

Las reticencias acerca de su calidad con que en un principio fueron recibidos los alimentos congelados, pudieron ser superadas cuando en 1929 el británico Birdeye

Tabla 19.1

Esquema histórico de los métodos de conservación de alimentos

Tiempos primitivos	Sal común, humo, sol.
Antiguo Egipto	Vinagre, aceite, miel.
Antigua Roma	SO ₂ al vino.
Anterior al siglo XV	Empleo del adobo.
Siglo XVIII	Empleo del bórax. Appertización.
Siglo XIX	Aplicación de sulfitos a carnes. Descubrimiento de la actividad antimicrobiana de varios ácidos orgánicos (bórico, fórmico, salicílico, benzoico).
Siglo XX (1. ^a mitad)	Ácidos sórbico, p-cloro-benzoico, p-hidroxibenzoico, dehidroacético.
Siglo XX (2. ^a mitad)	Congelación de alimentos. Uso de nuevas sustancias conservantes.

observó cómo en la época del deshielo, los esquimales de la península del Labrador recuperaban intactas las piezas de carne y pescado, que habían guardado congeladas en las épocas de los grandes fríos. Comprobó que la causa de este hecho tan favorable radicaba en la rápida congelación experimentada por los productos de sus capturas al ser sometidos a temperaturas muy bajas.

La perfección de esta metodología ha permitido que los supermercados se abastezcan hoy día de una cierta abundancia de productos alimenticios ultracongelados, así como ha facultado la mejora de la distribución de los platos cocinados en los sistemas de restauración colectiva. Incluso la congelación de los alimentos en el hogar resulta una práctica bastante corriente.

La Tabla 19.1 ofrece un breve resumen del desarrollo histórico de la conservación de alimentos.

Principios generales sobre conservación de alimentos

Los procesos de conservación de alimentos, aplicados hoy día en el ámbito de la industria alimentaria, tienen como objetivo principal evitar el deterioro de la calidad de los alimentos elaborados durante los necesarios periodos de almacenamiento. Esta calidad se suele valorar en términos nutricionales, sensoriales y de seguridad o salud pública.

En la práctica, cuando una materia prima alimenticia, más o menos perecedera, no puede ser utilizada de inmediato necesita de un tratamiento adecuado para evitar el riesgo de sufrir alteraciones físicas, químicas o biológicas. Cada uno de estos procesos pueden originar en el alimento modificaciones que, la mayoría de las veces, se traducen en unos efectos nocivos.

El control de estas alteraciones se basa en la aplicación de unos principios generales fundamentales. En el caso de alimentos almacenados durante cortos periodos de tiempo puede bastar con una simple refrigeración hasta su consumo, que siempre debe hacerse lo antes posible. Sin embargo, la necesidad más frecuente implica almacenamientos prolongados y entonces se requieren algunas otras cautelas, relacionadas con el control de tres grupos de factores: ambientales, la humedad, la luz, la ventilación, el embalaje, etc.; biológicas, el desarrollo de microorganismos; bioquímicos, la actividad de los sistemas enzimáticos.

En consecuencia, cuando sea necesario el almacenado de tales productos se deben poner los medios adecuados para evitar el desarrollo microbiano, impedir la actividad enzimática o prevenir la desecación. Es decir, resulta necesario aplicar aquellas técnicas que permitan una conservación eficaz y duradera del alimento, capaz de garantizar todas aquellas propiedades que definen su calidad en los ámbitos nutritivo, sensorial y sanitario.

La eficacia de estos métodos tiene como fundamento favorecer las actuaciones que controlan las diversas causas provocadoras de alteraciones en el alimento:

- a) Cuidado de las condiciones ambientales: temperatura del almacenado y la humedad relativa de su ambiente.
- b) Paralización o retraso de las reacciones que llevan a la alteración:
 - Destruyendo, o inactivando, las enzimas alimenticias.
 - Previniendo algún tipo específico de reacción alterantes, como la oxidación de las grasas.
- c) Prevención o frenado de la proliferación de los microorganismos, que se puede conseguir de dos maneras:
 - Eliminando los gérmenes existentes.
 - Obstaculizando su crecimiento.

Las mejoras experimentadas por los medios disponibles por la industria alimentaria han supuesto profundos cambios en los métodos que se aplican a la conservación de los alimentos. Asimismo, las variaciones introducidas en las técnicas clásicas o la introducción de las denominadas nuevas tecnologías, ha hecho que, de una parte, progrese la elaboración industrial de alimentos y, de otra, se haya incrementado la variedad de aquellos que pueden ser utilizados durante cualquier época del año. De este modo, han podido ser superados los inconvenientes vinculados al carácter estacional de la producción de muchas materias primas alimenticias.

Igualmente, los avances de las ciencias experimentales han permitido aclarar muchos aspectos importantes relacionados con la conservación de los alimentos, de modo particular el papel desempeñado por cada compuesto químico en la estabilidad, así como las causas de las alteraciones y las posibilidades de control de las mismas.

De este modo, la actual industria alimentaria dispone de procesos tecnológicos de conservación, que se basan en los más diversos mecanismos de actuación:

- Aplicación del frío, desde refrigeración hasta congelación, para frenar la actividad enzimática o el crecimiento microbiano.
- Aplicación de temperaturas relativamente elevadas, con todas sus variantes tecnológicas de pasteurización o esterilización, para destruir microorganismos.

- La deshidratación, con sus múltiples variantes, para reducir la disponibilidad del agua del alimento.
- El aumento de la presión osmótica por la adición de sal o de azúcar para afectar las membranas de las células microbianas.
- Las consecuencias favorables de una fermentación láctica.
- La aplicación de radiaciones ionizantes, para destruir microorganismos.
- Etcétera.

En la práctica, la optimización de la buena estabilidad de las materias alimenticias pasa por elegir aquella metodología que permita ejercer un riguroso control sobre la población microbiana: reducir el número inicial de microorganismos y evitar o impedir, el desarrollo de los mismos.

Para conseguir la reducción de la carga inicial basta con extremar, desde un principio, la higiene en todas las manipulaciones. En cambio, para luchar contra el desarrollo de los microorganismos existe la alternativa de escoger entre dos tipos de actuaciones diferentes:

1. Proporcionar al alimento los medios suficientes para resistir el ataque de los microorganismos, que puede realizarse de acuerdo con dos modos de proceder:
 - Acudir a la presencia de sustancias nocivas para la vida del microorganismo o a la acción nociva de las radiaciones ionizantes.
 - Mediante reducción del agua disponible, bien por una conversión en cristales de hielo o porque parte de ella sea eliminada mediante evaporación.
2. Colocar al alimento en un ambiente que sea desfavorable para la proliferación microbiana, como pueden ser las bajas temperaturas o las atmósferas controladas.

Aparte de los microorganismos, la segunda causa importante de alteración de los alimentos almacenados resulta ser la actividad enzimática, residuo del metabolismo celular, tanto animal como vegetal. Los diversos métodos que se aplican para controlar la proliferación de los microorganismos, también suelen resultar efectivos contra el desarrollo de las reacciones químicas o para inhibir las actividades enzimáticas.

Sin embargo, algunos métodos, tales como la acción del frío o de la desecación, pueden permitir que las alteraciones químicas continúen a ritmo lento, a no ser que se adopten especiales precauciones. Por ello, la mayoría de las hortalizas deben ser sometidas a procesos de escaldado antes de ser congeladas, para que se inactiven todos sus sistemas enzimáticos.

Principales tecnologías de conservación de alimentos

En los momentos actuales, la conservación de alimentos en los países del mundo occidental ha alcanzado un gran índice de desarrollo. En su sentido más

amplio, el concepto *conservación de los alimentos* comprende todo el conjunto de medidas que se adoptan para evitar el deterioro de su calidad y garantizar, de este modo, la estabilidad de un alimento durante todo el periodo que dura su vida comercial, es decir, desde su producción artesanal o industrial hasta el momento de su consumo. Dichas medidas tratan de impedir algunas de las causas que pueden alterar el alimento: lesiones de tipo físico, reacciones de oxidación, actividades enzimáticas y proliferación microbiana. De todas ellas, son estas últimas las que más afectan de modo negativo a la industria alimentaria, hasta el punto que se aplican tres posibles mecanismos de lucha o prevención contra la presencia de microorganismos en los alimentos: destrucción, efecto barrera, eliminación, que han dado lugar a los métodos de conservación más diversos (Tabla 19.2).

Desde los tiempos más remotos, las medidas orientadas a la buena conservación de los alimentos durante su almacenamiento más o menos prolongado corresponden a dos grupos de metodologías basadas en fundamentos diferentes:

a) *Métodos de fundamento físico*

Son métodos que, por lo general, se apoyan unas veces en los efectos de las temperaturas, bajas (*refrigeración, ultracongelación*) o elevadas (*pasteurización, enlatado, esterilización*), mientras que en otras buscan las consecuencias de una reducción en la disponibilidad del agua, valorada en términos de actividad de agua (*dsecación, deshidratación, liofilización, concentración*). De más reciente implantación, algunas de ellas todavía en fase experimental, son las *nuevas tecnologías* que se apoyan en fundamentos bien diversos, tales como la aplicación de radiaciones ionizantes (*irradiación*), presiones elevadas (*presurización*), y otros efectos físicos, todavía sin nombre propio para el tratamiento de los alimentos: campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, campos magnéticos oscilantes, pulsos luminosos, etc.

Tabla 19.2

Actuales métodos de conservación frente a la alteración microbiana de los alimento

-
1. *Conservación por destrucción*
 - Por el calor: Pasteurización y esterilización.
 - Por radiaciones ionizantes: Irradiación.
 - Por acción mecánica: Altas presiones.
 - Por combinación de acción mecánica y calor: Cocción- extrusión.
 - Por acción química: Agentes conservantes.
 2. *Conservación por efecto barrera*
 - Por bajas temperaturas: Refrigeración, ultracongelación.
 - Por atmósferas controladas: Vacío, mezcla de gases.
 - Por reducción de la cantidad de agua: Dsecación, liofilización, concentración.
 - Por acción química: Salazón, salmuera, encurtido, fermentación.
 3. *Conservación por eliminación*
 - Por separación física: Ultrafiltración.
-

La acción conservadora de las bajas temperaturas sobre los alimentos fue conocida y utilizada desde los tiempos más remotos en los países de climatología muy fría. Cuando los avances tecnológicos permitieron obtener hielo de modo artificial, la técnica se pudo extender a cualquier país y aplicarse de un modo rutinario y convencional. Limitada en sus inicios a carnes y pescados, después se extendió a verduras y frutas, para alcanzar en los momentos actuales también a los platos cocinados.

Aunque la mayoría de las bacterias, levaduras y hongos crecen dentro del rango de temperatura situado entre 15 y 40 °C y su proliferación se retrasa con las temperaturas de frío, incluidas las de congelación, sin embargo hay que tener en cuenta que el frío sólo mata una fracción de la población microbiana. Por tanto, cuando el alimento se descongela, o en todo caso se saca del ambiente refrigerado, todavía puede contener una cierta carga microbiana superviviente con capacidad para efectuar un rápido desarrollo en cuanto las condiciones ambientales les sean favorables.

El tratamiento térmico puede también destruir de modo parcial la población microbiana, siempre en función de tres factores: nivel de temperatura alcanzado, tiempo de tratamiento recibido y condiciones químicas ambientales. En ocasiones, la industria emplea el calor de tal manera que sólo resulta suficiente para matar a los microorganismos patógenos, pero no llega a destruir a la población de los alterantes y por ello redunda en una vida útil del producto bastante limitada. La causa de estas limitaciones radica en los posibles efectos negativos del tratamiento térmico sobre los componentes químicos de los alimentos, aparte su nocividad para la población microbiana.

Así, por ejemplo, el tratamiento necesario para alcanzar una cierta reducción en la carga microbiana, o una esterilización, en muchos alimentos caracterizados por su elevado contenido en proteínas, puede implicar daños en la conformación de la molécula proteica, en sus propiedades físicas de solubilidad (con posible riesgo de coagulación), en pérdidas de propiedades inmunológicas o en una reducción de su valor nutritivo. Igualmente, los efectos del calor pueden perjudicar a los alimentos ricos en lípidos con ácidos grasos insaturados, al provocar enranciamientos que también pueden significar pérdidas de algunas vitaminas.

La desecación conseguida mediante pérdida de gran parte del contenido acuoso del alimento, también representa un impedimento para la proliferación microbiana, porque todos ellos necesitan del agua disponible para crecer, puesto que sus células sanas contienen alrededor de un 80 % de agua, que han de tomarla del alimento. Por consiguiente, el valor de la actividad de agua se puede usar como un parámetro orientador para efectuar un control de la alteración de origen microbiano.

La necesidad de mejorar la calidad de los alimentos obtenidos por los procesos industriales de deshidratación condujo a una nueva tecnología, conocida como liofilización, que participa de la ultracongelación y de la sublimación, y que cada vez alcanza un mayor número de aplicaciones, a pesar del costo elevado de sus instalaciones.

En la actualidad, todos estos métodos permiten la comercialización de una amplia gama de productos: refrigerados, congelados, pasteurizados, conservas, esterilizados, desecados, liofilizados, etc., gama que poco a poco se va ampliando con los alimentos irradiados, aunque esta metodología todavía provoque ciertas reticencias en los consumidores.

El uso de radiaciones obtenidas a partir de isótopos radioactivos, o mediante los

aceleradores de electrones, que no tienen necesidad del uso de calor lleva a lo que se conoce con el nombre de *esterilización fría*. Los microorganismos son inactivados en diversos grados por los diferentes tipos de radiaciones que se pueden usar para estos efectos: rayos X, microondas, ultravioleta y radiaciones ionizantes. La eficacia del tratamiento difiere de unos a otros, además de implicar cambios diferentes en la composición química del alimento irradiado. Desde luego, una aplicación intensa de radiaciones puede dar lugar a la formación de radicales libres muy reactivos, que son la base de posteriores reacciones alterantes.

b) *Métodos de fundamento químico*

Se basan en los efectos de ciertas estructuras químicas, que unas veces actúan como agentes conservadores al reducir la disponibilidad del agua al fijar de modo fuerte sus moléculas y bajar su actividad (a_w); mientras que otras, desempeñan una función frenadora del desarrollo de los microorganismos, o incluso pueden llegar a provocar su destrucción. Entre los primeros caben citar el cloruro sódico y el azúcar, mientras que entre los segundos se encuentran el ácido sórbico y el dióxido de azufre.

Por efectos osmóticos, los microorganismos no resisten un medio que contenga cierta concentración de sal común o de azúcar. Asimismo, el humo contiene sustancias bactericidas, con una actividad semejante a las de muchas sustancias orgánicas, generalmente ácidos, que se emplean como aditivos conservadores.

Un grado de acidez suficientemente fuerte modifica las proteínas bacterianas y las desnaturaliza, al igual que ocurre con las proteínas alimenticias. Con ello, la célula se desestabiliza y muere o no se reproduce. No obstante, el grado de acidez tolerable en un alimento, desde el punto de vista de su palatabilidad, nunca debe ser tomado como una referencia que sirva de criterio suficiente para asegurar la esterilidad del alimento.

En la actualidad resulta frecuente que la industria alimentaria combine el empleo de métodos físicos con los químicos:

— *Combinación del empleo de sustancias conservadoras con la aplicación del calor.* Así, en presencia de conservadores las temperaturas elevadas destruyen los microorganismos con una mayor rapidez, porque estas sustancias reducen los valores del binomio temperatura/tiempo necesarios para su destrucción. No obstante, esta disminución resulta bastante pequeña para modificar las condiciones tecnológicas requeridas para la pasteurización o para la esterilización.

— *Combinación del empleo de sustancias conservadoras con la aplicación de frío.* De este modo, los productos alimenticios precisan de menores concentraciones de aditivos conservadores para evitar la alteración cuando se almacenan bajo refrigeración, que a la temperatura ambiente.

— *Combinación del uso de radiaciones con el empleo de sustancias conservadoras.* Para evitar los efectos secundarios de las radiaciones sobre los componentes de los alimentos es preciso aplicar los niveles más bajo posibles, aunque siempre hay que alcanzar lo justo para una letalidad de los microorganismos. Se ha comprobado la existencia de un cierto sinergismo entre la actividad de las radiaciones y la presencia de algunos aditivos conservadores, como ocurre en el caso de zumos de frutas con el ácido sórbico y las acción antimicrobiana de las radiaciones ultravioletas, o en el caso de pescados con la furilfuramida.

Dentro de la ineludible necesidad de aplicar métodos de conservación que eviten o prevengan de alteraciones a los alimentos que han de ser almacenados, siempre hay que sopesar la posibilidad de que cada una de estas medidas preventivas puedan a su vez ser causa de otras alteraciones, sobre todo si no se aplican bajo las estrictas normas establecidas para cada caso.

Cuando no se cumplen estas cautelas, puede verse afectada de modo notable la calidad nutricional, o cuando menos se modifican las características sensoriales específicas del alimento, con perjuicio de la contribución de nutrientes a la dieta o de la aceptación por parte del consumidor.

Conservación por aplicación de bajas temperaturas

- Introducción.
- La producción de frío y sistemas de enfriamiento.
- La refrigeración como sistema de conservación de alimentos.
- La ultracongelación como sistema de conservación de alimentos

Introducción

Muchas veces se hace referencia al concepto de conservación de alimentos por el frío cuando resulta más correcto hablar de empleo de bajas temperaturas, porque los conceptos *de frío y caliente* se refieren siempre a las diferencias entre las temperaturas de dos cuerpos en contacto, un parámetro cuya magnitud se determina de acuerdo con una escala numérica.

En la práctica, la temperatura de un cuerpo es un concepto muy difícil de definir, porque constituye un concepto básico que no se puede expresar en términos de las tres dimensiones fundamentales: espacio, masa, tiempo. Y al igual que estas tres dimensiones, la temperatura se mide en términos de sí misma, con unidades arbitrarias recogidas en la escala graduada de un termómetro.

Por ello, los conceptos de *caliente* o *de frío* son términos puramente relativos, pues estará caliente todo aquello que tenga una temperatura superior a la de cualquier otro objeto con el que se compare, mientras que se considerará frío si su temperatura resulta inferior. Desde un punto de vista físico, toda temperatura que se encuentra por encima del cero absoluto se puede considerar caliente. La tecnología alimentaria de conservación por el frío se basa en que dos cuerpos en contacto tienden a igualar su temperatura, pasando energía del más caliente al más frío. Es decir, la reducción de temperatura de un alimento se puede conseguir poniéndolo en contacto con sistemas más fríos, que permitan absorber parte del calor contenido en el alimento.

Como se ha visto con anterioridad, tanto las enzimas como los microorganismos que son capaces de alterar un alimento con el tiempo, presentan actividades cuya intensidad es una función de la temperatura a la que se encuentre el alimento.

Precisamente, el uso de frío para la conservación de los alimentos, que se remonta a los tiempos más antiguos, tiene como fundamento los efectos de las bajas temperaturas, tanto sobre la inhibición del desarrollo de microorganismos, como sobre la cinética de las reacciones químicas y enzimáticas, que reducen de modo considerable su velocidad. Según el coeficiente de Vant'Hoff, la velocidad de una reacción se aminora unas dos veces por cada diez grados que se reduzca la temperatura.

En la práctica de la conservación de alimentos se manejan diversos conceptos aplicados a las temperaturas de almacenamiento de los productos alimenticios:

- *Temperaturas frescas.* Comprende la zona térmica entre los 15 y los 10 °C, adecuada para el almacenado de ciertas frutas y hortalizas.
- *Temperaturas de refrigeración.* Abarca la zona térmica que va desde los 6 °C hasta los -1 °C, apropiada para almacenar una gran cantidad de alimentos más o menos perecederos.
- *Temperaturas de congelación.* Siempre situada por debajo del punto de congelación del agua de los alimentos. Para almacenar los productos congelados, las cámaras deben estar por lo menos a -18 °C y, a veces, más frías.

Las temperaturas inferiores a los 6 °C reducen, o impiden, el desarrollo de los microorganismos patógenos, con la excepción de dos importantes: la *histeria monocytogenes* y, sobre todo, el *Clostridium botulinum* tipo E, capaz de crecer hasta los 3,3 °C. Además de este efecto beneficioso, retrasan de un modo eficaz el crecimiento de la mayor parte de los que son capaces de provocar alteraciones en los alimentos.

En la zona térmica que corresponde a la congelación todavía se pueden encontrar escasos microorganismos capaces de un posible desarrollo, aunque siempre a un ritmo extremadamente lento. De acuerdo con la bibliografía, la temperatura más baja detectada para el crecimiento de alguna bacteria es de -18 °C, aunque ha sido señalado el caso de una levadura que creció a -34 °C.

La aplicación de bajas temperaturas a la conservación de alimentos ofrece dos posibilidades bien diferentes, en función de lo que se pretenda conseguir con una utilización racional del frío y siempre de acuerdo con la rentabilidad del proceso:

- a) *La refrigeración.* Tecnología de conservación a corto plazo, basada en el poder estabilizador del frío frente a las reacciones enzimáticas y al desarrollo microbiano. El alimento debe ser mantenido a temperaturas positivas, pero próximas a 0 °C; la duración de su vida útil dependerá tanto de la naturaleza del alimento, como del envase que le proteja.
- b) *La ultracongelación.* Conservación a largo plazo mediante conversión del agua del alimento en hielo con gran rapidez y almacenado a temperaturas de -18 °C, o inferiores.

Hay que tener en cuenta que no existe la esterilización de los alimentos por causa del frío, pues nunca se llega a la destrucción total de la población microbiana presente, sino solamente de un pequeño porcentaje de ella. Por tanto, pueden

proliferar cuando el alimento se sitúe bajo unas condiciones de temperatura adecuadas para ello.

De aquí que cualquiera que sea el método de conservación por el frío aplicado, siempre deben ser cumplidas las tres premisas, que el francés Monvoisin denominó *trípode frigorífico*:

1. *Partir de un alimento sano*. Sólo debe someterse a los efectos conservadores del frío productos de buena calidad microbiológica, porque el frío nunca mejora la calidad de la materia prima. Ello exige respetar las normas de higiene en instalaciones, almacenes y manipulación, así como un control eficaz de la salubridad.

2. *Aplicar el frío de modo inmediato a obtención la materia prima*. No se puede dar opción a una posible proliferación de la población microbiana por un retraso en rebajar la temperatura de los productos cosechados o elaborados.

3. *No interrumpir la cadena del frío*. El frío debe tener una aplicación continuada desde la obtención del producto hasta su llegada al frigorífico doméstico, pasando por el almacenamiento, transporte en vehículos frigoríficos y comercialización.

La producción de frío y sistemas de enfriamiento

La industria alimentaria obtiene bajas temperaturas en sus instalaciones frigoríficas mediante dos tipos de sistemas de producción de frío:

Sistema mecánico, basado en el uso de máquinas frigoríficas, que la mayoría de las veces funcionan por compresión de un vapor, y se basan en un fenómeno bien concreto: toda sustancia en estado líquido necesita recibir calor de su entorno para poder pasar al estado de vapor. En las máquinas frigoríficas se hace pasar un fluido líquido (*frigorígeno*) a través de un cambiador de calor (*evaporador*) para que pase a vapor a una temperatura determinada. Este fluido tomará calor del medio, que en consecuencia reducirá su temperatura.

El frigorígeno debe ser elegido de tal modo que su temperatura de vaporización se encuentre situada unos grados inferior a la que se desee conseguir en la cámara frigorífica; para lograr su recuperación se dispone de un compresor y de una válvula de expansión. De este modo, se logra que una parte del vapor formado vuelva a pasar al estado líquido con la presión necesaria para continuar su trabajo en el evaporador. Cuando se requieren temperaturas muy bajas, propias de un proceso de congelación, se recurre a la programación de varios ciclos sucesivos de compresiones múltiples.

Sistema criogénico, que se basan en el empleo de líquidos que se vaporizan, o de sólidos que subliman, en un sistema abierto que permite pasar a la atmósfera el vapor originado. Es decir, no se trata de un circuito cerrado, como ocurre en los sistemas mecánicos anteriormente estudiados.

Las sustancias criogénicas más frecuentes son nitrógeno y dióxido de carbono líquidos, así como la denominada nieve carbónica (CO₂ sólido), porque cumplen de

modo adecuado las condiciones requeridas a los frigorígenos usados en los sistemas criogénicos:

- Que su liberación en la atmósfera no represente un riesgo de contaminación del medio ambiente, ni para la salud del usuario.
- Que a la presión atmosférica hierva, o sublime, a una temperatura lo suficientemente baja para que garantice el salto térmico necesitado para alcanzar las condiciones de refrigeración o de congelación.
- Que su costo permita la rentabilidad económica del proceso.

A pesar de ser un gas inerte, el nitrógeno no resulta el frigorígeno más adecuado cuando se trata de enfriar productos alimenticios con una cierta vida biológica, porque se produce un ambiente de anaerobiosis, que puede conducir a deterioros irreversibles en los productos refrigerados.

La producción de frío por sistemas mecánicos o criogénicos, no tienen por qué ser competidores en todas las ocasiones que se plantean. Incluso pueden existir casos en los que sea beneficioso aprovechar las ventajas de su combinación, es decir, el costo más reducido de los sistemas mecánicos, con la rapidez y mayor capacidad térmica de los sistemas criogénicos.

Aparte de los sistemas de producción de frío caben considerar también los sistemas de enfriamiento. Se trata de aquellos sistemas aplicados para conseguir la refrigeración de un alimento, introducido en una cámara o recinto. Para ello cabe elegir entre dos tipos de medios, ambos capaces de transferir a otro ambiente el calor contenido en el alimento: aire frío o agua fría.

De todos los empleados, el uso del aire como medio de transferencia de calor (y de frío) representa el sistema de enfriamiento más corriente. El calor del alimento se transfiere desde su superficie hasta el aire, a través de lo que se conoce como *capa límite* o película de aire que rodea al alimento, que representa un coeficiente específico de transmisión de calor o *coeficiente de película*. Para conseguir una mayor homogenización de la temperatura y concentración de gases en el ambiente de las cámaras, éstas suelen disponer de un dispositivo que fuerce la velocidad de circulación del aire. Desde luego, no resulta el sistema más aconsejable cuando se necesita de una refrigeración rápida, que se consigue mejor con túneles de enfriamiento, en los que las altas velocidades de circulación de aire incrementa muchísimo los coeficientes de película y acorta, por consiguiente, el tiempo de duración del proceso.

También se emplea el agua, medio en el cual el calor del alimento se disipa por mecanismos de convección forzada, a través de la película de agua que rodea la superficie del alimento. El contacto del alimento con el agua puede ocurrir por dos procedimientos diferentes: en forma de lluvia o por inmersión. Representa un sistema de enfriamiento que exige una gran potencia frigorífica, pero es el que consigue mejores coeficientes de película y produce un enfriamiento más rápido, sin el riesgo de pérdidas de peso por desecación. En cambio, sí tiene el riesgo de ser una fuente posible de contaminación microbiana.

Tanto si se emplea aire como si se utiliza agua, interviene la combinación de dos mecanismos de transferencia de calor cuando se trata del enfriamiento de alimentos sólidos:

- Mecanismos de *conducción*, que lleva el calor desde el interior del alimento hasta su superficie.

- Mecanismos de *convección*, que transmite el calor desde la superficie del alimento hasta su entorno.

En este proceso existen unos factores intrínsecos, propios del producto alimenticio y otros factores extrínsecos, vinculados al medio refrigerador, que afectan a uno u otro mecanismo.

Entre los primeros existen factores sobre los que no es posible actuar, por depender exclusivamente de la naturaleza química del alimento: la conductividad térmica y el calor específico; y otros que son manipulables, como la forma y dimensiones del producto, definidores de su comportamiento aerodinámico e inciden sobre el coeficiente de película o zona estática que rodea al alimento. Entre los segundos cabe resaltar tanto el medio de enfriamiento como la temperatura del medio.

La refrigeración como sistema de conservación de alimentos

La *refrigeración* es un proceso de conservación de alimentos mediante la aplicación de bajas temperaturas hasta un nivel suficiente para que todas las partículas del producto se encuentren ligeramente por encima del punto de congelación del agua, sin dar lugar a fenómenos alterantes. En todo tipo de alimento caben distinguir tres valores térmicos, que tienen interés desde el punto de vista de la aplicación de métodos de conservación por frío: las zonas de temperatura de refrigeración, la temperatura crítica y la temperatura de congelación a la cual el agua se transforma en cristales de hielo.

$$t_{\text{refrigeración}} > t_{\text{crítica}} > t_{\text{congelación}}$$

Se entiende como *temperatura crítica* aquella por debajo de la cual comienzan los trastornos fisiológicos y significa un parámetro que depende de la naturaleza de cada producto. Para evitar tales desórdenes, en la refrigeración se han de aplicar temperaturas superiores a la crítica, específicas de cada producto alimenticio. Así, por ejemplo, tomates, plátanos y frutas tropicales no soportan temperaturas inferiores a los 13 °C y por ello suelen ser refrigerados dentro de este nivel de temperatura.

Normalmente se aplica como un método básico de conservación, pero también se puede emplear como método previo, o al menos complementario, de otros métodos de conservación. La mayor parte de los alimentos perecederos y alterables, tales como carnes, pescados, huevos, productos lácteos, hortalizas y frutas, se pueden conservar bajo refrigeración, pero dentro de un tiempo bastante limitado. Por lo general, no sobrepasa unas pocas semanas, siempre que las condiciones de temperatura, humedad relativa y circulación de aire sean las adecuadas para la naturaleza y cantidad del producto a refrigerar.

Todo proceso de refrigeración se caracteriza por tres factores que van a ser determinantes del *tiempo* en el cual el alimento alcanza la temperatura adecuada.

Por tanto, son factores íntimamente relacionados con los requisitos a exigir a las instalaciones tecnológicas para que sean más ventajosas:

- Factores que son propios de la naturaleza del producto, como puede ser el calor específico.
- Factores que dependen del lote a refrigerar, como el volumen y la forma.
- Factores que dependen del medio de enfriamiento, elegido como más conveniente.

De acuerdo con todos estos factores hay que estudiar cuál debe ser la temperatura más adecuada y determinar la velocidad del proceso en función de todos los datos anteriores.

En la práctica, para cada alimento, lote e instalación existe un parámetro *constante*, de gran transcendencia práctica, denominado *tiempo de semienfriamiento*. Se llama así al periodo de tiempo en cuyo transcurso la temperatura del alimento pasa a ser la mitad. Su representación gráfica corresponde a una curva exponencial (Fig. 20.1): para reducir a la mitad la temperatura de un alimento se necesita el doble de tiempo de refrigeración, es decir, si a las 6 horas se alcanzan los 14 °C, a las 12 horas se tendrá 7 °C y a las 24 horas la temperatura será de 3,5 °C.

Aunque el alimento alcance una temperatura tan baja como para que se paralice el desarrollo de la mayor parte de los microorganismos, sin embargo las células tisulares de productos animales y vegetales continúan vivas, aunque tengan un metabolismo menos intenso. De aquí, que la refrigeración sólo frena, pero no para la velocidad de las reacciones químicas y enzimáticas, cuyas actividades pueden alterar el alimento durante almacenamientos prolongados.

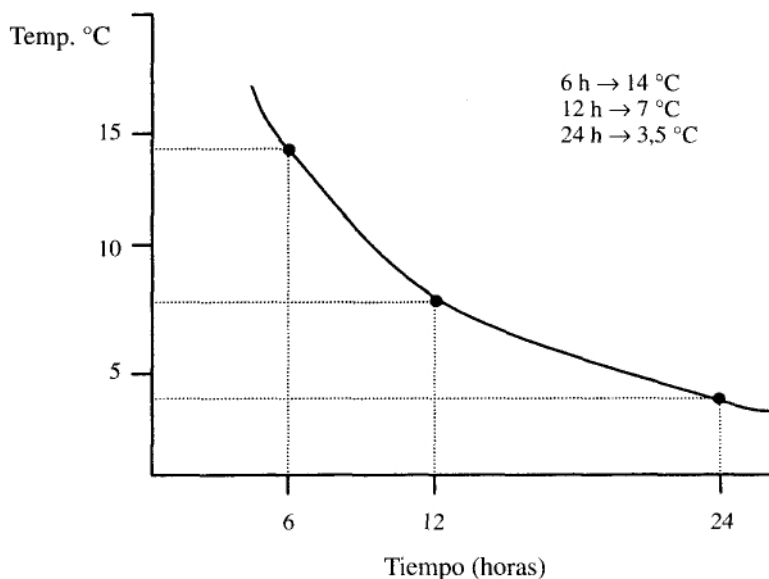


Figura 20.1. Evolución de la temperatura de un alimento con el tiempo de actuación de un sistema de refrigeración.

Representa el método más suave aplicado a la conservación de los alimentos y por ello apenas provoca efectos adversos sobre las atributos principales de los mismos: textura, sabor, flavor y valor nutritivo, siempre que se observen unas reglas simples y los periodos de almacenamiento no sean dilatados.

Aplicada durante tiempo inmemorial, la refrigeración ha influido de modo notable en el aprovechamiento de los recursos proporcionados por los cultivos vegetales, porque ha evitado una dependencia de la estacionalidad de la producción agrícola por parte de la industria alimentaria y su subordinación a las variaciones climatológicas. En la actualidad, ha alcanzado un amplio desarrollo precisamente porque los alimentos refrigerados suelen mantener unas cualidades similares a la de los alimentos frescos.

Condiciones exigidas a las cámaras de refrigeración

Como se ha indicado anteriormente, al proceder de materiales vivos de origen animal o vegetal, los alimentos pueden mantener en activo durante bastante tiempo gran parte de sus sistemas enzimáticos; incluso, después de recolectadas, las verduras y las frutas continúan con sus procesos metabólicos de respiración. Por ello, para limitar el deterioro de los alimentos perecederos se recomienda que sean refrigerados de modo inmediato, una vez que hayan sido recolectados u obtenidos mediante sacrificio animal.

Pero el concepto de enfriamiento rápido significa que al producto, además de ser sometido a una refrigeración inmediata, también se le ha de retirar enseguida gran parte de su energía calorífica. En consecuencia, para conservar sin alteraciones los alimentos considerados frescos, se debe reducir su temperatura hasta unos niveles que retrasen de modo significativo la actividad enzimática. Para conseguir un enfriamiento adecuado de estos alimentos es preciso contrarrestar mediante frío los diversos tipos de calor implicados en la temperatura de los mismos: calor de respiración, calor del producto, calor generado por el sistema, etc.

La experiencia ha demostrado que, para mantener en perfecto estado sus propiedades de frescura, cada alimento presenta unos requerimientos específicos de temperatura y de humedad relativa. Para conseguirlo, es necesario que las cámaras refrigeradoras cumplan con una serie de requisitos, o de factores tecnológicos, para que el alimento conserve de modo eficiente todas sus propiedades durante el almacenado: *a)* regulación de la temperatura; *b)* control de la circulación del aire; *c)* control de la humedad relativa; *d)* composición de la atmósfera.

a) Regulación de la temperatura

Las instalaciones deben estar diseñadas de tal manera que proporcionen una suficiente capacidad refrigeradora en función de la *carga de refrigeración* o cantidad de calor que haya de ser eliminada. Desde luego, cuanto más baja sea la temperatura de almacenamiento mayor será el costo de las instalaciones. Por ello, conviene que cada temperatura sea seleccionada de acuerdo con la naturaleza del alimento y las condiciones de almacenado.

En la práctica, estas temperaturas pueden oscilar desde 10-12 °C, adecuadas para verduras y frutas sensibles al frío, hasta 0-2 °C convenientes para carnes y pescados.

El diseño de las instalaciones debe ser tal, que con su funcionamiento suministren una capacidad de refrigeración suficiente para mantener el ambiente del almacén a la temperatura de frío elegida, con sólo una variación de ± 1 °C. Para lograr el diseño adecuado no sólo es preciso conocer la naturaleza del alimento, sino también el volumen del mismo a conservar, así como todos los factores que pueden generar calor.

No hay que olvidar que los productos vegetales mantienen su respiración y producen calor a velocidades diferentes según las condiciones ambientales. Por eso, aquellos alimentos que poseen velocidades de respiración bastante elevadas, como espinacas y guisantes verdes, resultan muy difícil de almacenar bajo refrigeración sin perjuicio de su calidad. En consecuencia, existen dos parámetros cuyo conocimiento resulta de gran trascendencia y por tanto requieren la debida atención que les corresponde: el calor específico del alimento y la velocidad de respiración.

b) *Control de la circulación del aire*

Un factor relevante de toda cámara de refrigeración es la velocidad a la que circula el aire dentro de la misma, parámetro que debe ser convenientemente controlado. Un apropiado movimiento de la masa de aire dentro de la cámara ayuda a separar el calor del alimento e influye, de una parte, en el ritmo de la desecación del producto almacenado y, de otra, en la posibilidad de eliminar olores y de evitar el desarrollo de típicos sabores a «viejo».

Cuando a la cámara no se le proporciona una ventilación, o renovación de aire adecuada, el ambiente se enriquece en vapor de agua desprendido y los microorganismos psicrófilos pueden alterar los productos en aquellas zonas donde la humedad resulta más elevada.

c) *Control de la humedad relativa*

El control de la humedad relativa (HR) del ambiente de la cámara de refrigeración es un factor importante, porque el aire no debe ser ni demasiado húmedo ni demasiado seco, pues en el primer caso puede condensar agua sobre el alimento y en el segundo puede ocasionar una desecación superficial del mismo. Hay que tener en cuenta que la HR óptima para el ambiente del almacén refrigerado es un parámetro que varía con el tipo de alimento almacenado. Hoy día se conocen las HR óptimas de muchos alimentos y lo normal son valores que oscilan entre el 80 y el 95 % de HR. Desde luego, cuando los tiempos de almacenado van a ser prolongados es muy conveniente proteger a los alimentos de una posible desecación mediante el conveniente envasado.

d) *Composición de la atmósfera*

La composición de la atmósfera del almacén refrigerado influye de modo importante en la estabilidad de los alimentos. Hasta hace pocos años, no se solía controlar la composición de este ambiente, pero en la actualidad se ha impuesto el almacenado bajo atmósferas controladas, de modo particular en el caso de algunas frutas y verduras, que implican tratamientos específicos de acuerdo con la finalidad que se pretenda:

- Para reducir la respiración vegetal y minimizar los cambios fisiológicos que le acompañan, se sustituye el oxígeno por el dióxido de carbono.

- Para controlar la velocidad de maduración se emplea gas etileno.
- Para inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos, se sustituye el aire por gases inertes o vacío, aunque para evitar el desarrollo de mohos se usan vapores difenilos.

Recientemente se practica el denominado *almacenado hipobárico*, es decir, un almacenado en el que la zona de frío se mantiene a presión reducida y humedad elevada. Con ello, se reduce la cantidad de aire presente y se impide la desecación con una humedad elevada. Esta metodología adquiere cada vez mayor interés, porque con la modificación del equilibrio gaseoso también se modifican las velocidades de alteración microbiana y enzimática.

Control de calidad en los alimentos refrigerados

De acuerdo con la definición dada en 1990 por el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Reino Unido, se llama *producto refrigerado* a «los alimentos perecederos que para prolongar el tiempo en el que mantienen sin alterarse sus buenas cualidades, se conservan a temperaturas por encima de -1°C y por debajo de 8°C ».

No obstante, bajo estas condiciones, en los alimentos refrigerados se continúan los cambios químicos y físicos, que ya le afectaban cuando frescos, aunque en menor medida. Durante su almacenado, los alimentos refrigerados pueden sufrir modificaciones en su textura, cambios en la coloración, oxidaciones en los lípidos, pérdidas de vitaminas, etc.

De aquí la necesidad de implantar algún sistema de control de la calidad. En la actualidad, se ha desarrollado uno de estos sistemas basado en los conceptos de *tolerada de tiempo-temperatura*. Se denomina *concepto TTT* (*Time, Temperature, Tolerance*) y viene a significar un índice del efecto de la actuación conjunta del binomio temperatura-tiempo en la vida media de estos alimentos. Una vez establecido un límite mínimo de calidad sensorial, se valora el tiempo que transcurre para que la reducción de la calidad en el alimento, a una temperatura dada, llegue hasta el nivel mínimo de referencia, que se considera equivalente al tiempo de conservación. Representando en abscisas la temperatura de trabajo y en ordenadas el tiempo de conservación (o de vida útil) en escala logarítmica, se obtienen para cada producto refrigerado las correspondientes curvas TTT.

En la práctica, hay que distinguir entre el significado de este *concepto TTT* para los productos inertes en los cuales se ha paralizado la vida celular, de aquellos otros que permanecen activos, tales como los vegetales, que continúan con los procesos propios de la respiración. Las diferencias en la duración de la vida útil entre unos y otros suele resultar bastante notable, con una acusada incidencia sobre la temperatura de refrigeración más adecuada.

Posteriormente, se ha puesto de manifiesto cómo el envasado constituye un factor importante en la estabilidad de los productos refrigerados. Entre otras cosas, durante su almacenado bajo refrigeración puede ocurrir un intercambio de sabores entre algunos tipos de alimentos: así ocurre con la leche y la mantequillas que absorben los componentes volátiles desprendidos de pescados o de frutas, o con los huevos que captan los correspondientes a las cebollas, etc.

Por consiguiente, se ha impuesto la necesidad de incorporar la incidencia del envasado al sistema de control de la calidad, apareciendo de este modo un nuevo sistema, que recibe el nombre de *concepto PPP (Product, Process, Packaging)*, referido a tres factores de gran relevancia: la naturaleza del producto, el sistema de procesado y las condiciones del envasado.

En este sentido, se ha comprobado que la naturaleza y la calidad de la materia prima desempeñan un papel decisivo en los niveles de calidad del producto refrigerado, tanto si se trata de productos de origen animal como de origen vegetal. No obstante, en los primeros, como las carnes, inciden varios factores: la especie animal, la alimentación recibida, las condiciones bajo las que se ha efectuado su sacrificio, etc. En cambio, para los segundos, como verduras y hortalizas, tienen importancia su vida biológica y la recolección.

A todo ello se unen los efectos de los distintos tipos de procesado que puede recibir cada alimento en particular. Sin embargo, cuando se trata de mantener la calidad en los alimentos refrigerados tienen extraordinaria importancia el sistema de envasado que se emplea, el material utilizado para ello y su historial durante el almacenamiento.

Aplicaciones del almacenado bajo refrigeración

Los alimentos que pueden experimentar algún grado de alteración a la temperatura ordinaria deben ser almacenados al menos bajo refrigeración, preferiblemente a su temperatura óptima. Sin embargo, existen alimentos que no admiten bien la refrigeración, como ocurre con el pan cuya velocidad de envejecimiento es más rápida a las temperaturas de refrigeración que a la ambiente; por eso, para conservarlos es necesario proceder a su congelación.

Cuando se trata de conservar alimentos que disponen de una cierta organización estructural, como es el caso de carnes y pescados (tejido muscular) o de las verduras y frutas (tejido vegetal), la aplicación de temperaturas de refrigeración persigue unos objetivos muy particulares y específicos.

Así, las carnes se pueden conservar hasta unos diez días bajo condiciones refrigeradas siempre que desde el momento del sacrificio del animal haya permanecido a la temperatura de 0 °C. Después del sacrificio, el tejido muscular se convierte en carne mediante una serie de reacciones bioquímicas exotérmicas. Por ello las canales, sometidas al oreo bajo refrigeración para que madure su carne, transfieren calor y vapor de agua al medio que les rodea. Esta vaporización implica una pérdida de peso, además de una desecación superficial, que conllevan decoloraciones que perjudican la calidad. El pescado, siempre más perecedero que las carnes, exige una conservación en las proximidades del 0 °C, porque el simple almacenado con hielo plantea problemas en su conservación debido a un considerable incremento de la cinética de sus reacciones bioquímicas, cuando se encuentra bajo condiciones de refrigeración poco intensas.

Por el contrario, en algunos alimentos de origen vegetal las temperaturas próximas al 0 °C pueden conducir a profundas alteraciones fisiológicas que, en algunos casos como las patatas, se conocen con el nombre de *enfermedades de conservación en frío*.

Cuando se trata de la conservación de frutas y hortalizas se pretende aminorar

al máximo posible la intensidad de varios procesos alterantes: respiración metabólica, pérdidas de peso por transpiración, producción de etileno, desarrollo de microorganismos, etc.

La respiración es el proceso metabólico principal de los productos alimenticios de origen vegetal y en su actividad produce agua, dióxido de carbono y calor. Pero la magnitud de este proceso bioquímico varía de unas especies a otras, aunque siempre en función de la temperatura de almacenamiento. Por esta razón, la refrigeración prolonga la vida útil de estos compuestos al frenar la intensidad respiratoria, sin que se provoquen daños tisulares.

También verduras y frutas experimentan el fenómeno de la transpiración como resultado de la migración del vapor de agua desde los espacios intercelulares hacia la superficie. Su principal consecuencia es la pérdida de peso que implica una pérdida de turgencia en la apariencia del producto. Para evitarlo habría que aumentar la humedad relativa de la cámara hasta un 97 %, porque 0,97 es el valor de la a_w que corresponde a estos productos. Sin embargo, este modo de operar exigiría reducir al máximo posible la temperatura de la cámara para controlar la proliferación de los microorganismos psicrófilos.

Asimismo, los productos vegetales producen una fitohormona en todos los tejidos de sus raíces, tallos, hojas y frutos: se trata del etileno, que tiene la finalidad de estimular la maduración de los frutos climatéricos. Pero este compuesto orgánico también es responsable de numerosos daños cuando su concentración alcanza cierto nivel en los tejidos vegetales, ocasionando una pérdida de calidad. En cambio, su producción se frena con el almacenado bajo refrigeración, que permite retrasar la maduración y el envejecimiento de las frutas.

La refrigeración también puede ser utilizada como un método complementario de otras medidas, como es la del envasado de los productos frescos a vacío o en atmósferas modificadas, como se ha visto para los productos de la cuarta gama.

Para las carnes frescas se suele emplear una mezcla de 80 % de oxígeno con 20 % de dióxido de carbono, suficiente para mantener el pigmento muscular bajo la forma de oximioglobina y para inhibir el crecimiento bacteriano. De este modo, el color de las carnes se mantiene dentro de un nivel de calidad aceptable durante 7-9 días a 4 °C. En el caso de carnes curadas viene muy bien el envasado en atmósfera de partes iguales de N_2 y CO_2 , procurando que el nivel de O_2 nunca supere el 0,5 %, con el fin de impedir daños en el pigmento nitrosomioglobina, responsable del color de estos productos.

Para las aves se recomienda una mezcla de 25 % de CO_2 y 75 % de N_2 , que permite prolongar su *vida media* desde los 6 días hasta unos 9-12 días. En estos casos, no conviene superar el nivel de dióxido de carbono indicado, porque aparecen cambios en el sabor y decoloraciones.

Los pescados difieren según se trate de pescados magros o grasos: para los primeros, la mezcla más apropiada se sitúa en 40 % de CO_2 , 30 % de O_2 y 30 % de N_2 , mientras que para los segundos hay que eliminar el oxígeno para evitar enranciamientos y por ello se emplea una mezcla de 60 % de CO_2 y 40 % de N_2 .

Las atmósferas más útiles para frutas y hortalizas vienen a ser mezclas entre 2-4 % de O_2 y 3-10 % de CO_2 , con el resto de N_2 . Se ha comprobado que la disminución del porcentaje de oxígeno propio del aire y el incremento del dióxido de carbono origina una mejora en el envejecimiento de estos productos al minimizar los procesos metabólicos de la respiración. Además se ha comprobado que estos nive-

les de CO₂ protegen a la clorofila de su degradación y retrasan la aparición del pardeamiento enzimático en los productos troceados.

Una importante aplicación surgida en estos últimos años hace referencia a uno de los sistemas de distribución de comidas en las empresas de restauración diferenciada, donde existe una separación de tiempo y de lugar entre la elaboración de los platos cocinados y el servicio de los mismos para su consumo en los comedores colectivos. La mayoría de estas empresas emplean sistemas basados en la distribución en caliente, los cuales adolecen de diversos tipos de problemas. Para evitarlos, se ha introducido una etapa intermedia de conservación, que aprovecha la protección de las temperaturas de refrigeración. Su eficacia va a depender del tiempo que se consiga para la vida media alcanzada por los platos cocinados y refrigerados.

Dentro de la dinámica de servicio de alimentos cocinados existen situaciones que reclaman la consecución de una *vida media* más prolongada de los platos almacenados bajo refrigeración. Con esta finalidad han ido surgiendo algunas novedades tecnológicas y entre los métodos propuestos ha tenido una mayor aceptación el envasado a vacío o en atmósferas controladas, que se aplica una vez que el plato ha sido cocinado y antes de su refrigeración. Los platos cocinados se envasan, cuando todavía están calientes, en recipientes de material adecuado y se les hace el vacío, o bien el aire se sustituye por una mezcla de gases, especialmente formulada para inhibir o retardar los cambios químicos, así como para obstaculizar la proliferación de los microorganismos. En la práctica, estos sistemas de conservación *bajo refrigeración con vida media prolongada* consiguen sus objetivos siempre que en su elaboración se hayan respetado las apropiadas condiciones higiénicas, exigidas por la legislación alimentaria.

La ultracongelación como sistema de conservación de alimentos

En aquellos casos en los que la refrigeración pierde eficacia como método de conservación hay que acudir a la congelación del alimento. En la práctica se considera una metodología que supera en utilidad a los demás por sus efectos positivos sobre la prolongación de la *vida útil* de los alimentos.

La *congelación* es, por tanto, un método de conservación de los alimentos que va más allá de la refrigeración y que se basa en los efectos provocados por las temperaturas inferiores al punto de congelación del agua contenida en el alimento. Tiene como objeto transformar en cristales de hielo el máximo del contenido acuoso, con lo que se prolonga el período de vida útil del alimento al reducir el valor de su actividad de agua (a_w).

Con ello, se consigue que las moléculas de agua no queden disponibles para tomar parte de reacciones químicas, ni para ser utilizadas en el metabolismo microbiano. Se sabe que unos pocos microorganismos pueden crecer por debajo del 0 °C, de acuerdo siempre con la naturaleza del alimento, su contenido en nutrientes, su pH y, de modo particular, su disponibilidad de agua. Por debajo de la temperatura de congelación sólo crecen aquellos que sean capaces de vivir a niveles reducidos

de a_w . Si a 0 °C la a_w del agua vale 1,0, cuando la temperatura baja hasta -20 °C el valor de a_w se rebaja a 0,80 y a -50 °C solamente es de 0,62.

También se ha observado que, en algunos casos, las temperaturas de congelación provocan la muerte de ciertas células microbianas (sobre todo alrededor de los -4 °C) como consecuencia de las alteraciones osmóticas, consecuentes a la formación de cristales de hielo. Estas alteraciones son más intensas a -4 °C que a temperaturas inferiores, porque en este caso la rapidez con la que se produce el fenómeno de la congelación no da opción a los movimientos diferenciales intrínsecos en el agua.

A pesar de que las temperaturas de congelación paralizan las actividades metabólicas de los microorganismos presentes, los alimentos congelados no permiten un almacenado indefinido, porque siempre resulta posible que continúen las reacciones puramente químicas, aunque su cinética sea muy lenta. Además, durante el proceso de la congelación, el agua del alimento deja de estar en solución y se transforma en cristales de hielo; en consecuencia, aparecen algunos cambios en las propiedades fisicoquímicas del mismo, que afectan al pH, la fuerza iónica, la viscosidad, la presión osmótica, el potencial redox, la presión de vapor, etc. De aquí que a los alimentos congelados se les señale un periodo de *vida útil*, o de conservación, que depende de la calidad ofrecida por el producto una vez descongelado.

La calidad que ofrecen los productos alimenticios que han sido congelados suele ser una consecuencia directa de una serie de factores, bastante bien conocidos

y estudiados, entre los que caben destacar dos: la velocidad con que ha sido llevada a cabo la congelación y el tamaño de los cristales que se han formado en la estructura del alimento, dentro y fuera de las células.

Concepto de congelación y ultracongelación

Para llevar a cabo la congelación del contenido acuoso de un alimento es preciso reducir su temperatura por debajo del punto de congelación de sus jugos celulares. Se entiende por *punto de congelación* la temperatura a la cual un líquido se halla en equilibrio con un sólido. Para que una disolución alcance este punto hace falta una reducción de la temperatura inferior a la que sería necesaria en el caso del disolvente puro. Esto se debe a que la presión de vapor de la disolución es menor que la del disolvente puro a causa de los componentes solubles que tiene.

Por ello, el *punto de congelación* de un alimento es siempre inferior al del agua pura, aunque por lo general suele estar entre -0,5 °C y -4,0 °C, dependiendo de las concentraciones relativas de los solutos, que varían de un alimento a otro. De hecho, un alimento concreto no cambia de modo instantáneo toda su agua desde la fase líquida hasta la fase sólida, es decir, no presenta una cristalización uniforme de todo su contenido acuoso. La razón radica en que al producirse los primeros cristales de hielo, los solutos que tenía ese agua aumentarán en concentración y de este modo se va reduciendo el punto de congelación a medida que avanza el proceso. Un hecho bien conocido es el margen de temperaturas que caracteriza la congelación de cada tipo de alimentos: carnes (-0,6/-1,2 °C), pescados (-0,6/-2,0 °C), leches (-0,5/-1,0 °C), etc.

Si se representa el proceso de congelación de un mismo alimento, poniendo en ordenadas la temperatura del alimento y en abscisas el tiempo que tarda en alcan-

zar esa temperatura, cuando se le somete a tres sistemas (I, II, III) de enfriamiento con diferentes capacidades de frío, se obtendrán las tres curvas que se expresan en la Figura 20.2. En primer lugar se observará un fenómeno de superenfriamiento, que caracteriza a cada alimento, durante el cual no se forman cristales a pesar de haberse rebajado el punto de congelación. Después, en un momento determinado aparecen de modo brusco los primeros cristales, que determina una ligera subida de la temperatura del alimento. Mientras que el agua del alimento se va convirtiendo en hielo sólo se observa un ligerísimo descenso de su temperatura como consecuencia de la extracción de la mayor parte del calor latente.

El tiempo de paso a través de esta zona suele ser conocido con el nombre de *tiempo de parada térmica* y constituye un parámetro específico de cada proceso tecnológico, en función de las condiciones bajo las que se lleva a cabo el enfriamiento del alimento y de la naturaleza del mismo. Los resultados prácticos que se

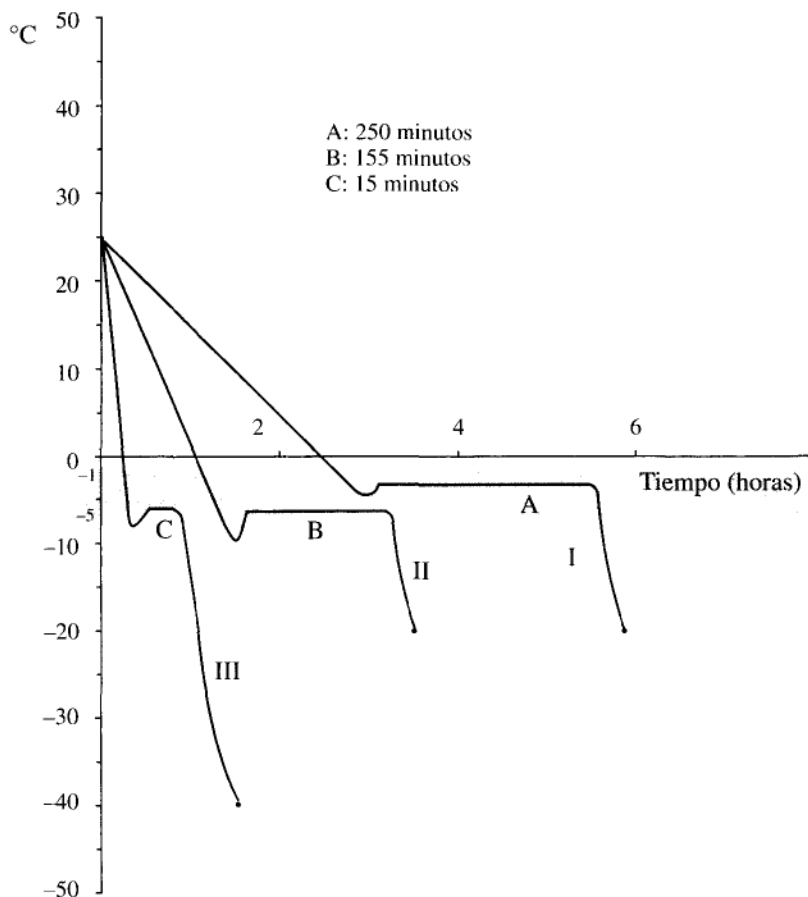


Figura 20.2. Representación gráfica del proceso de congelación bajo tres intensidades diferentes (I, II, III) para la capacidad de enfriamiento.

obtienen para cada uno de los tres procesos representados suelen ser bastante diferentes en cuanto a la formación de cristales de hielo y a su incidencia sobre la calidad del producto congelado.

Los procesos I y II se caracterizan porque la escasa potencia del sistema de enfriamiento (difícilmente se trabaja por debajo de los -20°C) da lugar a *tiempos de parada térmica* muy amplios (A y B), que suelen proporcionar una cristalización lenta que conlleva la formación de grandes cristales. Son procesos tradicionalmente conocidos como *congelación*.

Sin embargo, cuando se han podido aplicar sistemas potentes de producción de frío, capaces de trabajar por lo menos a -40°C , como es el caso del proceso III, se consigue que el tiempo de parada térmica (C) sea muy corto y la temperatura del alimento atraviese la zona comprendida entre -1°C y -5°C en menos de 30 minutos. Bajo estas condiciones el proceso de congelación resulta enormemente rápido y da lugar a la formación de numerosos y pequeños cristales de hielo. Es el proceso que hoy día recibe el nombre de *ultracongelación*.

Posteriormente, el alimento reduce su temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico con la célula de enfriamiento. Desde luego, a la temperatura de -4°C solamente se ha conseguido congelar el 70 % del agua contenida en el alimento, pues aquellas moléculas que están fuertemente enlazadas a través de enlaces de hidrógeno a estructuras poliméricas, como las proteínas, carecen de la suficiente libertad para ocupar su posición en el cristal de hielo. Pueden estar distribuidas en una o dos capas de moléculas fuertemente unidas, dentro de una zona limitada que se caracteriza por su estructura ordenada. Este agua ligada es prácticamente no congelable y puede representar un 6 % en verduras y frutas, o un 8-10 % en carnes. No obstante, se puede alcanzar una congelación acuosa del 99 % en las proximidades de los -18°C (0°F).

De acuerdo con las representación gráfica de las curvas de congelación se pueden señalar dos parámetros tecnológicos que tienen una gran significado relativo a la bondad del proceso: *a)* el tiempo de congelación, *b)* la velocidad de congelación.

El tiempo de congelación viene determinado por tres factores:

- El porcentaje de agua contenido en el alimento.
- La forma del alimento, más o menos irregular.
- La capacidad de enfriamiento del sistema frigorífico.

Ya se ha visto que no todo el agua del alimento se encuentra en las mismas condiciones de tomar parte en la formación de cristales de hielo. Además, como la temperatura del alimento no es la misma en su superficie que en su interior, su forma tiene que influir en el proceso porque es un factor determinante para la transferencia del calor, que debe ser eliminado para que el alimento se refrigere primero y después alcance la temperatura de congelación de su agua.

Hoy día se tiende a diseñar instalaciones frigoríficas con la finalidad de conseguir velocidades de congelación que sean lo más rápidas posibles, porque se sabe que la calidad del producto final se relaciona en gran parte con la presteza del proceso. Las velocidades de enfriamiento y de congelación pueden ser expresadas en función de dos variables:

1. La diferencia de temperatura entre el alimento y el medio refrigerante, que representa la fuerza de conducción.

2. La resistencia a la transferencia de calor, que depende de varios factores: velocidad del aire, grosor del alimento, grado de contacto con el medio frigorífico, composición química, capacidad de aislamiento del envase.

En la práctica, los diversos alimentos presentan propiedades de conductividad térmica diferentes, cuyos valores se modifican con la temperatura. La mayor conductividad se alcanza con la formación de hielo y en esta conductividad también influye la composición química del alimento: una mayor riqueza de grasa o de aire ocluido se opone a la transferencia de calor y por tanto reduce la velocidad de enfriamiento.

Además, de estas variables, otros factores inciden en la prontitud con que se forman los cristales de hielo:

- El mecanismo de transferencia de energía, según sea por conducción, convección o radiación.
- Tamaño, forma y propiedades térmicas del alimento. El calor latente de fusión y el calor específico varían en función del contenido acuoso y en el segundo incide también el estado en que se encuentre el agua. Además, en los productos congelados se incrementa de tres a cuatro veces la conductividad térmica que corresponde a la temperatura ambiente.
- Tamaño, forma y naturaleza del envase.

De todos modos, como los conceptos de velocidad de enfriamiento y de congelación no son sinónimos, para describir cualquier proceso de congelación resulta más conveniente hacer referencia a tres de los parámetros que lo significan:

- Velocidad de liberación del calor.
- Velocidad de desplazamiento del frente de congelación.
- Tiempo necesario para traspasar un determinado intervalo de temperatura.

Características del proceso de congelación

Cuando la temperatura de un alimento desciende, las moléculas de agua que se encuentran en estado líquido tienden a formar unos agregados propios del estado cristalino. Es decir, el sistema acuoso pasa de tener la distribución desordenada propia de un líquido a una cierta ordenación molecular, característica de los cuerpos sólidos. Para ello, se precisan dos cosas: una cierta movilidad de sus moléculas y que transcurra un cierto tiempo.

En su conjunto, el proceso de la congelación del agua de un alimento se caracteriza por el paso sucesivo por una serie de fases implicadas en el mismo: 1) subenfriamiento; 2) nucleación; 3) crecimiento de los cristales.

Sin duda, estas fases se encuentran muy influidas tanto por la naturaleza del producto como por una serie de variables cinéticas y termodinámicas. Cualquier modificación producida en alguna de estas variables puede dar lugar a importantes cambios en las características de los cristales de hielo formados, que tiene su repercusión sobre la calidad del producto congelado.

1. *Subenfriamiento*

Situado un alimento en un ambiente muy frío, reduce su temperatura hasta que se alcanza el punto de congelación que corresponde a su contenido acuoso. Sin

embargo, lo normal es que en este punto no se formen todavía cristales de hielo a falta de *centros de nucleación*. Durante un cierto tiempo existe una situación de sobrefusión, en la cual el agua permanece líquida a pesar de haberse sobrepasado a la que podría tener lugar su congelación. Aparece así una situación muy inestable desde el punto de vista termodinámico, que se conoce con el nombre de *subenfriamiento*. En ella, los agregados cristalinos formados por las moléculas de agua se encuentran en un estado dinámico, caracterizado porque su formación y destrucción se suceden de modo muy rápido.

2. Nucleación

Cuando se sobrepasa un tamaño *crítico*, el cristal se hace estable y sirve de germen para que sobre él se pueda desarrollar el crecimiento cristalino, sobre todo cuando los agregados de moléculas de agua se pueden ordenar en torno a partículas más bien pequeñas. Este tamaño *crítico* depende de la temperatura, hasta el punto que mientras más baja sea, más reducido resulta el tamaño exigido. Cuando este fenómeno tiene lugar en el alimento recibe el nombre de *nucleación*. En los alimentos siempre se llega a un tipo de nucleación heterogénea, al ser favorecida por la presencia de pequeñas partículas o por cristales salinos, de tal modo que el período de sobrefusión resulta relativamente breve.

3. Crecimiento de los cristales

Una vez iniciado el fenómeno de la nucleación, los cristales crecen a consecuencia de una migración de las moléculas de agua dentro del alimento, que le permite agregarse en torno a los gérmenes de núcleos existentes.

En los alimentos, la velocidad de crecimiento de los cristales de hielo es una función de la diferencia de temperatura que existe entre el cristal y el medio que le rodea, porque este parámetro es un factor determinante de la velocidad a la que se elimina la energía calorífica contenida en el alimento. El crecimiento o disminución de los cristales de hielo se produce en función de la temperatura aplicada y del grado o intensidad como se elimina del alimento su energía calorífica.

Por ello, regulando la temperatura del proceso de congelación del alimento se puede regular la nucleación y el tamaño de los cristales de hielo:

- Cuando el proceso se lleva a cabo a temperaturas muy bajas se consigue una nucleación muy rápida, que da lugar a numerosos núcleos, que llevan a la formación de una multitud de cristales de tamaño pequeño, que se localizan tanto fuera de las células como en su interior.
- En cambio, cuando la temperatura de trabajo se encuentra muy próxima al punto de fusión se origina una nucleación lenta, con muy pocos núcleos y el resultado va a ser pocos cristales pero muy grandes, situados de modo exclusivo fuera de las células, es decir, en los espacios intercelulares.

Se piensa que primero se produce la cristalización extracelular y después la intracelular, dependiendo esta última si la velocidad de la congelación es capaz de permitir la formación de núcleos en los pequeños poros de la membrana celular.

Al final de la congelación, el tamaño de los cristales depende del número de núcleos cristalinos inicialmente formados en el seno del líquido; puede considerar-

se un parámetro vinculado de modo muy directo con el número de núcleos formados.

Equipos de congelación

La industria alimentaria aplica para la congelación de sus alimentos unos equipos o *congeladores*, que pueden estar basados en tres sistemas tecnológicos básicos, que se distinguen por el medio empleado para conseguir la transferencia de la energía calorífica: aire; contacto directo con un medio sólido enfriado; inmersión directa en los fluidos criogénicos. La elección de uno u otro viene determinado por la naturaleza del producto, así como por su dimensiones externas, su forma, su posible envasado, etc.

1. *Congelación por aire*

Tecnología que resulta eficaz cuando se emplean equipos diseñados adecuadamente y pueden responder a diversas variantes: túneles de congelación, bandas transportadoras, lechos fluidificados, etc. Suelen ser los tipos de *congeladores* más universales, aunque no siempre significan la mejor solución para algunos alimentos determinados. Desde luego, para estos efectos nunca sirven las cámaras diseñadas para la conservación de productos congelados.

Para su aplicación práctica pueden señalarse dos variantes. En la más antigua, la congelación se lleva a cabo sin movimiento del aire y a temperaturas entre -20 y -30 °C. Mucho más reciente es el sistema de ventilación forzada, con fuertes corrientes de aire y temperaturas situadas alrededor de los -40 °C, que permite conseguir tiempos de congelación entre 12 y 18 horas. Con cierta frecuencia, para conseguir mayores rendimientos se hace que el flujo de aire circule en contracorriente, porque de esta manera el aire más frío se pone en contacto con el alimento a punto de salir del túnel, donde prácticamente ya se encuentra congelado.

2. *Congelación por contacto directo con un medio sólido enfriado*

El alimento puede ser congelado si se coloca en contacto con una superficie metálica, que se encuentra enfriada por medio de una salmuera refrigerante. Las placas se pueden aplicar de modo estacionario o bien en movimiento, dando lugar a sistemas de congelación en continuo. Las salmueras suelen estar integradas por sustancias criogénicas, de punto de ebullición muy bajo (Tabla 20.1). Ofrecen buenos rendimientos, con tiempos cortos para conseguir la congelación siempre que los productos tengan un espesor que no supere los 6 cm.

3. *Congelación por inmersión directa en líquidos criogénicos*

El sistema más rápido de congelación de alimentos consiste en sumergirlos directamente, envasados o no, en una sustancia criogénica, porque los líquidos son mejores conductores del calor que el aire. Presenta ciertas ventajas: contacto más íntimo entre producto y medio refrigerante, se pueden congelar unidades individuales, el contacto del alimento con el aire es menor, etc. Además, se consiguen grandes velocidades de congelación, de modo particular cuando se aplican en instalaciones de pequeña capacidad. Generalmente, mantiene mejor la calidad del pro-

Tabla 20.1
Principales sustancias criogénicas empleadas en la producción Industrial de frío

	Punto de ebullición (°C)
Clorometano (ClCH_3)	-24,2
Propano ($\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$)	-45,0
Freón 12 (CCl_2F_2)	-29,2
Freón 22 B ₂ (CHBrF_2)	-14,5
Freón 31 (CH_2ClF)	- 9,0
Freón 152 ^a ($\text{H}_3\text{C}-\text{CHF}_2$)	- 24,0

ducto inicial, siempre que se procure que los productos friogénicos utilizados no aporten sabores, ni olores anormales.

Aplicaciones de la ultracongelación

La ultracongelación representa hoy día el proceso base de los productos alimenticios que se integran en la tercera gama desde un punto de vista tecnológico. Se trata de un proceso de conservación de materias primas y alimentos elaborados que, en la actualidad, abarca a numerosas formas comerciales y a fines de utilización muy diversos.

En primer lugar hay que citar aquellos que las grandes superficies comercializan bajo la forma de productos ultracongelados: carnes, pescados, verduras, etc. A éstos han seguido los platos semielaborados, como croquetas, hamburguesas, pescados empanados y rebozados, etc., que ahorran tiempo y mano de obra en la elaboración de las dietas alimenticias.

Por otra parte, también se aplica como un modo de almacenar materias primas que, llegado su momento, serán utilizadas en los procesos culinarios propios de las empresas de restauración colectiva.

Por último, hay que señalar que constituye uno de los modernos sistemas de distribución de platos cocinados desde las cocinas centrales, propias de las empresas de restauración diferida, hasta los comedores satélites colectivos, donde se descongelan y calientan para su consumo. Es un proceso tecnológico que se aplica mediante células criogénicas, de tal manera que las altas temperaturas alcanzadas en las cocciones propias de la culinaria de los platos cocinados se reduzcan, en poco tiempo, hasta la adecuada para que las moléculas de agua presentes se transformen con gran rapidez en cristales de hielo. De este modo, la pequeñez del tamaño de los cristales de hielo no puede dañar los tejidos integrados en los alimentos que participan del plato cocinado; un hecho de extraordinaria importancia para mantener la calidad del plato una vez descongelado para su consumo. Almacenados a la temperatura de -18°C , alcanzan una *vida media* de unos cuatro meses, siempre en función de la composición química del mismo.

En la práctica, la preparación de cualquiera de estos tipos de productos conge-

lados implica varias etapas, en cada una de las cuales conviene respetar ciertas cautelas: elección y preparación de las materias primas; envasado del producto; congelación; almacenado; descongelación.

1. *Elección y preparación de las materias primas*

La elección de materias primas, así como las condiciones más adecuadas para su preparación, deben ser consideradas como algo de verdadera importancia. El frío no mata los microorganismos ni mejora la calidad organoléptica del producto. Por ello, la calidad de lo que se congele se ve reflejado después en la calidad del producto descongelado, que aporta el riesgo adicional de acelerar las reacciones de alteración.

2. *Envasado del producto*

Para prevenir la transmisión de olores, las oxidaciones y enranciamientos, así como la desecación y los pardeamientos por el frío, es imperativo envasar todo alimento que vaya a recibir los efectos de una congelación. No obstante, el envase debe cumplir con varios requisitos:

- Ser de material apto para productos alimenticios.
- Permitir la rápida congelación del agua del alimento.
- Admitir la dilatación de volumen inherente a la cristalización del agua (un incremento aproximado del 9 %).
- Ser impermeable a los líquidos.
- Ser resistente a los golpes.
- Soportar bajas temperaturas.
- No adherirse al contenido.
- Ser opaco a la luz.

En la práctica, existen diversos materiales para estos fines: cartón parafinado, plásticos, aluminio, polietileno, etc.

3. *Proceso de congelación*

El proceso de congelado implica la existencia de un fenómeno de la solidificación (cambio del estado líquido del agua al cristalino) y para que ocurra es preciso eliminar del alimento una cantidad de calor igual a su calor latente.

Esta eliminación de calor responde a cuatro pasos sucesivos:

- Extracción de calor para rebajar el agua del alimento desde la temperatura inicial hasta la temperatura a la que comienza la congelación (generalmente -1°C).
- Extracción del calor necesario para transformar el agua líquida en cristal de hielo (80 kcal. % humedad).
- Extracción de calor para rebajar la temperatura de los cristales de hielo formados hasta la deseada para el final de la congelación.
- Extracción de calor para rebajar la temperatura de los componentes sólidos del alimento desde la inicial hasta la final.

Un alimento se considera congelado cuando la mayor parte de su contenido acuoso se encuentra ya en forma de cristales de hielo, circunstancia que requiere haber alcanzado temperaturas inferiores a los -10°C . Como la zona de temperaturas donde la cristalización resulta máxima se sitúa entre -1°C y -5°C , resulta nece-

sario que el alimento cruce esta zona del modo más rápido posible, para que se consiga el adecuado proceso de cristalización.

Cuando se trata de congelar alimentos líquidos, o en formas de purés, sin envases y en flujo continuo nunca se debe llegar hasta la etapa final de la congelación, porque se endurece el material y se obstruye dicho flujo. En estos casos se congela hasta formar escarcha y después de envasado se concluye su congelación.

Existen productos que no soportan la congelación y, por tanto, hay que evitar su conservación por este método: huevos duros, carne grasa, salsa ligada a base de almidón, lechugas, plátanos, mayonesas, etc. Con otros, como las verduras, basta con que se respeten ciertas cautelas: han debido ser lavadas, escaldadas durante dos o tres minutos a 100° C, enfriadas con agua fría y secadas.

4. *Almacenado*

En cuanto a la conservación de alimentos congelados la Legislación Alimentaria exige que se almacenen a -18 °C (equivalente al 0° Fahrenheit), temperatura a la que prácticamente se encuentra paralizada toda la actividad microbiana. Sin embargo, bajo estas condiciones no se han detenido totalmente las reacciones químicas, aunque tengan lugar a velocidades muy lentas, ni se han soslayado todas las modificaciones físicas.

Estas circunstancias obliga a tener siempre muy presente el comportamiento químico que pueden tener los diferentes productos alimenticios congelados a lo largo de su periodo de almacenamiento, especialmente si va a ser prolongado. La cantidad y tipo de grasa que contienen, así como la mayor o menor fragilidad de sus proteínas influyen en la estabilidad del alimento y, por tanto, en el tiempo de conservación.

Aparte de estas alteraciones químicas, en el almacenado de alimentos congelados se observa un tipo de alteración física, vinculada muchas veces a las posibles fluctuaciones de temperatura dentro de la cámara. Se trata de los fenómenos de recristalización, consecuente a cierta evolución que afecta a los sistemas cristalinos acuosos del alimento, cuyos cristales tienen cierta tendencia a crecer, de acuerdo con dos mecanismos diferentes: *a)* unión de cristales adyacentes; *b)* crecimientos de cristales grandes a expensa de los pequeños.

Así, algunos cristales de hielo pueden aumentar de tamaño, mientras que los más pequeños desaparecen. En este sentido, resultan muy inestables los cristales cuyo tamaño es inferior a las 2 µm. Este hecho tiene una explicación termodinámica si se considera que los cristales de tamaño pequeño presentan mayor energía de superficie por unidad de masa y una mayor tensión de vapor que los de gran tamaño. Este fenómeno se acentúa con gran rapidez cuando la temperatura del almacén se encuentra en las proximidades del punto de fusión. El crecimiento de los cristales de hielo durante el almacenado tiene consecuencias nefastas sobre la estructura del alimento.

El tiempo durante el cual se puede conservar muy bien un alimento congelado dependerá de la temperatura del almacén. Así, la correcta conservación durante un mes a -20 °C, se puede ver reducida a 15 días cuando la temperatura de almacenamiento sube a -12 °C, o por el contrario, se prolonga a mes y medio si se baja a -30 °C.

5. *La descongelación*

La descongelación consiste en llevar de nuevo el producto a temperaturas superiores a 0 °C. En cuanto fenómeno inverso al de congelación, se trata de un proce-

so físico que necesita el aporte de calor, que se consumen en la superación de tres etapas claves:

- Paso de la temperatura de almacenado congelado hasta la temperatura de fusión (calor específico).
- Transformación de los cristales de hielo en agua líquida (calor latente).
- Paso de la temperatura de fusión hasta la temperatura final deseada (subida de la temperatura).

Las necesidades energéticas más importantes se deben a la fusión de los cristales de hielo. Como la conductividad térmica del agua líquida es más reducida que la del hielo, resulta que la transmisión del calor externo se hace más dificultosa a medida que el alimento se descongela. Por tanto (salvo en el caso de un horno de microondas que el aporte de calor tiene lugar en el mismo interior del producto en todos aquellos puntos donde pueda darse agitación molecular), el tiempo que un alimento tarda en descongelarse dependerá de los siguientes factores: tamaño, forma, conductividad térmica del envase, temperatura del fluido calefactor (en general, deben ser inferiores a $+4^{\circ}\text{C}$ o superiores a $+65^{\circ}\text{C}$).

En la práctica, es una operación que puede tener honda repercusión sobre las cualidades sensoriales, e incluso higiénicas, del producto una vez descongelado. No hay que olvidar que durante la descongelación se puede producir una cierta cantidad de exudado, sobre todo si con la congelación han resultado dañado los tejidos. Estos exudados suelen ser un excelente medio para la proliferación de los microorganismos, de modo especial cuando el alimento se sitúa en la zona positiva de las temperaturas. Por ello, se recomienda que, durante su descongelación, el alimento, permanezca el menor tiempo posible en la zona de temperaturas situada entre $+4^{\circ}\text{C}$ y $+65^{\circ}\text{C}$. El empleo de modos diversos para la descongelación se debe hacer tratando de encontrar una solución de compromiso entre el riesgo microbiológico y la duración del proceso.

Por razones microbiológicas se suele recomendar (o exigir) que los productos se descongelen bajo frío a $+4^{\circ}\text{C}$. Teniendo en cuenta la aparición de exudado y el desarrollo rápido de la población microbiana alterante, un alimento descongelado debe ser preparado y consumido de modo inmediato. Resulta peligroso volver a congelar un alimento crudo, anteriormente descongelado.

La descongelación fuera del frigorífico sólo se admite bajo tres condiciones estrictas:

- a) Cuando el proceso se hace de forma tan rápida que no se supera la hora.
- b) Cuando existan garantías de ausencia de patógenos en el alimento.
- c) Cuando el alimento sea de contenido acuoso tan escaso, que apenas pueda producir exudado.

En toda descongelación se deben seguir siempre aquellas normas que permitan obtener los mayores rendimientos, pero con las mínimas pérdidas en la calidad organoléptica.

Las descongelaciones más correctas se consiguen cuando durante todo el proceso se mantienen las temperaturas más bajas posibles. Las piezas grandes de carnes o de pescados, se deben dejar en la cámara de refrigeración, envueltas en paños, hasta que resulten casi flexibles, momento en el que se les puede tratar como piezas frescas. Cuando sea necesaria la descongelación de las hortalizas, se les trata en

agua corriente entre 8 y 10° C, incluso empaquetadas. Desde luego, no resulta recomendable descongelar un producto vulnerable mediante el empleo de agua tibia, ni situarlos próximos a una fuente de calor.

Cambios durante el proceso de congelación

Cuando el agua pasa del estado líquido al sólido experimenta un aumento de volumen que es capaz de romper cualquier cuerpo que lo envuelva si no permite su dilatación. Esto significa que cuando en un alimento se forman cristales de hielo puede ocurrir cambios profundos en la textura del mismo, romperse una emulsión si fuera el caso, se desnaturalizan las moléculas proteicas, etc.

Con la formación de cristales de hielo, el agua que todavía se encuentre en la fase líquida va incrementando su concentración en solutos, evento físico en el que influyen tres factores: naturaleza del producto, velocidad de congelación y temperatura que se alcanza al final del proceso.

Todo aumento en la concentración de solutos se acompaña de modificaciones en los valores de pH, acidez titulable, fuerza iónica, viscosidad, presión osmótica, presión de vapor, tensión superficial y potencial redox. A todo ello se une la posible precipitación de algunas sales. El daño provocado por todos estos cambios pueden ser de diverso tipo:

- Cuando el soluto precipita por saturación, puede convertir una textura cremosa en otra arenosa.
- Cuando no precipita pero se encuentra muy concentrado, puede provocar una desnaturalización de las proteínas por un efecto denominado *salting out*.
- Los solutos ácidos pueden dar lugar a precipitación de las proteínas al situar el pH por debajo de sus puntos isoeléctricos.
- En el caso de afectar al equilibrio entre aniones y cationes existente en las soluciones coloidales se provoca una inestabilidad del sistema.
- Un aumento en la concentración de solutos puede provocar una desecación en los tejidos adyacentes por difusión del agua hacia las zonas más concentradas para restaurar el equilibrio osmótico.

Conservación mediante aplicación de calor

- Introducción.
- La transferencia de calor.
- Efectos de las temperaturas elevadas sobre enzimas y microorganismos.
- Efectos de las temperaturas elevadas sobre los componentes químicos de los alimentos.
- Métodos basados en el tratamiento térmico.

Introducción

El empleo de calor para la conservación de alimentos puede considerarse una técnica antiquísima, que alcanza aplicaciones muy extensas. En realidad, todas las técnicas culinarias de cocción, como asados, frituras, hervidos, guisados, etc., no son más que diversas formas encontradas por el ser humano a lo largo de su historia para mejorar, no sólo las propiedades sensoriales de los alimentos, sino también su conservación, pues con ellas se llega a destruir microorganismos y a inactivar enzimas. No obstante, en muchos casos no se alcanza la esterilidad del producto y es necesario protegerlos de una revitalización posterior.

Aparte de estos métodos culinarios, la industria alimentaria ha desarrollado diversos sistemas de conservación que están basados en la aplicación de temperaturas más o menos elevadas. El nivel de temperatura alcanzado y la intensidad del calor proporcionado son los factores que delimitan el campo de sus aplicaciones, en función de la eficacia que se consigue con unos u otros métodos.

Hace más de dos siglos que el biólogo Spalanzani descubrió cómo los productos cárnicos cocidos y sin manipulaciones externas que fueran perjudiciales, se podían conservar durante periodos de tiempo bastante considerables. Más tarde fue el pastelero francés Appert quien mejoraba la estabilidad de diversos alimentos perecederos, cuando los calentaba en frascos cerrados introduciéndolos en recipientes con

agua hirviendo. La eficacia de estos métodos se pudo interpretar correctamente desde un punto de vista científico, una vez que Pasteur puso de manifiesto la acción deletérea de los microorganismos sobre los productos alimenticios. En consecuencia se desarrollaron diversos métodos que se diferenciaban en la forma e intensidad conque se aplicaba el tratamiento térmico.

Cada uno de ellos se caracteriza por una determinada capacidad de destrucción de los microorganismos presentes, así como por diversas acciones sobre los componentes químicos de los alimentos (enzimas, vitaminas, etc.), que según los casos pueden ser acciones deseables o bien deletéreas. Entre los efectos positivos caben señalar la inactivación de sistemas enzimáticos, el ablandamiento de los tejidos, la mejora de la digestibilidad, etc. Sin embargo, entre los no deseables se pueden citar la destrucción de algunos nutrientes, la modificación de las cualidades organolépticas, etc.

Cualquier tratamiento térmico que resulta suficiente para destruir microorganismos a la vez que inactiva enzimas, también puede afectar de modo adverso a las propiedades que caracterizan a los alimentos. De aquí la importancia de conocer todos los factores que inciden en el proceso térmico para elegir aquellas condiciones de tratamiento térmico capaces de provocar la destrucción de patógenos y toxinas y proporcionar una vida útil que alcance la duración programada. Por consiguiente, adquiere un gran interés la optimización de cada uno de los procesos.

Para una buena selección de la metodología es preciso un correcto conocimiento de los dos parámetros siguientes:

- El binomio temperatura-tiempo requerido para inactivar la mayoría de los microorganismos patógenos y alterantes, que en un alimento determinado pueden resultar resistentes a la acción del calor.
- Las características de la penetración del calor en el conjunto global a tratar (alimento y envase) con el fin de asegurar que todas las partículas del alimento puedan alcanzar la temperatura requerida dentro del tiempo previamente establecido.

La transferencia de calor

El problema que puede plantear cualquier tipo de tratamiento térmico de un alimento aplicado para mejorar su conservación radica en cómo conseguir que la intensidad de calor previsto alcance a todas y cada una de las partículas del alimento. Sin duda, se trata de un problema vinculado a la transferencia de calor a través del envase y de la masa del contenido alimenticio.

A pesar de haberse obtenido las curvas de destrucción térmica para los microorganismos más importantes y haberse deducido de ellas los tiempos y temperaturas requeridos para dicha destrucción, los problemas sanitarios continúan en la práctica de la alimentación humana, incluso después de haber aplicado márgenes de seguridad que se consideraban suficientes. Así, combinaciones de parámetros temperatura-tiempo, que desde un punto de vista teórico deberían ser letales, resultan diferentes cuando se trata de la aplicación práctica a los alimentos y no evitan los correspondientes efectos dañinos.

La razón de todo ello radica en que la penetración de calor es un fenómeno que puede desarrollarse de acuerdo con mecanismos de conducción o de convección y en el que inciden numerosos factores que deben ser controlados, o al menos tenidos en cuenta:

- Tamaño y forma del envase.
- Naturaleza química del producto alimenticio.
- Consistencia de la masa del alimento.
- Líquido de gobierno incluido en el envasado.

Para que la transferencia de calor tenga lugar por conducción es preciso que pase de una partícula a otra por simple contacto, más o menos en línea recta, sin que tenga lugar ningún tipo de desplazamiento, o movimiento, en el interior del alimento envasado.

En cambio, para el mecanismo por convección la transferencia de calor implica movimientos dentro de la masa que se está calentando. En los alimentos líquidos, el movimiento lo produce las diferencias térmicas que existen entre las distintas partículas. En este caso, el calentamiento de todo el alimento resulta mucho más rápido y más uniforme que en el anterior por conducción.

Como por lo general el calor se aplica desde fuera, será la zona del alimento situada en la superficie la primera en alcanzar la temperatura programada, mientras que la zona central puede permanecer todavía fría. Esta zona de la masa interna del alimento, última en lograr la temperatura de calentamiento final, recibe el nombre de punto frío (PF) del producto envasado. Cuando se trata de alimentos sólidos, este punto se suele localizar en el centro geométrico del envase, mientras que en los alimentos líquidos y los agitados se sitúa algo más bajo (Fig. 21.1)

Mediante la implantación del correspondiente par termoelectrónico para el control de la temperatura dentro de la zona crítica del interior del alimento se puede conocer el tiempo requerido para que este punto PF consiga la temperatura estipulada bajo unas condiciones de trabajo determinadas. Sin embargo, cuando se trabaja con datos tabulados acerca de la letalidad del proceso térmico hay que tener en cuenta la composición química del alimento, porque algunos de esos componentes pueden tener un efecto protector sobre los microorganismos y modificar la cantidad de calor necesaria para que puedan ser destruidos.

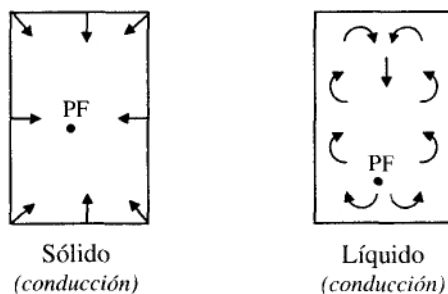


Figura 21.1. Sistemas de transferencia de calor según el estado del alimento.

Así, por ejemplo, una elevada concentración de azúcar puede tener un efecto protector frente al calor de las esporas bacterianas y por ello las frutas envasadas con almíbar requieren tratamientos con temperaturas más elevadas o tiempos más prolongados. También en las conservas de pescados, el aceite puede englobar las células vegetativas, o las esporas, y protegerlas de la acción dañina del calor húmedo, que le llega con dificultad debido a la menor conductividad térmica de los lípidos. El calor húmedo es más eficaz que el seco porque la humedad es mejor conductora del calor y permite una mejor penetración del mismo dentro de las células microbianas, o de sus esporas.

Finalmente, hay que señalar la consistencia como un factor importante en la transferencia de calor a través de un alimento envasado, porque puede convertir un sistema de mecanismo por convección en otro por conducción, siempre mucho más lento y menos eficaz. Esta circunstancia tiene una relevancia especial porque los tiempos de actuación más prolongados intensifican los efectos nocivos sobre los componentes químicos del alimento. Por eso, existe la tendencia de aplicar métodos basados en altas temperaturas que permitan tiempos muy cortos, porque de este modo sólo se afectan los microorganismos y apenas los componentes químicos.

Efectos de las temperaturas elevadas sobre enzimas y microorganismos

Para mejor comprender los problemas relacionados con la conservación de los alimentos mediante la aplicación de calor, resulta necesario que se profundice en los fundamentos de su respuesta a la acción de las temperaturas elevadas y se conozcan los factores implicados en la termodestrucción de los mismos.

En primer lugar, es importante establecer lo que debe ser entendido como *muer-te microbiana*. Como criterio general y desde un punto de vista práctico, podría ser considerada como la incapacidad para que las células se reproduzcan aun cuando se encuentren bajo condiciones ambientales óptimas. Todas las formas vegetativas de bacterias, levaduras y hongos se suelen destruir cuando la temperatura alcanza los 100 °C, pero las esporas de algunas especies pueden exhibir una fuerte termorresistencia y para su destrucción hace falta aplicar tratamientos térmicos intensos: temperaturas elevadas y tiempos prolongados.

El patógeno resistente al calor y que por su carácter anaerobio puede crear problemas en la elaboración de conservas enlatadas es el *Clostridium botulinum*. Sin embargo, también existen bacterias esporuladas no patógenas que son todavía más resistentes, como ocurre con el *Bacillus stearothermophilus*, que puede servir como referencia para conocer la magnitud de los niveles alcanzados en los tratamientos térmicos, porque su destrucción significa que también han sido destruidos todos los demás patógenos, incluido el *C. botulinum*.

Las bacterias mueren por la acción del calor a una velocidad que suele ser proporcional a la cantidad presente en el alimento. Esta destrucción térmica es de orden logarítmico y bajo las mismas condiciones experimentales se destruyen el

mismo porcentaje de población por cada intervalo igual de tiempo, con independencia del número de microorganismos supervivientes.

Esto significa que si con tratamiento térmico determinado se consigue destruir en el primer minuto el 90 % de la población microbiana, en el segundo minuto de tratamiento serán destruidos el 90 % de los que han sobrevivido, y así sucesivamente. Esta circunstancia ha llevado a establecer el denominado *valor D*, que representa el tiempo (en minutos) necesario a una temperatura dada para destruir el 90 % de la población microbiana. Para las referencias tabuladas de este dato se suele escribir como subíndice la temperatura a la que ha sido obtenido (D_t). También se conoce con el nombre de *tiempo de destrucción decimal*, porque equivale a la reducción de la población microbiana en un ciclo logarítmico. Estos tiempos de destrucción térmica se pueden determinar para diferentes temperaturas de tratamiento, a partir de las denominadas *curvas de muerte térmica* obtenidas para cada microorganismo específico, que se encuentra presente en un medio o en un alimento concreto tratados por el calor.

Para establecer con precisión las condiciones letales que afecta a un microorganismo no resulta suficiente el conocimiento de los parámetros de temperatura de trabajo y el tiempo de exposición, porque el tratamiento térmico requerido para la destrucción viene determinado por numerosos factores: naturaleza física y química del medio, el número de microorganismos presentes, la edad de esos microorganismos, etc.

Cuando para un cultivo microbiano determinado se representan las temperaturas de tratamientos térmico frente a los *valores D* correspondientes en una escala logarítmica, se suele obtener una línea recta, que permite establecer dos parámetros de importancia práctica:

- El *valor z*, dado por la pendiente de la recta, que representa el número de grados requeridos para recorrer un ciclo logarítmico en una curva específica de *destrucción térmica*. Los valores de *z* varían en función de dos factores: la especie de microorganismo y la naturaleza del medio en el que son calentados.
- El *valor F*, que se define como el número de minutos requeridos para que a una temperatura específica se consiga destruir un número determinado de microorganismos, que tienen un valor *z* concreto. Debido a su dependencia de la temperatura de trabajo, resulta necesario establecer un valor F_0 que sirva de referencia. Para ello se la ha definido como «la cantidad de minutos que se requieren a la temperatura de 121 °C para conseguir la destrucción de un número concreto de microorganismos con un *valor z* de 10». Así, por ejemplo, si la población concreta se puede destruir a 121 °C en el tiempo de seis minutos, quiere decir que el tratamiento a aplicar debe corresponder a un valor F_0 de 6.

Se han calculado las curvas de tiempos de destrucción térmica para los microorganismos patógenos y alterantes de relevancia por su vinculación con los alimentos. Cuando se trata de aplicar estos parámetros a un sistema de tratamiento térmico de un alimento con vistas a su conservación debe introducirse un margen de seguridad. Para mayor garantía se ha establecido que el tratamiento térmico a una temperatura dada sea aplicado durante el tiempo necesario para que en todas las partículas del alimento se alcance el valor de $12 D$, es decir, que se haya recorrido

12 ciclos logarítmicos. De este modo, queda garantizada la estabilidad del producto durante el tiempo de su almacenado en lo que respecta a la alteración microbiana.

Un hecho que siempre debe ser tenido en cuenta es la dependencia que tienen las células y esporas microbianas de la naturaleza y composición del medio, con respecto a los niveles de su termorresistencia. En este sentido, hay que destacar la disponibilidad de su agua (a_w), la concentración de azúcar o la cantidad de aceite presente.

También esta termorresistencia se ve afectada por el nivel de hidrogeniones que hay en el alimento, que alcanza la máxima protección en los valores correspondientes a los pH neutros, mientras que los pH ácidos la reducen notablemente.

Efectos de las temperaturas elevadas sobre los componentes químicos de los alimentos

Los tratamientos térmicos intensos, sobre todo en cuanto a tiempo de aplicación más que a lo elevado de la temperatura, puede afectar a los diversos componentes de los alimentos. La intensidad del tratamiento térmico aplicado, así como las condiciones bajo las que se realiza, son factores determinantes de posibles cambios, que pueden ser agrupadas en dos tipos de modificaciones:

- *Cambios de naturaleza física*, que suelen ser externos y visibles porque atañen a la apariencia, textura y flavor del producto alimenticio, con una clara repercusión visual, olfativa y gustativa.
- *Cambios de naturaleza química*, que por lo general no da lugar a manifestaciones externas, aunque no por ello pueden resultar menos importantes.

Lo primero que puede llamar la atención cuando un alimento se somete a un tratamiento térmico suelen ser las modificaciones vinculadas a su aspecto externo. Las variaciones en la apariencia pueden ser motivadas por alteraciones en el volumen, en la coloración, en la consistencia y en el flavor.

Cuando se aplica calor a un alimento pueden ocurrir cambios en las estructuras que integran su composición, con reacciones que varían de acuerdo con la naturaleza química de la sustancia afectada. Tales cambios adquieren más relevancia cuando las sustancias afectadas son responsables de la calidad nutritiva o sensorial del producto alimenticio.

El *agua* es el componente mayoritario de los alimentos y se puede encontrar tanto en su forma molecular libre, como ligada a otros componentes a través de enlaces de hidrógeno. La cantidad existente como agua libre se favorece con el tratamiento térmico, tanto más cuanto mayor sea la temperatura aplicada; de esta manera se incrementa la movilidad molecular y se favorece su exudación que conduce a una desecación del alimento. De este modo, un producto alimenticio calentado sólo conservará su jugosidad inicial cuando la metodología empleada permita limitar las pérdidas de moléculas de agua. Asimismo, el calor también introducirá alteraciones en el comportamiento del agua como disolventes de otras sustancias presentes en el alimento.

Los *lípidos* responden con el fenómeno de la fusión a las subidas de temperatura en el alimento donde se encuentren; las características de esta fusión puede variar de acuerdo con las propiedades físicoquímicas y estructurales del compuesto. Además, el calor favorece los procesos de oxidación cuando interviene el oxígeno del aire y están presentes ácidos grasos insaturados.

Los *carbohidratos* responden a la acción del calor según se trate de polisacáridos o simplemente azúcares. En relación con los polisacáridos, muchos alimentos de origen vegetal contienen almidón, que ofrece un comportamiento peculiar frente al tratamiento térmico.

A partir de los 50 °C, el calor lo va convirtiendo en un engrudo, de tal modo que se hincha con el agua fijada por su estructura química; en consecuencia se produce un incremento de la viscosidad del medio y un espesamiento o gelatinización.

En cuanto a los azúcares reductores, hay que tener en cuenta que pueden tomar parte de la reacción de Maillard cuando se encuentran bajo la acción del calor. Además, los tratamientos térmicos que superen los 150 °C de temperatura pueden dar lugar al fenómeno de la caramelización. En ambos casos, se producen coloraciones pardas en el alimento que contiene azúcares reductores.

Las *proteínas* se desnaturalizan, en general, por la acción del calor a partir de los 50°C de temperatura y cuando son enzimas pueden perder su actividad bioquímica, aunque no siempre ocurre, como es el caso de algunas lipasas. El fenómeno de la desnaturalización suelen dar origen a otros efectos con sus correspondientes repercusiones negativas para el alimento: pérdida de su capacidad para fijar agua por encima de los 68 °C, cambios en el color, modificaciones estructurales, coagulación a temperatura variable en función del alimento en el que toman parte, etc.

Finalmente, las *vitaminas* responden de diferente manera a la acción del calor. Ácido ascórbico, tiamina y ácido pantoténico son las vitaminas que ofrecen una mayor labilidad frente a la acción del calor sobre los alimentos de origen vegetal. Lo mismo ocurre con algunas vitaminas liposolubles, particularmente la vitamina A. En la práctica de la industria alimentaria se ha elegido la valoración de algunas de estas vitaminas para controlar el nivel de los efectos negativos de los tratamientos térmicos. Así se ha valorado la tiamina o el ácido ascórbico para conocer el porcentaje de destrucción que afecta a las vitaminas hidrosolubles, y la valoración de la vitamina A para controlar lo que ocurre con las liposolubles.

Métodos basados en el tratamiento térmico

La aplicación de calor a la conservación de los alimentos ha dado lugar al desarrollo de varias metodologías que se distinguen tanto por sus planteamientos tecnológicos como por sus fines. En general, son llevadas a cabo a diferentes temperaturas y, a veces también, a distintos tiempos; igualmente, la finalidad varía entre reducir la carga microbiana del alimento, destruir la mayoría de ellos y de modo particular los patógenos, o bien llegar a la asepsia total.

Tales métodos empleados en la actualidad por la industria alimentaria, ordenados por la intensidad del tratamiento térmico que aplican, son los siguientes: escalado, pasteurización, esterilización comercial y esterilización propiamente dicha.

Escaldado

En sí mismo considerado no representa un sistema que se aplica para la conservación de los alimentos que se van a almacenar, sino que más bien constituye un tratamiento previo de los productos alimenticios de origen vegetal, orientado a la estabilización de los mismos con respecto a sus actividades enzimáticas. Se suele aplicar a frutas y verduras, antes que reciban cualquier otro método de conservación: congelado, enlatado o esterilización comercial, deshidratación, etc.

Se trata de un tratamiento térmico que presenta dos características fundamentales:

- Corta duración.
- Temperatura moderada.

En la práctica, bastan pocos minutos a 95-100 °C para que se inactiven los sistemas enzimáticos de los productos vegetales.

Los principales objetivos a conseguir pueden encuadrarse en los siguientes:

- Expulsión de los gases tisulares ocluidos en las estructuras vegetales, de tal modo que se aumente su densidad y no floten en los líquidos de gobierno propios de los alimentos enlatados.
- Expulsión del aire para eliminar su oxígeno, con el fin de evitar posteriores oxidaciones.
- Inhibición de sistemas enzimáticos, cuyas actividades darían lugar a modificaciones químicas en el producto almacenado.
- Destrucción de algunos microorganismos presentes, dependiendo de la severidad de las condiciones bajo las que se aplique, además de inactivar enzimas.

Es un tratamiento que puede llevarse a la práctica mediante el empleo de vapor o bien con agua caliente. Esta segunda opción tiene sus ventajas y también sus inconvenientes: puede efectuar una limpieza del producto, a la vez que puede ocasionar pérdidas de sus componentes al extraer sustancias, en función del tiempo de escaldado. Incluso en el caso de que se plantee una recuperación del agua ya empleada para el escaldado, puede que se favorezca una selección de las especies de los microorganismos termófilos si no se toman las cautelas oportunas.

La elección del sistema más apropiado debe fundamentarse tanto en las exigencias del producto a tratar, como en el tipo de sistema de conservación que se vaya a aplicar con posterioridad. Los equipos tecnológicos más utilizados suelen ser los siguientes:

- Por vapor: con cortinas de agua, con cierres hidráulicos, en lecho fluidizado.
- Por agua.

Pasteurización

El término pasteurización hace referencia a tratamientos térmicos de baja intensidad, es decir, implica una aplicación de calor poco drástica a temperaturas que se sitúan siempre por debajo del punto de ebullición del agua. Por consiguiente, se

trata de un método de conservación que sólo conduce a una destrucción selectiva de la población microbiana patógena que está presente en el alimento. La elección de la temperatura a aplicar y el tiempo necesario para un tratamiento eficaz está condicionada por la garantía de no provocar cambios en la composición química del alimento.

Sus objetivos primarios pueden diferir en función de la naturaleza química del alimento que se trate:

- En el caso de algunos productos muy perecederos, generalmente con un pH escasamente ácido, como pueden ser la leche o los huevos líquidos sin cáscaras, el proceso se orienta hacia la destrucción de las bacterias patógenas asociadas con los alimentos para evitar problemas de salud pública, y a una reducción de la población microbiana banal. Con ello, se mantienen las propiedades sensoriales propias del producto fresco, pero su periodo de conservación resulta bastante corto.
- En otros casos más generales, que corresponden a productos con pH ácidos, como zumos cítricos, vinos, cervezas, etc., su objetivo se centra en prolongar su vida útil al ejercer una acción deletérea frente a microorganismos y enzimas. En estos alimentos no es preciso aplicar tratamientos drásticos porque las bacterias esporuladas no crecen a sus pH específicos. Sólo existen bacterias que resultan muy sensibles al calor, bastando para su destrucción temperaturas que no necesitan superar los 88 °C.

Bajo estas condiciones se consigue una estabilización del producto, que mantiene sus características sensoriales.

Por lo general, se aplican dos grandes grupos de tecnologías de pasteurización:

- Empleo de bajas temperaturas (60-65 °C) y tiempos bastante prolongados (3-4 horas).
- Empleo de altas temperaturas (75-90 °C) y tiempos muy cortos (2-5 minutos), que sólo afectan a los microorganismos, pero no los componentes químicos.

Normalmente, la pasteurización es bastante válida para alimentos líquidos, que pueden ser calentados y enfriados con una extraordinaria rapidez. No obstante, éste método no está restringido a los alimentos líquidos, sino que se extiende a otros muchos tipos, aunque se suele aplicar cuando se trata de responder a las necesidades que siguen:

- Cuando no convienen tratamientos térmicos muy severos por existir el riesgo de alterar las propiedades sensoriales del producto.
- Cuando sólo se busca la destrucción de algunas especies de microorganismos patógenos.
- Cuando resulta ser el método más apropiado para eliminar microorganismos, que después van a competir con los destinados a provocar una fermentación deseable, generalmente presentes por la adición de cultivos iniciadores seleccionados.
- Cuando el pH bajo del alimento permite destruir con cierta facilidad las especies de microorganismos capaces de vivir bajo esas condiciones, o bien impide la proliferación de las especies más termorresistentes.

El núcleo central de los sistemas tecnológicos empleados para la pasteurización son los cambiadores de calor, que difieren según se tengan que aplicar a alimentos envasados o a líquidos sin envasar.

En el caso de alimentos envasados, los cambiadores pueden responder a dos tipos:

- Por inmersión en baño de agua.
- Por lluvia de agua.

Para el caso de alimentos líquidos sin envasar, los cambiadores pueden ser muy diversos, según su fundamento tecnológico:

- Con circulación de los fluidos: flujo en contracorriente y flujo en paralelo.
- Por transmisión de calor.
- Tubulares: con tubos coaxiales, multitubulares de envolvente, de superficie rascada, etc.
- De placas.

Aunque los productos pasteurizados no sean fuentes de microorganismos patógenos, deben ser protegidos de la actividad de los alterantes, que limita la vida comercial del alimento durante el almacenado. Esta circunstancia se puede evitar mediante un consumo inmediato o con el complemento de otros métodos que impidan su proliferación cuando las condiciones ambientales les sean favorables. Es normal que la pasteurización se acompañe de procedimientos que garanticen la buena conservación: envases herméticamente cerrados, envasado a vacío, refrigeración hasta su consumo, adición de agentes acidulantes, adición de azúcares concentrados, adición de sales de curado, etc.

Esterilización comercial

Cuando se precisa una conservación a más largo plazo resulta necesario aplicar tratamientos térmicos bastantes más enérgicos. En este caso, hay que recurrir al proceso denominado *Conserva alimenticia*, *Appertización* (en recuerdo del francés Appert) o *Esterilización comercial*. Se trata de una operación a realizar con alimentos introducidos en recipientes cerrados, que posteriormente se someten a los efectos del calor proporcionado por un autoclave, que siempre alcanza temperaturas superiores a los 100°C.

Es un método de conservación de alimentos que hace referencia a tratamientos industriales de esterilización térmica, en los que una adecuada combinación del binomio temperatura-tiempo permite la destrucción de los microorganismos patógenos y de todos aquellos que producen toxinas, así como algunos otros alterantes que podrían ocasionar problemas de estabilidad bajo condiciones normales de almacenado o manipulación. Aunque esta operación presenta gran eficacia sobre la calidad higiénica del alimento y permite un almacenado a largo plazo, la mayoría de las veces los alimentos tratados de este modo pueden contener un cierto número de esporas bacterianas termorresistentes, aunque lo normal es que no se puedan desarrollar en el alimento durante la vida comercial estipulada.

Se suele llevar a cabo en autoclaves y, por lo general, los efectos del calor suele modificar las propiedades sensoriales de las materias primas tratadas. El proceso

tradicional implica la realización de seis fases sucesivas de operaciones tecnológicas:

1. *Preparación del alimento*, que puede variar de acuerdo con su naturaleza: selección y calibrado de materias primas, lavado de verduras, pelado y troceado de frutas, eliminación de partes no comestibles, eviscerado, escaldado, etc. Cuando no se realiza de modo correcto, o se emplea unas instalaciones mal diseñadas, puede abocar en un incremento de la contaminación bacteriana, con perjuicio del proceso térmico que puede llegar a resultados totalmente inadecuados.
2. *Escaldado*, a realizar cuando se trata de alimentos de origen vegetal, que tiene por objeto acondicionar el producto de tal modo que se asegure su estabilidad posterior al favorecer la inactivación de las enzimas, la muerte de algunos microorganismos y la eliminación de casi todo el aire ocluido en la masa alimenticia.
3. *Envasado*, operación mediante la cual el producto acondicionado (y en su caso escaldado) se introduce en el envase definitivo de acuerdo con las posibilidades técnicas actuales, que permite el llenado de modo mecánico y automatizado, aunque también puede hacerse a mano, como en tiempos anteriores. En cuanto al llenado, se debe prestar atención a dos factores: la exactitud en el peso que se introduce en el envase y el control del modo de llenado para que retenga la menor cantidad de aire posible. Este segundo aspecto resulta bastante difícil cuando se trata de productos semisólidos o de salsas espesas mezcladas con trozos sólidos.
4. *Expulsión del aire y cierre hermético*. La primera de las operaciones puede efectuarse por el empleo de calor, por inyección de vapor o de modo mecánico. No obstante, siempre debe quedar un mínimo de aire residual para que no se deforme el envase durante el tiempo de enfriamiento, que implica diferencias de presión entre el interior y el exterior. En algunos casos puede llevar hasta la rotura de los cierres herméticos, con el riesgo de fugas y contaminaciones microbianas posteriores. La operación de cierre hermético se suele realizar mediante suturas con cerradoras automáticas.
5. *Tratamiento térmico*. Una vez perfectamente envasados y cerrados los alimentos se introducen en los correspondientes autoclaves y se someten al tratamiento térmico previamente establecido en lo que hace referencia a los parámetros de temperatura y tiempo, adecuados para la instalación y tipo del alimento envasado, con el fin de alcanzar la esterilidad comercial. Estos parámetros han de estar de acuerdo con los valores de D y F deducidos para cada caso concreto.
Recordemos que el tiempo necesario para alcanzar la esterilidad comercial depende de la contaminación microbiana inicial, que si fuera muy elevada requeriría tiempos demasiados prolongados, normalmente incompatibles con la integridad de la calidad el alimento. De aquí que tenga gran importancia el estudio previo de cada instalación y alimentos a tratar para conocer cómo llegará la penetración del calor a todas las partículas y de modo especial hasta el denominado punto frío de cada envase.
6. *Refrigeración*, que debe ser llevada a cabo con la máxima rapidez, una vez que haya sido dado por concluido el tratamiento térmico, para que cese de

inmediato la transferencia de calor. En caso contrario puede ocurrir un sobrecalentamiento del alimento, al menos en su zona superficial. Sin duda, la eficacia con que sea realizada esta última fase incidirá sobre la calidad y estabilidad del producto acabado.

Los alimentos que reciben este tipo de tratamiento térmico corresponden a los conocidos como conservas alimenticias y pueden alcanzar una duración de por lo menos dos años para su vida media comercial. No obstante, después de un periodo tan prolongado de conservación no puede extrañar que en el momento de su consumo el producto pueda presentar alguna alteración relacionada con su textura o su flavor, pero siempre como consecuencia de causas químicas, nunca microbianas.

Esterilización

Se trata de aplicar el calor de una forma drástica de tal manera que se destruyan casi en su totalidad las células y las esporas termorresistentes, con el fin de alcanzar una estabilidad duradera en el alimento sin riesgos para la salud pública. Lo normal es que los alimentos esterilizados resistan periodos muy prolongados de conservación, siempre que permanezcan aislados del ambiente exterior.

Al ser tratamientos térmicos intensos, tienen que ser llevados a cabo a temperaturas superiores a la de ebullición del agua. Con frecuencia se aplican tratamientos alrededor de los 120 °C de calor húmedo, con tiempos relativamente cortos aunque de duración necesaria para que el calor llegue a todas las partículas del producto. Este tiempo varía de unas condiciones a otras, pero al ser siempre tan drástico es normal que provoque cambios en los componentes químicos del alimento y disminuya su calidad.

Para su aplicación se emplean autoclaves que trabajan a presión por encima de la atmosférica, aunque la tecnología varía según que el tratamiento se aplique antes o después del envasado del alimento. La esterilización de los alimentos envasados exige, en muchos casos, un tratamiento previo de los productos frescos, como troceado, escaldado, etc. La elección del sistema que se va a emplear debe ser realizada de acuerdo con las exigencias de la producción comercial: calentar antes o después del envasado y en este segundo caso elegir entre los sistemas de esterilización por carga o en continuo (Tabla 21.1).

El tratamiento se ha de llevar a cabo sobre producto envasado y sistema de carga, cuando se ha comercializar un gran número de productos diferentes y envases de tipo y tamaño diversos. En cambio, cuando se trata de alimentos líquidos cuya viscosidad permita su bombeo, se puede plantear un tratamiento anterior a su envasado. Normalmente se aplican temperaturas muy altas (entre 135 y 150 °C) que permite tiempos muy cortos (sólo 4-15 segundos).

Precisamente en estas condiciones se basa el denominado proceso UHT (iniciales del nombre inglés *Ultra High Temperature*), cuya aplicación permite el ahorro no sólo de tiempo sino también de mano de obra, espacio y energía. Debido a la rapidez de aplicación apenas afecta a las propiedades sensoriales del alimento, pero exige que una vez alcanzada la esterilización el producto se mantenga bajo condiciones asépticas hasta su envasado hermético definitivo.

Tabla 21.1
Sistemas de esterilización para productos envasados

Sistema por cargas

- Calentamiento por vapor de agua saturado.
- Calentamiento por mezcla de aire y vapor de agua.
- Calentamiento por agua sobrecalentada: por inmersión o por lluvia.

Sistema en continuo

- Hidrostáticos.
 - Neumohidrostáticos.
 - Por llama directa.
-

Las industrias de zumos, derivados lácteos, sopas, helados, etc. suelen aplicar tratamientos *UHT*, que pueden corresponder a dos tecnologías diferentes:

- Tratamiento térmico directo: el producto toma contacto directo con el medio calefactor, que generalmente se trata de vapor de agua.
- Tratamiento térmico indirecto: el calor se transmite a través de una superficie de separación integrada en un cambiador de calor.

Conservación por reducción del contenido acuoso

- Introducción.
- Mecanismos implicados en la separación del agua de un alimento.
- Los procesos de desecación y deshidratación.
- El proceso de la liofilización aplicado a los alimentos.
- Los procesos de concentración.

Introducción

Uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos es el proceso de secado o reducción de su contenido acuoso. Se cree que en el período Paleolítico ya se secaban al sol la carne o el pescado capturados. Por tanto, hace muchos siglos que el ser humano aprendió a copiar los procesos de la naturaleza para mejorar la estabilidad de las materias primas alimenticias conseguidas y prolongar la vida útil de su consumo. Los alimentos que contienen poca cantidad de agua, como algunas semillas, pueden ser bien conservados, pero no ocurre así con la mayoría de ellos en los que es preciso reducir su contenido acuoso para estabilizarlos frente a las actividades nocivas de enzimas y microorganismos. Se sabe que la mayoría de las bacterias patógenas no resisten la desecación del alimento, pero sus formas esporuladas sí pueden ofrecer resistencias. Por ello, todavía se sigue utilizando este aprovechamiento del calor del sol para el secado de los alimentos, en un principio reservado a carnes y pescados, y extendido posteriormente a diversos tipos de frutas, como higos, dátiles, uvas, etc.

Algunas poblaciones de escasos recursos económicos siguen utilizando este método por ser el procedimiento de secado de más bajo costo, aunque en la práctica adolezca de obvias desventajas:

- Dependencia de la climatología.
- Lentitud de la operación.

- No resulta aconsejable para las materias alimenticias más sensibles a la acción del calor y que suelen gozar de una calidad muy apreciada.
- Alcanzar un contenido acuoso final nunca inferior al 15 %, cifra todavía elevada para garantizar una buena estabilidad en los almacenamientos prolongados.

Ya en el siglo XVIII se tanteó la posibilidad de utilizar un secado artificial con algunos tipos de alimentos, mediante un flujo de aire caliente, que ha desembocado hoy día en la tecnología de los productos desecados, que consiste en un secado artificial llevado a cabo en cámaras bajo condiciones controladas.

De todos modos, no se debe confundir el secado intencionado de un alimento con la pérdida de agua que se produce en algunos procesos de elaboración de alimentos, como embutidos, quesos, pan, tostado de café, etc. Incluso en algunas ocasiones esta pérdida de agua puede ser un fenómeno no deseable.

Algunos autores aplican denominaciones diferentes según el resultado final que se alcance:

- *Desecación*, cuando se elimina parte del contenido acuoso del alimento, hasta que su humedad se equilibra con la del ambiente.
- *Deshidratación*, cuando la eliminación de agua viene a ser prácticamente casi total.

Ha sido en el siglo XX cuando la industria alimentaria ha hecho resurgir los métodos ancestrales de eliminación de agua de los alimentos como método de conservación de los mismos, por las ventajas que dicho procedimiento significa. Con estos sistemas se consigue proporcionar una mayor estabilidad a los alimentos, porque con ellos se reduce de modo notable la disponibilidad del agua (a_w) y en consecuencia se impide el desarrollo microbiano y se disminuye la actividad de los sistemas enzimáticos.

En el secado de los alimentos, sobre todo en la segunda de las tecnologías indicadas bajo el nombre de *deshidratación*, el éxito de su resultado final presenta bastante dificultad, porque al forzar el proceso para alcanzar el bajo contenido en humedad requerido, da lugar a que se produzcan cambios importantes en los componentes químicos del alimento. Aunque el principal objetivo del secado es incrementar la vida útil comercial del producto, tiene en cambio como contrapartida el riesgo de modificar con mayor o menor intensidad la calidad nutritiva y sensorial del producto.

No obstante, en la actualidad la industria alimentaria aplica los métodos de secado buscando no sólo el beneficio de una mayor estabilidad, sino también el interés económico de la reducción de peso y, a veces, de volumen con sus correspondientes ventajas de transporte y almacenado. Precisamente algunos métodos recientes de secado se eligen por conservar la forma y tamaño original del producto alimenticio, como es el caso de la liofilización. Un tercer objetivo buscado para el secado de los alimentos sería la obtención de productos más cómodos de usar, como ocurre con el café de solubilidad instantánea. En estos productos basta añadir agua, o mezclar, para proceder a su consumo.

Además de los procedimientos tradicionales del secado de los alimentos hoy día se hace también de la denominada *concentración*, conjunto de procesos en los que la eliminación de agua se consigue de diversas maneras: evaporación, congelación, prensado mecánico, ultrafiltración a través de membranas, concentración osmótica, centrifugación, extracción con disolventes, etc.

Una vez deshidratado el alimento, su buena conservación pasa por un almacenamiento al abrigo de la humedad, del oxígeno del aire y de la luz, que afecta a pigmentos y cataliza oxidaciones. Por consiguiente, tiene gran importancia una adecuada elección del material de envasado para defender a los alimentos desecados de los factores alterantes citados. El material de envase debe ser escogido de acuerdo con los factores siguientes: naturaleza del alimento; condiciones de envasado y almacenado; propiedades protectoras del material; facilidad de empleo; disponibilidad de mercado; costo.

El principal criterio que se aplica para juzgar la bondad de los alimentos desecados es la capacidad que presentan para ser reconstituídos por adición de agua y recuperar las propiedades perdidas del material original.

Mecanismos implicados en la separación de agua de un alimento

Desde el punto de vista físico, la eliminación del agua de un alimento suele tener lugar en forma de vapor que escapa a la atmósfera en la que se encuentra el alimento. Se produce así un proceso de secado en el que cabe distinguir la intervención de dos mecanismos fundamentales:

- Una *transferencia de calor*, que aporta la energía necesaria para que las moléculas de agua pasen desde el estado líquido al estado de vapor.
- Una *transferencia de masa*, porque el vapor de agua se desplaza por difusión a través del alimento y cuando llega a la superficie se evapora al medio ambiente.

Ambos mecanismos están regulados por varios factores, que pueden variar en cada caso:

- Temperatura del producto alimenticio.
- La superficie del alimento que sirve de intercambio con su medio ambiente.
- El contenido acuoso del alimento.
- Las propiedades del medio calorífico: humedad relativa, temperatura, presión de vapor, etc.
- Los movimientos de fluidos.

Un buen control de cada uno de estos parámetros permite regular la velocidad de secado y el costo de las operaciones, así como su rendimiento y la calidad del producto ya desecado.

Para eliminar parte del contenido acuoso de un alimento se pueden aplicar dos metodologías diferentes:

a) *Por vía mecánica*

Sólo permite la separación de un cierto porcentaje del contenido acuoso, que nunca llega a ser inferior al 60 %. Además, parte de lo que se elimina no son moléculas de agua pura, sino que suelen ir acompañadas de algunos solutos.

b) *Por vía térmica*

Se trata de procesos que implican fenómenos de transferencia, tanto de masas como de calor, aunque para conseguir lo primero sea necesario proporcionar una cierta activación previa a las moléculas de agua mediante el aporte de energía calorífica.

En este segundo grupo metodológico caben distinguir dos sistemas de actuación diferentes:

- *Por ebullición*, es decir, el producto es calentado hasta que la presión de vapor de su agua se iguala con la del ambiente y pasa a éste en forma de vapor. Cuando se trabaja a la presión atmosférica es preciso llegar hasta los 100 °C, temperatura necesaria para la ebullición del agua, mientras que a vacío se consigue a temperaturas mucho más bajas, aunque resulta de un costo superior.
- *Por arrastre*, donde la energía se aporta mediante flujo de aire caliente, que tiene una presión de vapor inferior a la del producto.

En cualquier caso, el agua contenida en los alimentos se elimina por evaporación desde la superficie del alimento a la que llega a través de mecanismos de difusión por toda su estructura interior, bien en la forma de fase líquida como en la de fase de vapor, en este caso después de una activación térmica. En consecuencia el proceso implica un transporte simultáneo de materia y de calor.

De acuerdo con la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el alimento, se produce un gradiente de transmisión de calor hacia el interior. Cuando esta energía térmica resulta suficiente, las moléculas del agua contenidas en el alimento pasan a la fase de vapor. A su vez aparece un gradiente de presión que hace emigrar las moléculas de agua hacia la superficie del alimento, desde la cual puede experimentar el fenómeno de la evaporación.

Las instalaciones de trabajo más usuales disponen de aire como medio, que sirve de vehículo a la energía calorífica y por tanto la transferencia de calor tendrá lugar por convección. De aquí que la intensidad y eficacia del proceso en estos casos dependan de los siguientes factores: la temperatura del aire, su humedad relativa, su velocidad, la superficie alimentaria con la que contacta y la presión.

Cuando se representa el porcentaje de humedad del alimento frente al tiempo de tratamiento térmico (Fig. 22.1) se puede observar que la curva representativa del proceso de desecación se caracteriza porque transcurre siguiendo varias fases sucesivas:

Zona I (precalentamiento)

Periodo de tiempo necesario para que todo el agua del alimento alcance la temperatura a la que se igualan la presión de vapor en el alimento con la del ambiente.

Zona II (velocidad constante)

Periodo de tiempo durante el cual las moléculas de agua superficiales se evaporan con un flujo de masa constante, hasta que se llega al punto conocido como de *humedad crítica* (alrededor del 2 %). No constituye una propiedad de la naturaleza del alimento sino una función del tamaño de las partículas que los componen y de las condiciones específicas del aire caliente usado como medio de secado.

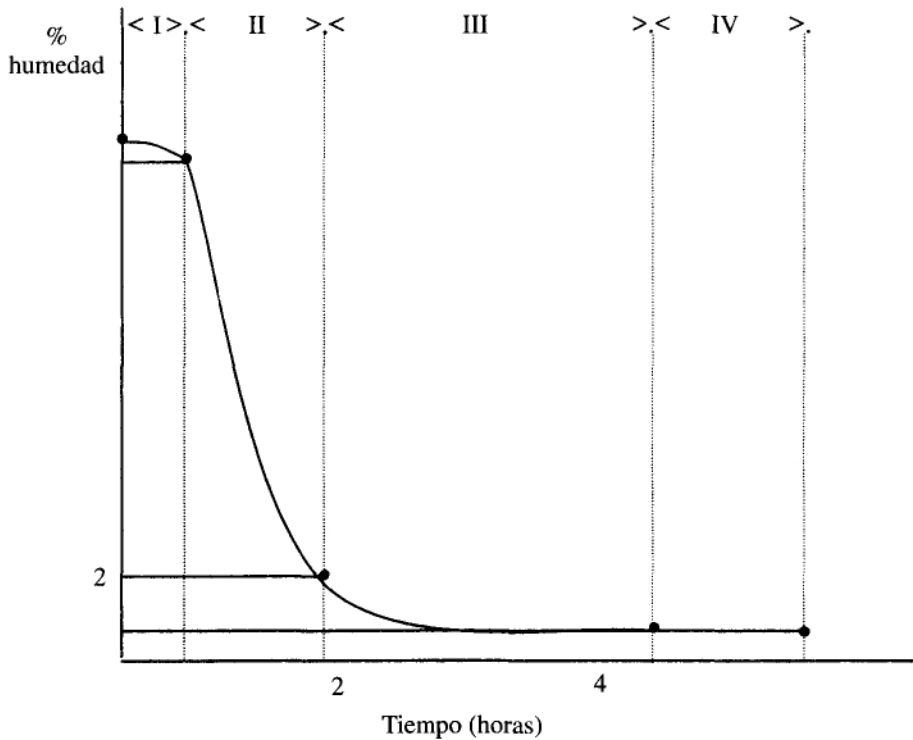


Figura 22.1. Representación gráfica de un proceso de desecación.

Zona III (velocidad decreciente)

Periodo de tiempo que comienza cuando la superficie del alimento alcanza el umbral de higroscopicidad, que da lugar a una reducción en la velocidad de secado debido a que cada vez se hace más difícil la evaporación de nuevas partículas. Normalmente, la superficie del alimento forma una costra, que representa una barrera para que salga al exterior el resto de las moléculas acuosas situadas en el interior del alimento.

Zona IV (velocidad decreciente con tendencia asintótica hacia cero)

Periodo final de la desecación en la que hay que forzar mucho para que el alimento pueda perder todavía un pequeño porcentaje de agua. En esta situación, los efectos del calor se hacen notar sobre los componentes químicos del alimento, que sufren algunas modificaciones.

Los diversos modos aplicados por la industria alimentaria actual para eliminar agua de los alimentos se pueden agrupar en dos categorías, que a su vez puede dividirse en variantes en cuanto a sistemática de aplicación:

I. *Desecación*, que en la práctica se puede realizar bajo tres modos tecnológicos diferentes:

- a) *Secado por aire o por contacto*. Se lleva a cabo a la presión atmosférica normal y el calor se transfiere por convección cuando se usa aire y por conducción si se emplea una superficie de contacto caliente.
- b) *Secado bajo vacío*. Tiene lugar a presiones reducidas para aprovechar la ventaja de la disminución que experimenta el punto de ebullición del agua bajo esas condiciones, por lo que se facilita el fenómeno de la evaporación.
- c) *Liofilización o crio-deshidratación*. Se trata de una de las metodologías más modernas basada en dos procesos sucesivos: una primera congelación de las moléculas de agua contenidas en el alimento y una segunda sublimación de los cristales de hielo cuando el producto se sitúa bajo un gran vacío para aprovechar las propiedades del denominado *punto triple* del agua.

II. *Concentración*, caracterizada por una eliminación parcial del contenido acuoso del alimento, que en el punto final conserva todavía un porcentaje de agua importante desde el punto de vista del riesgo de inestabilidad. Puede ser llevada a cabo bajo diversas tecnologías:

- *Evaporación*.
- *Congelación*.
- *Ultrafiltración*.
- *Deshidratación aceotrópica*.

Los procesos de desecación y deshidratación

Considerada la desecación de alimentos como uno de los métodos de conservación más antiguos aplicado por el ser humano, puede afirmarse que su empleo data de muchos siglos. En la actualidad se trata de un proceso que la industria alimentaria ha copiado de la propia naturaleza, aunque para su correcta ejecución haya introducido notables mejoras. Su mecanismo consta esencialmente de un fenómeno de evaporación, cuyos fundamentos hacen referencia a la misma acción que se pretende con una desecación: separar del alimento una gran parte de las moléculas de agua que contiene.

Como ha sido comentado con anterioridad, el proceso de secado de un alimento implica el suministro de calor para que pueda expulsar la mayor parte de su contenido acuoso. Por consiguiente, consiste en la intervención de dos fenómenos de diferente naturaleza: el aporte de energía calorífica y la evaporación de moléculas de agua. Sin embargo, no siempre ambos fenómenos se ven favorecidos por las mismas condiciones tecnológicas aplicadas, hasta el punto que es posible elegir un modo de transferencia de calor eficiente, pero que por su sistema de aplicación puede impedir la liberación de la humedad libre.

En la práctica de la industria alimentaria, este proceso artificial de secado, unas veces considerado como desecación y otras denominado deshidratación según los objetivos alcanzados, se lleva a cabo haciendo uso de los equipos conocidos como *deshidratadores*, que pueden responder a sistemas y equipos de trabajo muy diversos, dentro de la gran variedad comercial de posibilidades que se relacionan en la Tabla 22.1. Por lo general, cada uno de ellos intenta conseguir la máxima velocidad

Tabla 22.1
Sistemas y equipos de deshidratación

Secaderos solares. Naturales (directos, semiindirectos), semiartificial y asistidos.

Secado por gases calientes. De horno, de bandeja o armario, de túnel, de cinta transportadora, rotatorios, de lecho fluidizado, por arrastre neumático y por atomización.

Secado por conducción. De bandeja a vacío, de tornillo sin fin y de rodillos.

Otros. Hornos microondas y deshidratadores osmóticos.

de secado, por lo que todo el esfuerzo de diseño se centra en favorecer las velocidades de transferencia de masa y de calor. La mayoría de los sistemas emplean para desecar un flujo de aire caliente, cuyas humedades relativas están bien controladas. Además, con el fin de impedir el empleo de temperaturas demasiado elevadas ha sido introducida la posibilidad de actuar bajo vacío o a presiones reducidas.

Cualquiera que sea el sistema y equipo empleado existen varios factores cuyo control posee una gran importancia para conseguir un resultado final aceptable, pues cualquier descuido en alguno de ellos puede dar lugar a un incremento de la velocidad de evaporación en la superficie del alimento. En este caso, se forma una costra superficial que impide la difusión del agua interior, así como su salida mediante la evaporación. Entre los principales factores caben citar los siguientes:

- a) Área superficial.
- b) Temperatura, que varía con el tipo de alimento y el sistema aplicado.
- c) Humedad relativa, que varía con el alimento, con el sistema aplicado y con la fase en la que se encuentra la desecación.
- d) Velocidad del aire.
- e) Tiempo de duración del tratamiento térmico.

Por lo general, todo alimento que haya de ser sometido a los procesos de desecación o deshidratación necesita ser troceado para beneficiar las transferencias de calor y de masas. Con este troceado se favorece la desecación por dos razones:

- Por incrementar el área superficial que sirve, tanto de contacto con el medio calefactor, como de lugar por donde han de evaporarse las moléculas de agua.
- Por reducir la distancia que existe entre la superficie del alimento y su centro geométrico. Hay que tener en cuenta que dicha distancia tiene que ser atravesada por el calor y, lo que es más importante, ha de ser recorrida por las moléculas de agua para llegar hasta la superficie y evaporarse.

La diferencia de temperatura entre el medio térmico del secador y el alimento ayuda a la transferencia de calor y permite aportar una mayor cantidad de energía para poder separar la humedad.

Cuando el medio calorífico es el aire, la temperatura adquiere todavía más importancia, en unión del movimiento de ese aire, porque ayuda a desaparecer de la superficie del alimento el aire que se ha saturado de vapor de agua.

Igualmente, la sequedad del aire, medida en términos de su humedad relativa, coopera a la evaporación del agua desde el alimento. Cada producto alimenticio

está caracterizado por una determinada actividad de agua (a_w), es decir, posee su propia humedad relativa de equilibrio a la cual ni pierde ni gana agua en relación con el medio ambiente en el que se encuentra. Esto significa que sólo podrá ser desecado cuando el aire tenga valores de humedad relativa situados por debajo de esta humedad de equilibrio. No obstante, hay que tener en cuenta que los alimentos desecados suelen ser bastante higroscópicos y fácilmente pueden tomar humedad del medio ambiente.

Como se ha visto, existen algunos factores físicos, tales como área superficial, temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, etc., que afectan a las transferencias de masas y de calor, pero que en cierto modo resultan fáciles de controlar y optimizar. Pero también caben citar algunas propiedades de los alimentos que pueden afectar de modo sutil al proceso de secado al incidir sobre la velocidad de eliminación de moléculas de agua. Todas estas propiedades presentan el interés de influir en la calidad del producto final.

Así, por ejemplo, pocos alimentos resultan homogéneos a nivel molecular y por tanto es normal que en los alimentos heterogéneos la transferencia de calor difiera de unas zonas a otras, siempre en función de su composición química y también de la orientación tomada por las zonas ricas en algunos compuestos como las grasas, porque la humedad tiende a circular de modo paralelo a ellas en vez de atravesarlas. Y lo mismo ocurre con los sistemas emulsión de algunos alimentos, en los que el proceso de secado resulta más rápido cuando la fase continua es el agua y no la grasa.

La concentración de solutos eleva el punto de ebullición del agua y exige más cantidad de calor para conseguir la vaporización de sus moléculas. Por lo general, es el agua libre la que escapa con facilidad, mientras que el agua ligada tiene menos posibilidades para pasar a vapor debido a que posee una presión de vapor inferior.

También la porosidad de un alimento tiene su importancia porque facilita una de las características que se les exige a estos productos para que sean considerados aceptables: la fácil rehidratación posterior con características idénticas a las del producto natural, en tanto que a su vez conserva todo su valor nutritivo. Precisamente, una de las objeciones imputadas a estos métodos de conservación radica en la dificultad que tienen para responder de modo adecuado a estas exigencias. La razón es bien simple: para lograr una buena estabilidad en un producto que ha sido desecado hace falta alcanzar niveles muy bajos de humedad y con las metodologías propias del secado industrial se requiere que los tratamientos térmicos se prolonguen de un modo excesivo.

Como ilustra la representación gráfica de la Figura 22.1, durante las primeras dos horas (zona II) se evapora alrededor del 90 % del agua contenida en el alimento, mientras que situar la humedad del alimento por debajo del 2 % resulta muy difícil sin provocar daños en las propiedades del alimento, pues se necesitan varias horas de tratamiento térmico para conseguirlo (zonas III y IV). En este periodo final, la concentración de solutos en los líquidos celulares alcanza valores muy elevados, favoreciendo con ello la desnaturalización de las proteínas, que repercute de modo negativo sobre su rehidratación posterior.

Las principales ventajas que ofrecen los alimentos desecados o deshidratados son las siguientes: su estabilidad ante una conservación a temperatura ambiente; ofrecer una notable reducción en peso y volumen, reducciones que se obtienen en las dos primeras etapas del proceso en las que el porcentaje de humedad eliminado

depende del sistema y de las condiciones empleadas. La desecación y deshidratación producen alimentos más concentrados en nutrientes que cualquier otro método de conservación; no obstante, al igual que los demás métodos, los productos conseguidos no ofrecen mejor calidad que las materias primas de partida. Además, tampoco son estériles porque aunque hayan muerto algunas células vegetativas, no lo han hecho todas las esporas y lo mismo cabe señalar de algunos sistemas enzimáticos.

Los alimentos desecados o deshidratados sufren modificaciones que no se limitan a la pérdida de moléculas de agua. Algunas sustancias emigran dentro del alimento y muchas veces tienen lugar cambios irreversibles en los tejidos, que posteriormente van a impedir que la rehidratación sea correcta. Un problema importante es la oxidación de grasas y algunas vitaminas, de modo particular el ácido ascórbico, problema especialmente acuciado mientras más poroso resulte el alimento desecado, por la mayor superficie que presenta al contacto con el aire. Al cambiar las propiedades físicas y químicas de las materias primas no es de extrañar que se modifique su color, porque en este proceso también suelen sufrir cambios los pigmentos carotenoides y las antocianinas.

La desecación se aplica mucho a productos como ciruelas, dátiles, higos, manzanas, uvas, etc. En estos casos, la principal alteración se suele dar en carbohidratos, que se puede considerar como el componente orgánico principal de estos alimentos. De hecho pueden sufrir el pardeamiento enzimático y la caramelización con la ayuda del calor. También se reduce su contenido en vitaminas.

En la actualidad, abundan los productos deshidratados entre las formas comerciales alimenticias, de modo particular los alimentos en polvo, como la leche, los huevos, e incluso en algunos países se demanda la carne en polvo, obtenida a partir de carnes frescas o de carnes transformadas, mediante una digestión artificial, desecación y pulverización.

Precisamente, la gran demanda que tienen este tipo de alimentos ha dado lugar a que las técnicas empleadas en los distintos sistemas aplicados haya sido bastante perfeccionada, aunque no hayan podido soslayar todas las dificultades y fallos que se imputan a estos productos.

El proceso de la liofilización aplicado a los alimentos

La liofilización o crio-deshidratación es una variante de los métodos de conservación por eliminación de agua, utilizado por primera vez en la industria farmacéutica para la deshidratación de sustancias biológicas termolábiles y aplicado con posterioridad a los productos alimenticios. Los numerosos estudios realizados en los últimos años han permitido un amplio desarrollo orientado hacia una optimización del proceso, así como a la reducción de los costos de equipo, que vienen a ser unas cinco veces superior al de una desecación convencional.

Hasta el momento sólo resulta rentable cuando se aplica a productos alimenticios de elevado valor económico. Sin embargo, presenta la ventaja sobre otros

métodos de mantener la apariencia y textura de las materias primas tratadas, cosa imposible de conseguir con los demás métodos de secado. Además, los productos liofilizados ofrecen una excelente reconstitución.

La tecnología aplicada se basa en el empleo de bajas temperaturas y presiones reducidas, para situar a los cristales de hielo, formados bajo unas condiciones específicas, por debajo del punto triple del agua, que corresponde a la temperatura de 0 °C y a la presión de 4,7 mm de Hg (Fig. 22.2).

Por encima de una presión atmosférica de 4,7 mm de Hg pueden existir tres fases: sólida, líquida o de vapor del agua, según la temperatura, mientras que por debajo sólo pueden existir dos fases: la sólida y la de vapor. Un alimento que tenga toda su agua cristalizada y se encuentre en el punto A, a una presión de 4 mm de Hg, estará situado en la zona del punto triple donde un incremento de la temperatura le hará pasar al punto B con pérdida de moléculas de agua por sublimación de los cristales de hielo. En el caso de estar situado a una presión atmosférica superior (A') el incremento de temperatura provocará una fusión (B').

Este proceso de sublimación es un fenómeno endotérmico y, por tanto, para que tenga lugar necesita de un aporte de calor, aunque bajo condiciones de presión y temperatura controladas, para evitar que el alimento quede situado en una zona donde se produzca fusión del hielo y no sublimación.

La marcha del proceso puede ser observada de modo gráfico en la representación

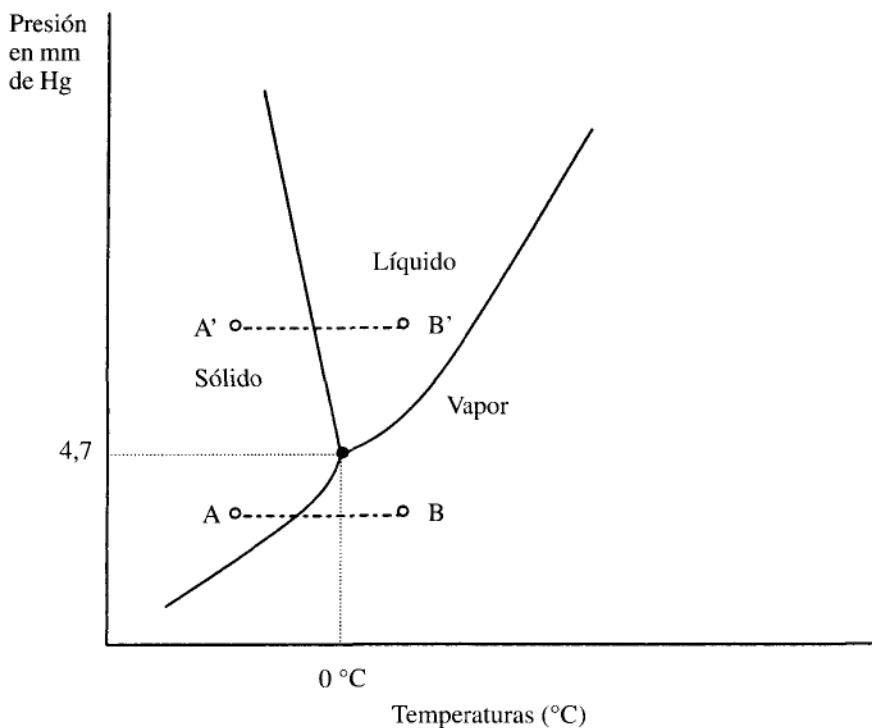


Figura 22.2. Diagrama del punto triple para las tres fases del agua.

de la Figura 22.3 en la que pueden apreciarse las distintas fases que caracterizan la realización del proceso en todo su conjunto, desde el punto A de arranque, hasta el punto G final, pasando por la cristalización del agua (B, C), la reducción de la presión atmosférica (D), la sublimación del hielo (E, F) y el ajuste de su contenido acuoso para asegurar una buena estabilidad durante su almacenado (G).

En definitiva, el proceso tecnológico implicado en la liofilización de un producto alimenticio se desarrolla en dos etapas diversas, la segunda de las cuales presenta de modo sucesivo dos rasgos diferenciados: *a)* ultracongelación, y *b)* una desecación primaria, seguida de una desecación secundaria.

No obstante, el proceso puede ser descrito de acuerdo con la enumeración de seis fases, cada una de las cuales exige una atención máxima para que con su buen desarrollo el producto final alcance la calidad que le corresponde de acuerdo con el valor comercial que se le asigna:

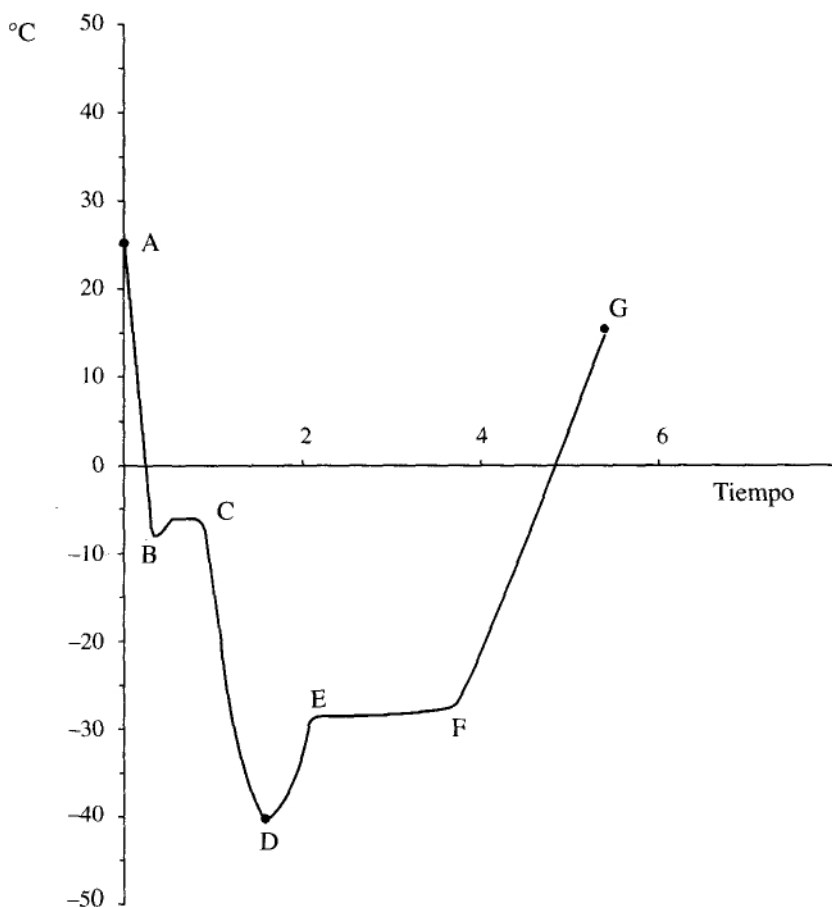


Figura 22.3. Representación gráfica de un proceso global de liofilización de un producto alimenticio.

1. *Acondicionamiento de la materia prima*

Antes de proceder a las operaciones tecnológicas implicadas, conviene llevar a cabo un buen acondicionamiento del producto alimenticio con el fin de alcanzar la máxima calidad en el alimento ya liofilizado.

Para ello se debe proceder a la realización de unas operaciones previas:

- *Selección*. Eliminar aquellos productos que presenten daños físicos o bien que las propiedades organolépticas no correspondan a las exigidas.
- *Limpieza*. Eliminar todos los cuerpos extraños.
- *Inactivación de las enzimas*. Someter el producto a un escaldado para inactivar las enzimas responsables de posteriores alteraciones.
- *Preparación*. Trocear al tamaño adecuado para la aplicación del proceso.

2. *Ultracongelación*

El alimento preparado se somete a un proceso de ultracongelación para que cristalice con gran rapidez todo su contenido acuoso y dé lugar a la formación de innumerables cristales de hielo de tamaño pequeño y uniforme, que fijen la distribución intersticial primitiva del sistema coloidal que caracteriza la textura del alimento. Precisamente, la principal ventaja que ofrece este costoso método para la eliminación del contenido acuoso radica en que dicha eliminación se realiza en un medio totalmente sólido y a muy baja temperatura (siempre por debajo de los -20°C). Con ello, no existen movimientos de líquidos y solutos, ni contracción de volumen, pero sí quedan prácticamente inactivados todos los sistemas enzimáticos.

No obstante, algunos productos necesitan que se formen grandes poros para facilitar la salida del vapor sublimado y esto se consigue mediante una congelación algo lenta del agua, para que tenga lugar la formación de cristales de hielo de mayor tamaño, que al sublimar dejan un hueco de dimensiones suficientes para que desempeñen la función de un poro grueso.

3. *Sublimación*

Se procede a situar el alimento en un ambiente que tenga una presión atmosférica por debajo de la que corresponde al punto triple del agua y se le aporta una cantidad de energía calorífica controlada para que tenga lugar la sublimación de los cristales de hielo. Si el vacío no fuera tan elevado se obtendría una fusión del hielo. En cambio, con la sublimación se consigue lo que se denomina *deseccación primaria*, porque se elimina alrededor del 90 % del contenido acuoso y viene a dejar al producto con una humedad del 15 %.

4. *Extracción del vapor de agua*

Cuando la sublimación se da por terminada es conveniente realizar la extracción del vapor de agua aplicando cualquier tipo de mecanismo físico de extracción continua de vapor.

5. *Acondicionamiento del producto*

Como en este punto no hay hielo desaparece el riesgo de una fusión si el alimento incrementa su temperatura. Al no retirarse el calor de sublimación, tiene lugar un cierto calentamiento del *producto seco*, circunstancia importante para que el agua ligada residual pueda ser liberada y ponerse en condiciones para su evapo-

ración. En la práctica, el producto se mantiene durante un tiempo de dos a seis horas a la temperatura entre 20 y 60 °C, pero siempre bajo vacío. Este período de acondicionamiento es importante para ajustar la humedad del alimento al 2-8 % que suele corresponder a la capa monomolecular de agua ligada, pues de este modo se asegura la máxima estabilidad durante su futuro almacenado.

No obstante, si la temperatura del producto superara cierto nivel, existe el riesgo de posibles alteraciones, tales como desnaturalización de proteínas, pardeamiento no enzimático, destrucción de pigmentos, pérdida de sustancias volátiles, etc. Finalmente, el vacío se sustituye por un arrastre de N₂, que en unión de un envasado adecuado protegerá al alimento liofilizado de oxidaciones posteriores.

Un factor crítico para el almacenado es el contenido en humedad residual y de manera especial la higroscopicidad de estos productos. Por ello, es importante protegerles con un envase adecuado para que no puedan tomar humedad del aire, ni pueda tener contacto con el oxígeno del aire, pues son compuestos que por su porosidad ofrecen una gran extensión de superficie de contacto y por ello resultan muy sensibles a las oxidaciones.

6. Reconstitución

Para usar el alimento liofilizado es necesario proceder a su reconstitución, es decir, llevar a cabo una rehidratación. La rapidez y facilidad con que puede desarrollarse esta operación marca la calidad del producto liofilizado.

En relación con las instalaciones, la liofilización de productos alimenticios puede ser llevada a cabo mediante dos tipos diferentes de equipos tecnológicos:

- Equipos con placas, de manera discontinua.
- En túneles, de manera continua.

Sus elevados precios limitan bastante sus aplicaciones en la industria alimentaria. No obstante, los estudios realizados a nivel experimental han puesto de manifiesto resultados muy satisfactorios, hasta el punto que en el caso de manzanas y espinacas se consiguen calidades que pueden competir con la de los productos ultracongelados. Hasta el momento su presencia en el comercio alimentario no es muy abundante, destacando los siguientes:

- Productos de venta al detall: café liofilizado, té instantáneo, extractos de especias, huevos en polvo liofilizado, champiñones, algunos mariscos, etc.
- Productos base para alimentos preparados: carnes en trozos, champiñones, verduras y mariscos con destino a la fabricación de sopas en polvo, productos lácteos y frutas para elaborar «puddings», fresas para la fabricación de helados, etc.
- Platos preparados con destino a la restauración colectiva en hospitales, colegios, etc., aprovechando la optimización de su tecnología llevada a cabo por la NASA para la comida de los astronautas.

Su aplicación comercial es aconsejable para aquellos productos alimenticios que muestran algunas de las seis características que siguen:

- Inestables.
- Termosensibles.
- Necesitan de una rápida y completa deshidratación.
- Han de reducir su peso.

- No resulte aconsejable su almacenado bajo refrigeración o congelación.
- Poseen un elevado precio comercial.

Como medio de conservación, la tecnología de la liofilización ostenta diversas ventajas, entre las que caben destacar las que se relacionan a continuación:

- Se lleva a cabo a temperaturas tan bajas que no alteran los productos termolábiles.
- Los productos liofilizados carecen de agua libre y por tanto no implican riesgos de hidrólisis ni de proliferación microbiana.
- Se obtienen productos con tal porosidad, que permiten una rápida reconstitución.
- Son productos poco densos.
- Para su buena conservación no necesitan de la ayuda de la refrigeración.

Sin embargo, también se le pueden señalar algunos inconvenientes esenciales:

- Lentitud en el procesado del alimento.
- Al perder todo el agua se incrementa de modo notable la concentración de solutos, que puede ser ocasión de daños químicos.
- Las instalaciones y equipos exigen una elevada inversión económica.

Para conseguir el acabado en la eliminación del agua de un producto alimenticio, tanto en la desecación como en la liofilización, puede resultar eficaz hacer uso de los hornos de microondas como método complementario. Desde finales del siglo XIX se conoce que las fricciones intermoleculares provocadas en los materiales biológicos por las ondas electromagnéticas de alta frecuencia puede convertir esta energía en calor.

En general, los alimentos no son buenos conductores térmicos, pero cuando se les coloca en un campo electromagnético alterno se originan rápidas oscilaciones en sus dipolos moleculares, de modo particular en las moléculas de agua.

La energía calorífica obtenida es tan grande que el agua se vaporiza de modo inmediato. De aquí que el empleo de los hornos microondas para afinar la desecación de algunos alimentos haya resultado bastante válido para eliminar la humedad residual que queda en algunas zonas, en cierto modo prohibidas a la acción del calor convencional. En consecuencia, se consigue que el agua localizada en las zonas más recónditas se transforme en vapor, sin sobrecalentar las zonas externas del alimento, ni provocar migraciones de solutos en el interior del mismo.

Los procesos de concentración

En muchas ocasiones, la industria alimentaria se encuentra ante la necesidad de concentrar alimentos líquidos y para ello aplica sistemas tecnológicos que permiten eliminar parte de su agua. En la práctica también representa un procedimiento de conservación, que se diferencia de la desecación por los contenidos finales en agua y en las características de los productos obtenidos, pues el alimento concentrado mantiene su estado líquido inicial.

No obstante, solamente en algunos alimentos se emplea como medio de conservación, pues la mayoría de las veces se aplica por las ventajas económicas que

suponen las reducciones en peso y en volumen. Desde luego, la concentración incrementa la vida útil comercial, sobre todo en aquellos productos donde se puede dar un aumento en las concentraciones de sal o de azúcar, que por efectos osmóticos son desfavorables para la vida de la población microbiana.

En la actualidad se dispone de las tecnologías más diversas para conseguir una concentración de los alimentos líquidos:

Evaporación

Representa la técnica más antigua y más usada hasta nuestros días y se basa en el suministro de energía térmica con el fin de elevar la temperatura del líquido hasta conseguir la vaporización de parte de su contenido acuoso, de tal modo que el producto alimenticio líquido alcance la deseada concentración en solutos. El rendimiento del proceso depende de las características de la materia prima a concentrar, de modo particular en lo que hace referencia a sus propiedades térmicas y Teológicas.

En muchos productos existe el riesgo de la aparición de efectos negativos con el aumento de la concentración de solutos: desnaturalización de proteínas, degradación de vitaminas, hidrólisis del disacárido sacarosa, desarrollo de coloraciones y sabores anormales, etc. Por lo general, se aplica fundamentalmente a la elaboración de concentrados de productos lácteos y zumos de frutas.

Congelación

Es un procedimiento de concentración basado en una reducción controlada de la temperatura del producto líquido hasta conseguir una cristalización parcial de su agua. Se obtiene así un fluido concentrado, que incorpora una mezcla de cristales de hielo muy puros cuando han cristalizado bajos las condiciones apropiadas. Separados los cristales por centrifugación se consigue un líquido con la misma cantidad de solutos que en el comienzo de la operación, pero a concentraciones mayores.

Es un proceso que se puede aplicar a diversos tipos de alimentos: vinagres, vinos, zumos de naranja, extractos de café, jarabes de azúcar, etc. Aunque los resultados que se obtienen superan a los de otras técnicas, sin embargo su aplicación está limitada por el grado de concentración que se desea alcanzar, porque cuando hay que bajar demasiado la temperatura se incrementa de modo notable la viscosidad del líquido y se dificulta la formación de cristales de hielo puros.

Deshidratación azeotrópica

Este proceso, que se ha aplicado no hace muchos años a la obtención de concentrados de zumos de frutas y algún otro alimento, se basa en la adición de un disolvente adecuado que forme con el agua del alimento un azeótropo mínimo, que seguidamente se separa por una destilación a presión reducida, así como el exceso de disolvente. Tanto el azeótropo como el disolvente tienen un punto de ebullición inferior al del agua, por lo que el método permite eliminar parte del agua de los ali-

mentos mediante el empleo de temperaturas más bajas a las de cualquier otro método convencional.

Finalmente, el alimento, desprovisto de los últimos vestigios de disolvente, se envasa y almacena de una forma similar a la de cualquier otro producto desecado. Una vez reconstituido, se consigue una textura y un sabor muy semejante al de la materia prima original.

Los disolventes que resultan más adecuados son el etanol y el acetato de etilo, porque forman con el agua un azeótropo de bajo punto de ebullición y, además, no actúan de modo sensible como disolvente de gases, ni afecta a la fracción responsable del flavor.

Uso de membranas

La industria alimentaria ha encontrado un buen sistema de concentrar alimentos líquidos mediante el empleo de membranas caracterizadas por una permeabilidad selectiva, que sólo permiten el paso de moléculas por debajo de un cierto tamaño. En estos casos, las necesidades energéticas requeridas para su aplicación son muy reducidas y apenas se producen pérdidas de aromas. Ahora bien, su uso queda limitado por la posible obturación de los poros de las membranas al aumentar la viscosidad del producto a medida que gana en concentración de solutos. No obstante, es un sistema que permite alcanzar hasta un 40-45 % de concentración, sin duda mucho más reducido que el 80 % conseguido con un evaporador. Hoy día se ha conseguido optimizar muchísimo y se conoce un amplio espectro de metodologías que se aplican en las industrias de productos lácteos, de zumos de frutas, bebidas, etc. En este sentido se pueden citar las técnicas más relevantes:

- *Osmosis inversa*. Utiliza membranas muy finas, capaces de separar moléculas muy pequeñas.
- *Nanofiltración*. Usa membranas capaces de retener moléculas de soluto cuyo peso molecular oscila entre 100 y 1.000. De este modo se eliminan parte de los iones Na^+ y Cl^- .
- *Ultrafiltración*. Permite aumentar la concentración de grandes moléculas como proteínas y polisacáridos. Su costo resulta bastante elevado.

Nuevas tecnologías de conservación con fundamentos físicos

- Introducción.
- La irradiación de alimentos.
- La presurización de los alimentos.
- Nuevas tecnologías emergentes.

Introducción

La creciente demanda de productos alimenticios con las características propias de los alimentos «frescos», sin perder las garantías sanitarias y una conservación prolongada, ha conducido a la introducción de *nuevas tecnologías* en el ámbito de la conservación de alimentos. El más nuevo y menos usado es el *calentamiento óhmico*, que en cierto modo significa un método de conservación al aprovechar el paso de una corriente eléctrica a través del alimento para elevar su temperatura y provocar un calentamiento muy rápido y sin que se origine la más mínima destrucción del material alimenticio. Otros, se basan en el empleo de energía radiante que afectan a los alimentos cuando es absorbida por ellos, como ocurre con las microondas. La energía de las microondas se suele aplicar como un sistema de calentamiento rápido, pero ese calentamiento puede también representar un cierto modo de conservación del alimento.

Hay que tener en cuenta que hoy día no sólo tiene importancia la duración de la vida útil comercial de un producto alimenticio, sino también el que todos los alimentos almacenados mantengan íntegra su calidad nutricional y sensorial.

Por lo general, la aplicación de métodos basados en el aporte de calor plantean siempre serios inconvenientes relacionados con la calidad del producto almacenado. Por ello, en los últimos años ha recibido especial atención la aplicación de *nuevas tecnologías* que pueden ser interpretadas como una *esterilización en frío* de fundamento físico pero no térmico, cuyo desarrollo ha recabado la atención de la

industria alimentaria, muy interesada en que se optimicen tales tecnologías para que puedan ser aplicadas con cierta eficiencia y garantía.

Entre estos métodos físicos de conservación en frío hay que destacar el empleo de radiaciones ionizantes, altas presiones, los campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, los campos magnéticos oscilantes y los pulsos luminosos.

La irradiación de los alimentos

Entre los métodos físicos de reciente aplicación, aunque todavía poco frecuente, está el uso de radiaciones ionizantes que se aplican con diversos objetivos: destrucción de insectos; inhibir o retrasar algunos procesos fisiológicos, como la germinación de tubérculos; a veces para eliminar parte de la población microbiana contaminante de los alimentos, etc. En resumen, se trata de una metodología aplicable para la conservación de los alimentos sin la intervención del calor, aunque sus efectos sobre la estabilidad del alimento depende de la intensidad con que se aplique la irradiación.

Se llama *irradiación* «al proceso tecnológico que aplica radiaciones ionizantes a un alimento con la finalidad de mejorar su estabilidad durante los prolongados periodos de almacenado». En términos generales, puede ser considerado como un método de conservación que permite alcanzar una *esterilización en frío* y, de hecho, se puede aplicar a los alimentos, tanto refrigerados como congelados, para evitar el desarrollo de sabores anormales.

Las radiaciones ionizantes son emanaciones de fotones con la suficiente cantidad de energía como para desplazar electrones de las moléculas con las que inciden. En estos casos, la separación de los electrones de los orbitales externos provoca una excitación en el átomo y se forma un par de iones: de una parte, los electrones separados que portan una carga negativa y, por otra, el resto del átomo que lleva una carga positiva.

Cuando estos electrones iónicos interaccionan con otros átomos se origina una reacción ionizante en cadena, que se paraliza cuando la energía de las partículas desciende a niveles muy bajos. Desde este punto de vista, es el agua el componente químico de los alimentos que ofrece una mayor facilidad para ser ionizado.

De aquí que el contenido acuoso de un alimento pueda significar, bajo los efectos de una irradiación, una fuente primaria de ionización, con efectos secundarios sobre otras moléculas. Así, su incidencia sobre el agua, siempre presente en un alimento, provoca diversos tipos de escisiones moleculares, sobre todo en presencia de oxígeno, que dan lugar a diversos compuestos excitados muy reactivos:

- Electrón hidratado: $e^- \text{H}_2\text{O}$.
- Radicales libres: $\text{H}\bullet$ y $\text{OH}\bullet$.
- Agua excitada: $\text{H}_2\text{O}\bullet$.
- Moléculas de agua ionizada: $(\text{H}_2\text{O})^+$.

Es interesante señalar que a los niveles ordinarios de intensidad (siempre por debajo de 2 MeV) empleados para la irradiación de los alimentos no se produce radioactividad inducida.

Durante años se han aplicado en el campo de la medicina y de la ingeniería industrial, pero desde la segunda mitad del siglo XX se ha extendido su empleo a la industria alimentaria con el fin de incrementar la vida útil comercial de los alimentos. Una vez terminada la Segunda Guerra Mundial fueron puestos a punto algunos métodos, relativamente económicos, que proporcionaban radiaciones ionizantes con la intensidad precisa para su aplicación al campo de la conservación de alimentos.

Hace muchos años que se conocen las propiedades bactericidas de las radiaciones ionizantes, aunque su empleo como método de conservación sólo se pudo considerar a partir de la década de los cuarenta. Su elevado nivel energético les proporciona un gran poder de penetración y por ello resultan letales cuando dicha energía se libera a nivel celular. La profundidad a la que pueden penetrar en un alimento las radiaciones ionizantes varía en función de dos factores:

- La naturaleza del alimento.
- Las características de la radiación.

También la eficacia bactericida depende de dos factores importantes:

- Capacidad para alterar las moléculas esenciales.
- Potencial de ionización, es decir, su capacidad para desplazar electrones de sus órbitas atómicas, cuando la radiación pasa a través de las moléculas del material alimenticio irradiado.

Tipos y propiedades de las radiaciones ionizantes

Los resultados experimentales pusieron de manifiesto que las radiaciones más útiles para su aplicación a los alimentos eran dos:

- Las radiaciones *beta*, obtenidas en generadores de electrones con aceleración de partículas, siempre que su energía sea inferior a 10 MeV para evitar el riesgo de que aparezca una radioactividad inducida.
- Los rayos *gamma*, de longitudes de onda inferiores a 2 Å, originados por la desintegración de algunos isótopos radioactivos, como el ^{137}Cs y principalmente el ^{60}Co , que se forma como subproducto durante el funcionamiento de los reactores atómicos.

Los primeros suelen ser poco penetrantes y su empleo queda limitado a los tratamientos superficiales de los alimentos. En cambio, los segundos son muy penetrantes y se consideran especialmente indicados para conseguir la esterilización de los alimentos envasados, que necesitan ser irradiados a bastante profundidad. En estos casos el envase se irradia por ambos lados con la mitad de la dosis requerida.

Aunque las radiaciones *gamma* son las que poseen mayor capacidad de penetración, sin embargo son las partículas *beta* las que poseen mayor poder de ionización y, por consiguiente, una eficacia potencial superior, capaz de provocar en las moléculas un mayor número de alteraciones.

También podrían usarse los rayos X, siempre que tuvieran una energía inferior a 5 MeV, pero se ha descartado su empleo, porque el rendimiento de su producción es muy bajo.

Para controlar la aplicación de cualquiera de ellas se ha de efectuar la regulación de tres parámetros: la velocidad con que emerge la energía de la fuente empleada, el tiempo de irradiación y la distancia a la que se coloca el alimento. De todos modos resulta más cómodo trabajar con los rayos *gamma* obtenidos en la desintegración del Co, porque son más manejable que los aceleradores de electrones, siempre difíciles de ser paralizados en su emisión.

Aunque la energía asociada a los electrones se expresa en unidades de electrón-voltio (eV), en estos casos resulta tan pequeña que es corriente utilizar el mega electrón-voltio (MeV), que equivale a $1,6 \cdot 10^6$ ergios.

La cantidad de energía absorbida se llama *dosis* y, por lo general, se mide en *rads*: unidad que indica la cantidad de radiación originada por una absorción energética de 100 ergios por cada gramo de materia irradiada. Cuando se trabaja con el Sistema Internacional (SI) de medidas, el *rads* queda sustituido por el *gray* (Gy) que equivale a 100 *rads*, es decir, a un julio por kilogramo de alimento. Se ha comprobado que la dosis letal para el ser humano se sitúa aproximadamente en los 600 *krads*.

Los efectos esterilizantes de las radiaciones están en relación con su capacidad de ionización y, por tanto, con la energía absorbida por el alimento. Incluso, muchas veces, las dosis se cuantifican en términos de dosis absorbida, no irradiada. Con una fuente de intensidad conocida, la dosis recibida por un alimento es proporcional al tiempo de exposición. En la práctica, para un nivel energético determinado, las radiaciones gamma resultan mucho más penetrantes que los flujos de electrones acelerados.

Para conseguir la muerte de los microorganismos que contaminan los alimentos se necesita aplicar radiaciones ionizantes de alta energía. Se piensa que su efecto letal se debe a la alteración provocada sobre el ADN microbiano, haciéndole perder su posibilidad de réplica, aunque no se descartan otros tipos de alteraciones en puntos sensibles e importantes, como las membranas.

De un modo general y desde un punto de vista matemático, el efecto letal de la irradiación es semejante a la muerte térmica de los microorganismos, pues en ambos casos responden a un desarrollo logarítmico. Incluso se ha llegado a establecer una definición para un *valor D*: «dosis necesaria para reducir a la décima parte la población microbiana ($\log 10 = 1$)».

Esto significa que para reducir una carga microbiana de un alimento en una centésima parte se precisa aplicar una dosis de irradiación de 2 D. Estas radiaciones pueden provocar en los alimentos dos tipos de efectos de distinta naturaleza: cambios químicos y destrucción de microorganismos.

Efectos de las radiaciones sobre los componentes químicos

Los efectos que siguen al tratamiento de un producto alimenticio con radiaciones ionizantes se deben a los choques de esas partículas con los electrones de las órbitas periféricas de las moléculas presentes, a los que desplaza y aporta energía. En el caso de que el electrón desplazado forme parte de un enlace covalente, se puede romper dicho enlace y como consecuencia de los cambios moleculares aparecen radicales libres.

Estos radicales libres responden a estructuras extremadamente inestables al dis-

poner en su configuración molecular de electrones no emparejados. De ahí su gran tendencia a reaccionar con otros átomos o moléculas para alcanzar una mayor estabilidad.

Como resultado de la aplicación de radiaciones ionizantes a un alimento se pueden distinguir claramente dos tipos de efectos:

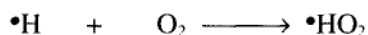
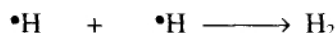
Efectos directos

Parece que los efectos primarios que aparecen sobre un alimento irradiado se debe a los contactos de sus partículas con las radiaciones de alta energía. Las proteínas y los pigmentos pueden experimentar cambios que conducen a modificaciones en la textura o en la coloración. Sin embargo, los efectos negativos observados no se pueden explicar considerando sólo la dosis de radiación recibida, determinante de la intensidad de estas colisiones. Por ello se piensa que existen otros efectos.

Efectos indirectos

Estos posibles efectos indirectos se deben a la formación de iones excitados y radicales libres, que son muy reactivos, la mayoría de ellos vinculados a la alteración de las moléculas de agua.

Los radicales libres formados pueden dar lugar a las más diversas reacciones [1]: entre ellos, con el oxígeno disuelto o con otras muchas moléculas orgánicas e inorgánicas.



[1]

El peróxido de hidrógeno es una molécula fuertemente oxidante y se puede considerar como un tóxico biológico, así como el radical hidroxilo, mientras que el radical hidrógeno es muy reductor. Sus reacciones con el resto de las moléculas pueden ocasionar cambios bastante profundos, letal si ocurren dentro de las células microbianas.

Mucho se ha estudiado para minimizar estos efectos indirectos, enfocando de modo principal hacia la reducción de radicales libres. Para ello se han intentado tres posibilidades:

- Proceder a la irradiación de alimentos ya congelados, porque de este modo está obstaculizada la difusión de los pocos radicales libres que se puedan formar y, por consiguiente, se limitan las reacciones indirectas.
- Llevar a cabo la irradiación bajo vacío o en atmósferas inertes. Pero en este caso se produce de modo paralelo un efecto protector de los microorganismos contaminantes presentes.
- Adicionar sustancias neutralizadoras de radicales libres, como puede ser el ácido ascórbico, aunque se presenta el problema práctico de su incorporación a los alimentos no líquidos.

A pesar de todo aún resultan poco conocidas las diversas modificaciones aparecidas en los más diversos alimentos:

- Leches y carnes forman compuestos malolientes derivados de proteínas y lípidos, fuentes de radicales libres a partir de algunos aminoácidos (isoleucina, valina, glutamina y arginina) y de los ácidos grasos insaturados.
- Frutas y verduras degradan sus pectinas o bien oxidan su glucosa a ácido glucurónico; etc.
- Puede observarse la destrucción de algunas vitaminas como ácido ascórbico, tiamina, betacaroteno, tocoferol y cianocobalamina, siempre en función de las dosis aplicadas. No obstante, esta destrucción resulta bastante inferior a las producidas por los tratamientos térmicos equivalentes.

En definitiva, los alimentos irradiados pueden desembocar en alteraciones de origen químico del tipo de enranciamientos y pardeamientos, así como una posible pérdida de su valor nutritivo cuando se le aplican dosis de radiación relativamente intensas. En algunos casos se recomienda irradiar alimentos ya congelados para evitar las alteraciones en el flavor.

Efectos de las radiaciones sobre los microorganismos

La acción de las radiaciones ionizantes sobre los microorganismos presenta una selectividad todavía superior a la del calor, aunque sus efectos destructores tengan los mismos fundamentos: lesiones en las membranas e inactivación de sistemas enzimáticos; así, las bacterias gram-positivas son más sensibles que las gram-negativas. Lo primero que se produce con las radiaciones ionizantes es una alteración cromosómica celular, que se refleja en la imposibilidad de la división celular y reproducción. No obstante, las dosis que evitan la proliferación, también pueden producir mutaciones en la descendencia.

Algunas formas vegetativas bacterianas son más resistentes en estado seco y el mismo efecto se consigue al reducir la disponibilidad del agua por congelación del alimento. Esto se justifica porque, como ha sido demostrado, la resistencia de las distintas especies de microorganismos puede variar según que la irradiación tenga lugar en presencia o en ausencia de oxígeno y de agua. El sustrato también influye y ello explica que se necesiten dosis diferentes para alcanzar los mismos efectos en los diversos alimentos.

Como ya se ha indicado, cuando los alimentos ricos en agua se irradian en presencia de oxígeno pueden formar peróxido de hidrógeno con potente acción bactericida. En cambio, en ausencia de oxígeno algunos microorganismos pueden triplicar su resistencia. Asimismo, la producción de catalasas destructoras del peróxido de hidrógeno, por parte de algunos microorganismos, reduce el efecto letal de los rayos gamma.

No faltan datos que ponen de manifiesto un comportamiento diferente de las esporas frente a la irradiación de alimentos, por lo que es posible que los efectos conservadores de este método quede limitado para el caso de las formas vegetativas y no para las esporas. En general, los hongos presentan la misma resistencia que las formas bacterianas vegetativas, pero no así las levaduras y sobre todo los virus, que suelen ser mucho más resistentes.

Métodos de aplicación de dosis de irradiación

Desde un punto de vista de la aplicación de radiaciones ionizantes a la conservación de alimentos se puede hablar de dos grupos de metodologías, diferenciadas en función de los fines que se pretenden conseguir:

1. *Esterilización comercial, equivalente a las conservas alimenticias o enlatado*. Se intenta producir alimentos que carezcan de peligro sanitario y se puedan mantener inalterados durante un almacenamiento más o menos prolongado. Hoy día, para esta metodología orientada a la destrucción de la mayoría de los microorganismos alterantes, se prefiere aplicar el nombre de *radappertización*.

Son tratamientos con dosis altas, aunque tolerables desde el punto de vista de la aceptación del alimento. Su principal problema de tipo práctico radica en el conocimiento de la resistencia que puedan presentar las esporas bacterianas a la irradiación. Por ello, se suele optar por dos posibilidades:

- Control de las especies más peligrosas, a la vez que más resistentes, como es el *Clostridium botulinum*. En este sentido, se aplican dosis entre 2 y 5 Mrads, que resultan suficientes para destruir las esporas de esta bacteria patógena, como un baremo de esterilización térmica, desde 10^{-10} hasta 100 por ml. Para que los alimentos no reduzcan su calidad sensorial se aplica a temperaturas por debajo de los -30°C y en ausencia de oxígeno. Pero a diferencia del tratamiento térmico no garantiza la destrucción de virus, ni la inactivación de enzimas.
- Potenciar los efectos de dosis menores con el complemento de factores químicos, como la acidez del medio o la presencia de sales de curado.

Ha sido aplicado a carnes, especias, sal común y otros ingredientes como el azúcar. En general, su acción conservadora implica también modificaciones en el color, sabor, flavor, etc., por lo que se intenta acompañar de procedimientos que restrinjan estos efectos secundarios, tales como reducir la temperatura de irradiación o la presión parcial del oxígeno presente, así como la adición de aceptores de radicales libres.

2. *Pasteurización*. Sólo se intenta mejorar la calidad microbiológica de los alimentos aplicando tratamientos poco intensos. Su desarrollo ha llevado a distinguir dos métodos diferentes:

- *Radurización*, cuando sólo se pretende prolongar por un poco de tiempo la vida útil de los alimentos mediante tratamientos moderados inferiores a 1 Mrad, que no llegan a una esterilización total y tampoco provocan daños apreciables en la calidad nutritiva y sensorial del producto. Su eficacia se complementa con otros métodos de conservación, de modo especial el frío; tal ocurre con carnes, pescados y mariscos, en los cuales se reducen de modo sustancial el número de células vegetativas, o con quesos, para destruir posibles mohos. En todos los casos, se incrementa al menos unas tres veces el periodo de vida útil.
- *Radacidación*, en analogía con el término bactericida, cuyo objetivo principal es eliminar ciertos patógenos de importancia para la salud pública, particularmente *salmonellas*. La pequeñas dosis administradas no suelen afectar de modo apreciable a otros microorganismos banales presentes en el

alimento, aunque sí pueden ser alterantes. Se suele aplicar a granos de cereales, harinas, carnes, aves y huevos, para destruir patógenos y también insectos y parásitos (*Trichinella spiralis* y *Cysticercus bovis*).

Ventajas aportadas por la irradiación de alimentos

En lo que respecta a la destrucción de bacterias en alimentos, la irradiación ofrece algunas ventajas importantes frente a otros métodos convencionales:

- a) Se pueden ajustar las dosis para evitar sus efectos letales y poder obtener, sin embargo, efectos equivalentes a una pasteurización o a una esterilización comercial.
- b) Cuando se aplican a niveles de irradiación inferiores a 0,5 Mrad no originan cambios organolépticos en los alimentos. Por el contrario, dosis superiores a 1 Mrad sí pueden provocar cambios químicos de cierta relevancia.
- c) No deja residuos en los alimentos.
- d) Apenas produce calor, por lo que no hay elevación de la temperatura del alimento, pudiéndose tratar alimentos ya congelados. Los productos irradiados exhiben las mismas propiedades que los productos frescos.
- e) La penetración de las radiaciones en el alimento se produce de modo instantáneo, uniforme y profundo, aunque siempre exija un control de aplicación muy preciso.
- f) Reduce la cantidad de aditivos conservadores que sería necesaria utilizar para conseguir un efecto conservador eficaz, como ocurre con el caso de los nitritos en los productos cárnicos.
- g) Representa una alternativa eficaz frente a la fumigación con sustancias químicas. Así, puede sustituir al óxido de etileno en el tratamiento de las especias.
- h) La irradiación puede ser aplicada una vez envasado el alimento, por lo que evita el riesgo de contaminaciones posteriores.

Inconvenientes presentados por la irradiación de alimentos

Al margen de las anteriores ventajas también pueden ser señalados algunos inconvenientes, que acompañan al empleo de radiaciones ionizantes para la conservación de alimentos:

- a) Por lo general, no conduce a la inactivación de los sistemas enzimáticos presentes en los alimentos cuando se aplican a dosis que sólo son suficientes para ejercer un efecto bactericida.
- b) Ciertos tipos de alimentos presentan una mayor sensibilidad a las dosis elevadas y pueden desarrollar modificaciones sensoriales que no resultan aceptables.
- c) En un principio, se les atribuyó la posible aparición de factores mutagénicos, teratogénicos, cancerígenos o simplemente tóxicos. Sin embargo, recientes estudios de expertos de FAO/OMS han puesto de manifiesto su inocuidad.
- d) Aunque las dosis letales para los microorganismos son bastante superiores

a las que afectan al ser humano, sin embargo conviene tomar ciertas precauciones durante su aplicación.

La presurización de los alimentos

El efecto de las altas presiones sobre los microorganismos se conoce desde principios del siglo XX, pero su utilización como tratamiento para la conservación de alimentos sólo ha sido puesto en práctica desde hace pocos años. Por el momento, se considera un procedimiento rentable para aquellos productos en los que el calor provoque importantes cambios en sus características y, además, tengan un alto valor añadido.

El empleo de presiones comprendidas entre 4.000 y 9.000 bar da lugar a la inactivación de algunas enzimas y también de los microorganismos presentes, sin que se afecten el sabor y el flavor del alimento. Se sabe que las altas presiones no afectan a los enlaces covalentes de las proteínas, pero sí rompen los enlaces débiles, tales como los puentes de hidrógeno o las fuerzas de Van der Waals. Estos efectos se traducen en una aproximación entre las moléculas y una reordenación espacial de las mismas, por lo que se modifican las posibles reacciones químicas y bioquímicas que puedan tener lugar en los alimentos. Así, por ejemplo, se incrementan las reacciones que se ven favorecidas por una disminución del volumen, como la ionización del agua, sales, ácidos y bases.

Estas nuevas organizaciones moleculares son específicas para cada tipo de proteínas y de polisacáridos, ricas en enlaces débiles, modificables de modo irreversible por las altas presiones. La magnitud de los cambios varían de acuerdo con los parámetros del tratamiento: presión, tiempo y temperatura. Tales efectos pueden resultar tanto positivos como negativos: se puede conseguir la formación de geles de proteínas de pescado con nuevas texturas, diferentes a las formadas por la acción del calor; las grasas presentan cierta tendencia a cristalizar por un efecto reductor de su temperatura debida a la presión; los almidones sí gelatinizan de modo muy particular, con sólo un aumento del tamaño de los gránulos, aunque, en general, ni los azúcares ni las vitaminas experimentan cambios.

También los microorganismos contaminantes de los alimentos resultan sensibles a los efectos de las altas presiones, porque sus membranas, tan ricas en lípidos y proteínas, se ven alteradas por estos tratamientos. Los microorganismos que se destruyen con mayor facilidad son las bacterias gram-negativas, pues para ello basta con aplicar presiones del orden de los 3.000 bar durante un tiempo nunca superior a los 30 minutos y a la temperatura ambiente. En cambio, para conseguir los mismos efectos sobre las bacterias gram-negativas, levaduras y mohos hace falta llegar a presiones de 4.000 bar. No obstante, las esporas de las bacterias esporuladas son más resistentes a las presiones y, a veces, hace falta llegar hasta los 8.000-10.000 bar. La resistencia de los microorganismos a la presión es muy variable, aunque puede afirmarse que la presión necesaria para provocar la destrucción progresiva de una determinada población microbiana es superior a la necesaria para impedir su crecimiento. Para obtener destrucciones rápidas de microorganismos

mos con presiones menos elevadas es preciso asociar los efectos de las altas presiones con los del calor.

A diferencia de los tratamientos térmicos, la aplicación de las altas presiones resulta independiente de la relación tiempo/masa y ello permite reducir los tiempos de procesado. La práctica de estos tratamientos se realiza en varias fases sucesivas.

- a) Acondicionamiento del alimento en un envase herméticamente cerrado y adecuado para que pueda ser introducido en la cámara de presión.
- b) Llenado del recinto de la cámara con el medio transmisor de la presión, que en muchas instalaciones se trata de agua mezclada con pequeñas cantidades de aceite soluble, con fines lubricantes y anticorrosivos.
- c) Compresión del líquido a la presión estimada, con una pequeña reducción del volumen de acuerdo con la presión administrada. En ella se mantiene el periodo de tiempo que sea necesario, variable en función del tipo de alimento y temperatura del proceso.
- d) Someter la cámara a la correspondiente descompresión y sacar el producto.

Los productos muy ácidos, o muy ricos en sacarosa, no permiten la germinación de las esporas y por tanto son productos que pueden ser tratados a presiones no muy elevadas (3.000 a 4.000 bar a la temperatura ambiente) durante tiempos cortos de diez minutos. Precisamente han sido los zumos de frutas y las confituras los primeros tipos de alimentos que han sido tratados mediante altas presiones para mejorar su vida útil comercial. Incluso en el caso de confituras de una gran variedad de frutas, como fresas, kiwis, higos, manzanas, naranjas, etc., no sólo se puede conseguir una esterilización del producto, sino también modificar su textura, dando lugar a un nuevo tipo de producto, pero conservando el sabor y el color de la fruta fresca.

La aplicación de 6.900 bar a la leche cruda durante diez minutos a 20 °C reduce bastante la población microbiana, pero para destruir las esporas hace falta incrementar la temperatura de trabajo. Sin embargo, como efecto secundario se produce una modificación de la estructura de las caseínas y se incrementa la cantidad de proteínas que coagulan en medio ácido. Ahora bien, la presurización de la leche desnatada da lugar a geles más elásticos, firmes y más resistentes a la sinéresis, efecto muy positivo para ser aprovechado en la fabricación de quesos frescos y yogures.

Los huevos y ovoproductos también podrían ser tratados por las altas presiones para mejorar su calidad higiénica, pero todavía no se ha podido resolver del todo el problema que plantea la coagulación de la clara.

No obstante, esta novedosa metodología presenta un futuro bastante prometedor: gelatinización y texturización de proteínas; puesta a punto de nuevos productos, tanto de leche como de frutas; ablandamiento de carnes; descongelación acelerada a baja temperatura, etc.

Nuevas tecnologías emergentes

Es indudable que, en los momentos actuales, se llevan a cabo numerosas investigaciones con la pretensión de poner a punto nuevas tecnologías para la conserva-

ción de alimentos encuadradas dentro de los métodos no térmicos. Todas ellas tienen la pretensión de salvaguardar lo mejor posible la calidad del alimento, a la vez que se asegura su calidad sanitaria, evitando todo riesgo para la salud pública. Además de las estudiadas hasta ahora, todavía se pueden citar otras tres que se encuentran en vías de experimentación:

Campos eléctricos pulsantes de alta Intensidad

El tratamiento mediante pulsos *eléctricos de alto voltaje* hace uso de la electricidad como fuente energética. El campo eléctrico es aplicado al alimento en forma de pulsos de decenas de miles de voltios, pero extremadamente breves, pues su duración puede oscilar entre los milisegundos y los microsegundos. De este modo se reducen los tiempos de procesado y las pérdidas de energía debidas al calentamiento del alimento resultan mínimas.

Los campos eléctricos pulsantes pueden provocar inactivaciones de microorganismos y enzimas, aunque solamente cuando se supera un cierto umbral de intensidad en el campo eléctrico. Bajo estas condiciones se induce el efecto conocido como *potencial transmembrana*, es decir, aparecen diferencias de potencial entre las membranas de las células, que cuando alcanzan un valor crítico se forman poros en las paredes celulares de los microorganismos, con cambios en su permeabilidad que desembocan en la pérdida de material celular y muerte del microorganismo.

No obstante, la formación de estos poros puede ser reversible cuando su tamaño es muy pequeño, porque la fuerza del campo externo sólo excede muy poco del valor crítico. Este potencial transmembrana umbral depende de la especie bacteriana a eliminar y del medio en que se encuentra situado.

Por tanto, para establecer la intensidad de campo eléctrico necesaria para conseguir los efectos propios de una pasteurización hace falta tener en cuenta qué tipo de microorganismos se desea destruir y la fase de crecimiento en la que se encuentre, así como la temperatura del alimento, su pH y su fuerza iónica, además de la duración del campo eléctrico.

Hasta ahora se han aplicado en plan experimental a zumos de frutas, leche, yogurt, crema de legumbres, etc. En todos los casos, se ha incrementado la vida útil sobre el producto fresco, sin que se modificaran sus propiedades sensoriales.

Campos magnéticos oscilantes

En general, los campos magnéticos alteran el crecimiento y reproducción de los microorganismos, porque cambian la orientación de las biomoléculas que participan en las funciones vitales de acuerdo con la dirección de dicho campo. Las membranas de las células microbianas manifiestan una fuerte orientación cuando se encuentran bajo la acción de un campo magnético, como una consecuencia de la estructura anisotrópica que les caracteriza. Precisamente, la orientación de las membranas unas veces paralela y otras perpendicular al campo magnético, depende de la anisotropía de las moléculas proteicas que la integran.

Esta capacidad de inactivación de microorganismos por los campos magnéticos se puede aprovechar como tecnología de conservación de alimentos y mejorar la

calidad y la vida útil de los alimentos pasteurizados. Los campos magnéticos oscilantes se aplican en forma de pulsos y siempre en función del espesor y de la resistividad del alimento a magnetizar; su eficacia se limita a inactivar la población microbiana en la magnitud de dos ciclos logarítmicos.

Para su empleo se exige que los alimentos se introduzcan en envases de plástico y cerrados de un modo hermético. No obstante, su manipulación industrial carece de peligro si se cuidan unas cautelas mínimas, pues el campo magnético sólo es intenso en sus proximidades más inmediatas.

Entre sus ventajas merece que se resalten las siguientes:

- Reducida exigencia de gasto de energía.
- Mínimos efectos térmicos sobre las propiedades nutritivas y sensoriales.
- Empleo de envases flexibles, que protegen de una contaminación posterior.

Pulsos luminosos

También para la conservación de alimentos se ha estudiado la posible aplicación de pulsos de luz *blanca*. Para conseguir los fines propios de una esterilización se han ensayado haces de luz con un espectro de longitudes de onda que incluye desde el ultravioleta hasta el infrarrojo próximo. Los pulsos a emplear han de ser de corta duración (entre una décima y una miera de segundo) y bastante intensos (de 1 a 20 flashes por segundo). De este modo se ha podido inactivar un amplio rango de microorganismos que incluye esporas bacterianas y hongos.

El número de células bacterianas vegetativas se puede reducir unos nueve ciclos logarítmicos, mientras que la reducción de la población de esporas sólo alcanza siete ciclos logarítmicos. Con esta tecnología se ha conseguido reducir varias especies de bacterias importantes: *Escherichia coli*, *Streptococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonellas* spp, *histeria monocytogenes*, etc. Pueden ser utilizados para eliminar, o al menos reducir, la población microbiana de diversas superficies: de alimentos, de envases, de equipos, etc. También cabe aplicarlos para evitar, o minimizar, el empleo de los desinfectantes químicos.

Asimismo, han demostrado inactivar también algunos sistemas enzimáticos mediante mecanismos relacionados con efectos fotoquímicos. En este sentido, se ha inactivado la enzima polifenol oxidasa de verduras y frutas, evitando así su actividad sobre los polifenoles y en consecuencia el pardeamiento enzimático.

La conservación por métodos químicos

- Introducción.
- Salazones y curados.
- Ahumados.
- Encurtidos.
- Adobos, marinadas y escabeches.
- Glaseados y grageados.
- Fermentaciones.
- Conservadores químicos.

Introducción

Desde un punto de vista histórico, la operación de conservar los alimentos ocurre desde tiempo inmemorial y ha tenido como fundamento la finalidad de obstaculizar o frenar el desarrollo tanto de reacciones enzimáticas como oxidativas, así como destruir la población microbiana contaminante, o al menos inhibir su crecimiento. Unas veces, las estrategias adoptadas tenían un fundamento físico, como ocurre con el aprovechamiento de los efectos del frío, del calor, etc., que han dado lugar al conjunto de métodos anteriormente estudiados. En otras, se han buscado el empleo de sustancias que por sus actividades eran capaces de impedir la proliferación microbiana.

Por ello, aun cuando desconocía su base científica, el ser humano ha utilizado desde tiempo inmemorial algunas sustancias químicas, cuyos efectos beneficiosos permitía prolongar la vida útil para el consumo de muchas materias primas alimenticias. Las funciones conservadoras de estas sustancias podían ser de las más variadas: antioxidante, antimicrobiana, antipardeamiento, etc. De acuerdo con su procedencia se puede establecer una distinción en varios grupos:

- Sustancias antimicrobianas, formadas en el seno de un alimento.
- Sustancias bactericidas, contenidas en algunas especias, o elaboradas por algunos microorganismos, que tienen una acción destructora frente a determinadas especies microbianas, de modo particular frente a las bacterias gram-positivas y a las que forman esporas, e incluso frente algunas bacterias patógenas concretas como *histeria monocytogenes*. Suelen ser de naturale-

za peptídica poseedora de una actividad antibiótica; por su frecuente aplicación merece que se destaque la nisina, producida por algunas cepas de *Lactobacillus lactis*, cuando se modifica el medio en que se desarrolla.

- Sustancias antimicrobianas, adicionadas al alimento de modo intencionado, que propiamente constituyen los aditivos conocidos bajo el nombre de *conservadores químicos*.
- Sustancias químicas contenidas en las especias, o en sus aceites esenciales, con una actividad multifuncional no limitada a su acción conservadora. Además de contribuir al flavor de los alimentos en cuya formulación intervienen, algunas de sus estructuras químicas tienen un efecto inhibitor frente a muchos microorganismos, sobre todo frente a bacterias gram-positivas, mucho más sensibles que las gram-negativas. En este sentido, destacan por su potente actividad las especias canela, clavo y mostaza sobre la débil actuación de pimienta y jengibre; a nivel medio se sitúan laurel, cilantro, comino, orégano, romero y tomillo.

El aprovechamiento de las propiedades conservadoras de muchas sustancias químicas ha dado lugar al desarrollo de numerosos métodos químicos de conservación de alimentos. Por las consecuencias de su empleo, se pueden distinguir dos grandes grupos de metodologías, tal como se recogen en la Tabla 24.1:

- Métodos que, además de conservar, provocan modificaciones profundas en las características sensoriales y nutritivas de la materia prima alimenticia.
- Métodos que sólo pretenden conservar mediante la adición de una sustancia química, o de una mezcla de ellas, sin afectar a las propiedades sensoriales de los productos alimenticios. En estos casos, el alimento puede permanecer estable durante mucho tiempo, o bien su vida útil sólo se prolonga si el almacenado se complementa con una refrigeración.

La conservación por medio de sustancias químicas puede considerarse como un método ya aplicado por el hombre prehistórico, que bien pronto conoció los efectos beneficiosos de la sal común y del humo. Actualmente, el ahumado ha quedado casi reservado como método de elaboración para conseguir determinadas características organolépticas. En cambio, se mantienen metodologías basadas en el efecto conservante del cloruro sódico, los nitritos y nitratos, el vinagre, el azúcar, el alcohol, a los que acompañan el uso de distintas especias.

Para las salazones se acude a la capacidad que tiene el cloruro sódico (sal común) para extraer moléculas de agua de los alimentos y facilitar su eliminación posterior; en los productos curados se aprovechan las ventajas que acompañan a un proceso de desecación. En muchas ocasiones, los efectos de la sal común se complementan con los producidos por los nitritos. Los encurtidos se obtienen por inmersión en una salmuera, cuyo principal componente es el vinagre, aunque acompañado de hierbas aromáticas y especias; de este modo, se consigue una concentración protónica inadecuada para la vida de la mayoría de los microorganismos. También el adobo, conocido desde épocas remotas, se sigue usando en la actualidad para las carnes y pescados. Igualmente, los escabeches surgieron desde muy antiguo para el tratamiento de productos previamente cocinados, que solían proceder de las capturas de caza y pesca, tales como perdices, truchas, tencas, etc. Se basa en los efectos de un caldo conservador compuesto principalmente por aceite, vinagre, sal, especias e hierbas aromáticas, en el que se introducen las piezas.

Tabla 24.1

Relación de métodos de conservación de alimentos mediante los efectos beneficiosos de sustancias químicas

A) Métodos que modifican las propiedades sensoriales

1. Adición de sales:
Salazón.
Curado.
2. Empleo de componentes del humo:
Ahumado.
3. Acidificación por adición de ácidos orgánicos:
Encurtidos.
Escabeches.
Adobos.
Marinadas.
4. Adición de azúcar:
Glaseado.
Grageado.
5. Producción microbiana de metabolitos químicos:
Fermentaciones.

B) Métodos que no afectan a las propiedades sensoriales

1. Adición de sustancias químicas con actividad antiséptica:
Conservadores químicos.
-

Se supone, con bastante fundamento, que desde hace 3.000 años el pueblo chino hacía uso de fermentaciones para prolongar el periodo de consumo de algunas de sus materias alimenticias. Esto mismo, aunque sin confirmación de época tan remota, lo han venido haciendo los pueblos europeos, posiblemente con una diferencia interesante: mientras que entre las fermentaciones aplicadas en Oriente predominan las producidas por los mohos, en Occidente han sido más preferidas las fermentaciones bacterianas.

Desde luego, abundan las razones para justificar la adopción de estas técnicas fermentativas: soslayar el carácter estacional de las cosechas y poder emplear sus fuentes alimenticias durante todo el año, como ocurre con el pan elaborado a partir de la harina de trigo; asegurar la estabilidad de los principales nutrientes durante el almacenamiento de los productos muy perecederos, como sucede con la elaboración de quesos a partir de la leche; la obtención de productos con carácter de agentes conservantes, como acontece en la producción de vinagre, a partir de la fermentación acética del vino; etc.

Consideradas como método de conservación, las fermentaciones promovidas de modo intencionado mediante la actividad de algunos microorganismos específicos, se caracterizan por ocasionar importantes cambios químicos en la composición de las materias primas alimenticias y por originar estructuras químicas con unos efectos conservantes. Los sustratos más adecuados para este tipo de fermentaciones son

los carbohidratos, que constituyen la base para las fermentaciones láctica, alcohólica y acética.

Los tratamientos químicos que no afectan a las propiedades sensoriales de los alimentos son aquellos que emplean sustancias de acción antimicrobiana, bactericidas o bacteriostáticas. Se caracterizan porque suelen requerir cantidades relativamente reducidas para ejercer su actividad conservadora, ya sea por bloqueo de alguna vía metabólica o por inactivar algún sistema enzimático del microorganismo.

El progreso de la química ha tenido también su repercusión sobre los métodos químicos de conservación de los alimentos. El descubrimiento de los antisépticos en la clínica médica condujo al intento de aplicación al campo de la elaboración de los alimentos para conseguir una mayor estabilidad frente a la alteración microbiana. De este modo surgieron el uso de compuestos como fluoruros y cloratos, o los ácidos salicílico, bórico, fórmico, benzoico, sórbico, propiónico, etc., muchos de ellos prohibidos en la actualidad al ponerse de manifiesto sus efectos tóxicos sobre la salud humana.

Salazones y curados

Es uno de los métodos más antiguos aplicados por el ser humano para la conservación de carnes y pescados. El alimento se somete a los efectos del cloruro sódico (sal común) que no sólo prolonga su vida útil, sino también proporciona unas características muy particulares en cuanto a sus propiedades sensoriales, dando lugar a las denominadas *salazones*.

Cuando se combinan los efectos de la sal con una pérdida de agua, facilitada por las condiciones ambientales, se habla de *curación*, porque en el producto tiene lugar un proceso en el que se desarrolla una maduración-deseccación.

El empleo de la sal común responde a tres motivos esenciales:

a) Acción sobre el sabor, al que hace más atractivo. Su gusto salado es aportado por el catión Na^+ libre. La intensidad de sabor salado que manifiesta el alimento tratado con sal depende de la dosis empleada, que deberá variar de acuerdo con varios factores vinculados al producto:

- Contenido en proteínas, que suele formar complejo con el catión sodio.
- Temperatura a la que se va a consumir, pues en caliente se inestabiliza el complejo anterior.
- Contenido en grasa, que cubren las papilas gustativas y las hace menos sensibles.
- La acidez, que también rompe el complejo del catión sodio con las proteínas.

b) Acción sobre las propiedades del tejido muscular de carnes y pescados. Permite la solubilización de las proteínas miofibrilares del tejido muscular, que tienen unas excelentes propiedades emulsionantes y ligantes. La solubilización resulta máxima para concentraciones del 4 % de sal en la fase acuosa. Aunque no es soluble en las grasas, sí lo hace en la trama proteica que rodea a las células adiposas y favorece que los lípidos insaturados se enrancien. Además incrementa el poder de retención de agua, reduciendo así la disponibilidad de la misma.

c) Acción sobre los microorganismos. La sal no mata a los microorganismos pero frena el desarrollo de muchos de ellos, al reducir la disponibilidad del agua. Su acción es una función de la concentración en la fase acuosa (Tabla 24.2), es decir, su % de salmuera estimado de acuerdo con la ecuación [1].

$$\% \text{ de salmuera} = \frac{\% \text{ ClNa}}{\% \text{ ClNa} + \% \text{ H}_2\text{O}} \times 100 \quad [1]$$

En resumen, la sal común desempeña un papel primordial en la elaboración de productos conservados a base de carnes y pescados, no sólo por su aportación al sabor, sino también por contribuir a unas propiedades fisicoquímicas específicas y su efecto nocivo sobre muchas especies de microorganismos.

En la práctica industrial se emplean varios tipos de sal (cloruro sódico), cuyas propiedades dependen de varios factores: origen (sal marina o sal gema), modo de obtención y tratamientos recibidos. En cuanto a pureza, la sal es susceptible de contener variables niveles de impurezas, entre 0,1 y 8 %, debido a la presencia de otras sales, tales como el cloruro magnésico y los sulfates de sodio, magnesio, calcio, etc. Dichas impurezas representan serios inconvenientes a la eficacia de la actividad del cloruro sódico, pues entre otras cosas pueden obstaculizar su solubilización y afectar a la permeabilidad de las células de los tejidos musculares de carnes y pescados.

La sal común se comercializa bajo diversas formas (fina, en grano, cristalizada), todas ellas higroscópicas, en las que la granulometría desempeña un importante papel en la velocidad de su solubilización, que será tanto más rápida cuanto más fina. Su gran solubilidad en agua, apenas varía con la temperatura.

El tratamiento de carnes y pescados solamente con sal común constituye lo que se denomina *salado*, pero cuando además de cloruro sódico se adiciona nitratos y/o nitritos se consigue lo que verdaderamente se conoce como *salazón*. Las propiedades de estos productos se deben a las acciones complementarias de la sal común asociada con nitratos y nitritos, aunque de modo eventual pueden intervenir otros aditivos, como los azúcares.

Tabla 24.2

Relación entre concentración de cloruro sódico en la fase acuosa de carnes y pescados y la población microbiana

Concentración en la fase acuosa (%)	Consecuencias microbiológicas
0-5	Muy poco efecto.
5	Detención del desarrollo de <i>Pseudomonas</i> responsables de coloraciones verdosas.
10	Mínima actividad de bacterias anaerobias tipo <i>Clostridium</i> .
10-15	Desarrollo preferencial de las especies <i>Lactobacillus</i> , <i>Micrococcaceae</i> y <i>Staphylococcus</i> .
> 20	Inhibición de casi todas las bacterias. Solamente se desarrollan levaduras y mohos.

También en el caso de las salazones que incorporan nitratos y nitritos caben distinguir tres efectos muy característicos:

- Acción sobre el sabor.* El nitrato (sódico o potásico) aporta un sabor característico, y añadido en exceso llega a resultar acre. Pero cuando la salazón es prolongada, la presencia de nitratos contribuye, bajo los efectos de diversas reacciones enzimáticas, al desarrollo de un flavor típico, muy agradable.
- Acción sobre la conservación de la materia prima.* Los nitritos (sódico o potásico) ejercen una acción bactericida y bacteriostática, de modo particular frente al bacilo esporulado anaerobio *Clostridium botulinum*.
- Acción sobre el color.* Las salazones de carne suelen presentar un color rosáceo muy típico, que resulta del efecto sobre el pigmento mioglobina de los derivados de nitratos y nitritos, a través de reacciones algo complejas (Fig. 24.1), que tienen lugar en tres etapas y sólo bajo condiciones muy precisas.

En primer lugar, los nitratos se ionizan en solución acuosa a ion NO_3^- , que por la acción de las enzimas nitrato-reductasas, producidas por algunas bacterias reductoras (vibrios, micrococos, lactobacilos, etc.) se reducen a ion nitrito, NO_2^- . Después, la acción conjunta de las bacterias reductoras y el pH moderadamente ácido (5,6-6,0) le degrada a óxido nítrico (NO). Finalmente, este compuesto reacciona con el pigmento mioglobina para dar lugar a la forma química nitroso-mioglobina. Cuando el pH de la carne, o del pescado, no es lo suficientemente ácido hay que favorecer la acidez añadiendo azúcares fermentables.

La metodología puede ser aplicada de dos modos diferentes:

- Adición de las sales en seco. Se aplica esencialmente a carnes y para ello se añaden las sales directamente sobre las piezas, casi siempre al capas alternantes. Las sales se disuelven en los jugos superficiales y forman una salmuera muy concentrada que, por difusión, penetra rápidamente hacia zonas más interiores. Es presumible que en un principio las sales fueran aplicadas mediante frotación superficial de las piezas a tratar.

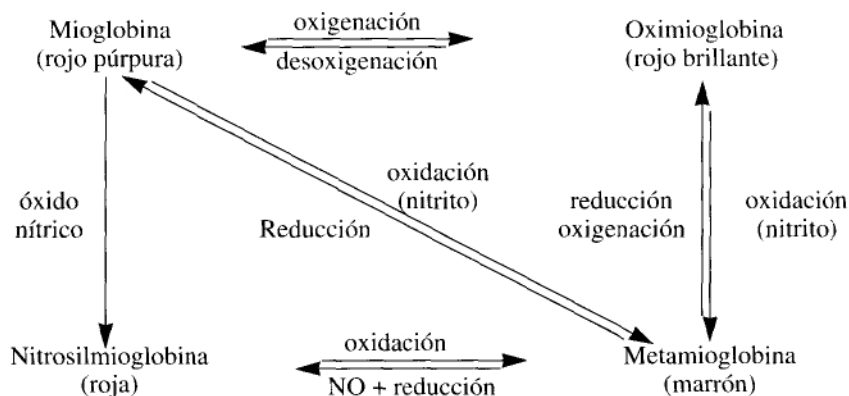


Figura 24.1. Transformaciones químicas del pigmento mioglobina como consecuencia de una salazón con nitratos y nitritos.

- Por salmuerización húmeda, que a su vez puede ser aplicada mediante inmersión o por inyección en el tejido muscular. Es una modalidad que suele emplearse tanto para carnes y pescados como para hortalizas. Las piezas se sumergen en las correspondientes salmueras a concentraciones salinas variables.

Cuando son muy concentradas, se produce un intercambio de materias sápidas entre el alimento y la salmuera, es decir, los productos alimenticios absorben sales, a la vez que ceden algunas de sus sustancias solubles. La velocidad de penetración de las sales queda determinada por factores como la temperatura, la concentración, las superficies de contacto, los tiempos que dura este contacto y la naturaleza del alimento (estado de estas superficies, estructura muscular, permeabilidad celular).

Al ser conocida la importancia del NO_2^- surge la tendencia de la adición exclusiva de esta sal, sin pasar por la forma de nitrato que exige unas determinadas condiciones para su reducción. Sin embargo, la adición de nitritos debe reducirse al mínimo porque se ha demostrado que el tratamiento culinario de los productos curados con nitritos pueden formar cantidades vestigiales de nitrosaminas cancerígenas (dimetil-, dietil-, dipropil-, dibutil- nitrosamina, etc.) en su reacción con compuestos dimetilaminas. Para soslayar este problema se ha sugerido reducir la dosis de nitritos y complementar con otro conservador que actúe de modo sinérgico con el nitrito.

Ahumados

De seguro fue uno de los primeros medios de conservación de carnes y pescados, practicado principalmente por los pueblos nórdicos. Aventajado por otros métodos, como la congelación o la esterilización comercial, en la actualidad sus efectos conservadores se relegan a un segundo plano y se aplica por la aportación de unas características organolépticas específicas y una presentación típica. En un principio estuvo limitado a carnes y pescados, pero con posterioridad se ha extendido a quesos, embutidos, jamones, etc.

El humo utilizado por la industria alimentaria se obtiene por la combustión lenta e incompleta de la madera. Generalmente se usan maderas duras, como castaños y hayas, y raramente las blandas, como álamos y abedul, o las resinosas, como pinos y abetos. A veces se mezclan con plantas aromáticas, como tomillo o laurel.

La madera se compone de distintas proporciones de celulosa, hemicelulosa y lignina, polisacáridos cuya combustión conduce a la formación de agua, dióxido de carbono y una mezcla de sustancias volátiles que difieren según la temperatura, que puede oscilar entre 100 y 250 °C para la descomposición de los dos primeros y por encima de los 310°C para la degradación de la lignina. Para obtener un humo que no sufra una combustión completa y mantenga el máximo de sustancias activas hay que quemar la madera en presencia de la mínima cantidad de aire. Normalmente, el proceso se lleva a cabo en dos tiempos: una primera degradación térmica entre 300 y 400 °C y una segunda a 200°C, para que los componentes volátiles desprendidos

se oxiden. La composición química del humo es extremadamente compleja y de ella se han detectado más de 300 sustancias, aunque solamente han sido 200 las identificadas. Suelen corresponder a diversos ácidos orgánicos, compuestos carbonilos, compuestos fenólicos e hidrocarburos policíclicos aromáticos.

Para que el humo tenga acción sobre el producto debe penetrar en él, y esta penetración se efectúa en dos fases:

- En primer lugar, los componentes activos se depositan sobre el producto, mediante el fenómeno de la adsorción.
- En segundo lugar, estos compuestos difunden hacia el interior, produciéndose una absorción.

Tanto la adsorción como la absorción dependen de la naturaleza de la envoltura, así como de la humedad y contenido graso del producto.

El humo tiene una acción sobre el flavor, el color y la conservación de la materia alimenticia ahumada. Su primera acción es comunicar un olor y un sabor específico, debido en gran parte a los fenoles y a una cierta acidez por la presencia de algunos ácidos, como fórmico y acético. Sin embargo, todo ello no es suficiente para explicar el flavor típico de los alimentos ahumados, por lo que se sospecha el desarrollo de reacciones complejas favorecidas por la acción del calor sobre las proteínas e incluso compuesto de Maillard. También existen reacciones que llevan a la formación de melanoidinas, que afectan al color. Sin embargo, por su carácter antioxidante es un magnífico protector de la alteración por enranciamiento de las grasas.

En la actualidad, la acción bactericida y bacteriostática del humo ha pasado a un segundo plano en favor de su contribución organoléptica y, quizás, lo que más se explota es su acción antifúngica. No obstante, bajo determinadas condiciones de combustión, que enriquece el humo en hidrocarburos policíclicos aromáticos, pueden representar un peligro para la salud por el carácter cancerígeno de tales compuestos.

Para evitar los efectos nocivos del alfa-benzopireno posiblemente formado, se emplean instalaciones donde el humo producido es filtrado para eliminar este tipo de sustancia. También se emplean extractos de *humo líquido* exentos de sustancias tóxicas, en los que se sumergen los alimentos. Esta modalidad no debe ser confundida con el *ácido piroleñoso* usado en otros tiempos y prohibido hoy día por la legislación alimentaria.

El proceso de ahumado de los alimentos puede tener lugar bajo dos modalidades diferentes: 1), en frío; 2) en caliente.

1. *Ahumado en frío*. Se considera frío a todo ahumado cuya temperatura de tratamiento sea inferior a +30 °C, aunque lo corriente suele ser entre 20 y 25 °C con una humedad relativa situada alrededor del 75 %, aunque puede variar más o menos en función de la desecación deseada. La velocidad del aire tiene escasa importancia y únicamente existen los movimientos propios de una convección natural. Solamente en algunos casos puede existir una ventilación mecánica.

Se pretende mejorar la conservación del producto mediante la acción combinada de la deshidratación y las propiedades bacteriostáticas de los compuestos aportados por el humo. Suele aplicarse a productos sensibles al calor, para los cuales una temperatura demasiado elevada entraña una exudación de grasas mal estabilizada en la masa del producto. Generalmente, este proceso de ahumado en frío suele

tener una duración bastante prolongada y, por consiguiente puede implicar pérdidas a menudo elevadas.

2. *Ahumado en caliente*. En esta modalidad, el producto recibe un estufaje y bajo estas condiciones de calor se expone a la acción de humos densos y calientes, muy húmedos y fuertemente agitados. En el comienzo del ahumado, la temperatura viene a ser de 30-35 °C, pero al final se sitúa a 50-55 °C (HR de 75 %), después de haber pasado por 75-80 °C (HR de 90-95 %). Cuanto más elevada sea la temperatura mayor debe ser la humedad relativa del ambiente, para evitar pérdidas por evaporación y formación de costras superficiales en los alimentos, que perjudica sus propiedades sensoriales. A menudo este tipo de ahumado se intercala entre un estufaje y una cocción de los productos.

En resumen, el ahumado viene regido por dos parámetros principales:

- La temperatura, que debe ser inferior a +30 °C para los ahumados en frío y por encima de ella para los ahumados en caliente.
- La humedad de la cámara de ahumado, que de una parte favorece la penetración del humo y de otra rige las pérdidas por evaporación.

Cualquiera que sea la forma en la que el ahumado se lleve a cabo, la preparación del producto antes de proceder a su ahumado, debe ser considerada como una operación de extraordinaria importancia. Es decir, para evitar el riesgo que conlleva la elevación de temperatura que siempre se produce en el ahumado, que normalmente puede conducir a una putrefacción y una degradación del producto, se debe proceder al salado previo, aunque siempre más débil que lo necesario para conservar un producto sin ahumar cuando se trata de los ahumados en frío por su acción más prolongada.

De importancia capital para la calidad del producto ahumado resulta el estado de la superficie del producto, porque la humedad superficial debe permitir la rápida penetración del humo. Así, una hidratación demasiado intensa, que produzca el chorreo de gotitas, perjudica la penetración de las sustancias aromáticas, aparte de ofrecer una apariencia de coloración poco uniforme y antiestética.

Los efectos del ahumado tienen lugar en dos fases sucesivas: en primer lugar, los humos calientes provocan una desecación superficial del producto, con pérdidas entre 10 y 40 % de contenido acuoso, sin que se altere el interior del mismo. Con ello, la superficie del alimento se convierte en un medio poco adecuado para el desarrollo eficaz de las bacterias debido a su baja disponibilidad de agua (a_w). El segundo efecto se debe al contenido del humo en sustancias antisépticas, que por ello ejercen una acción conservadora.

Encurtidos

Hacen referencia a un tratamiento de conservación de alimentos por inmersión en un líquido cuyo principal componente es el vinagre, que puede estar acompañado por hierbas aromáticas y especias. Se fundamenta en el grado de acidez aportada por el vinagre al medio y capaz de proporcionar una concentración protónica que

resulta completamente inadecuada para la vida de la mayoría de los microorganismos.

Se aplica fundamentalmente a la conservación de hortalizas, con destino al consumo como aperitivos, entremeses y guarniciones: cebollitas, coles de Bruselas, guindillas verdes, pepinillos, pimientos, trozos de coliflor, etc. Para el tratamiento correspondiente se puede optar por varios tipos de vinagres: de sidra, de malta, de miel, aunque el más frecuente e indicado es el de vino. Como productos aromatizantes se emplean diversas especias y algunas hierbas aromáticas: canela, clavo, jengibre, mejorana, menta, pimienta, salvia, tomillo, etc.

Para la buena práctica se requiere cumplir con varios requisitos importantes:

- Elegir y preparar de modo adecuado las hortalizas.
- Seleccionar y condicionar el vinagre.
- Elaborar el proceso de encurtido de modo correcto.
- Conservar bajo condiciones apropiadas; a la temperatura de 10-12 °C puede durar un año.

Adobos, marinadas y escabeches

Se trata de un conjunto de tratamientos que en un principio aparecieron como métodos de conservación y hoy día constituyen, en algunos casos, una operación previa a la aplicación de diversas tecnologías culinarias: asado, a la plancha, estofado, etc.

El *adobado* se usa desde épocas remotas para la conservación de algunos alimentos y en la actualidad se aplica casi de modo exclusivo a carnes y pescados. Bajo determinadas condiciones puede tener la consideración de *marinado*, aplicado para ablandar algunos productos que tienden a ser duros y correosos, aunque la cocina contemporánea la suele aplicar para conferir un determinado flavor a carnes, pescados y verduras, blandos ya por naturaleza. Uno y otro se aplica por inmersión en líquidos siempre fríos y nunca durante un tiempo superior a las 24 horas. En la actualidad también se emplean procesos en seco.

Las mezclas líquidas usadas para los adobos y marinadas suelen tener composición variable en función de los usos culinarios que van a recibir con posterioridad. Sin embargo, siempre exigen la contribución de tres componentes esenciales: aceite, ácidos y los productos aromáticos. El aceite protege y preserva al alimento, mientras que la acidez proporcionada por vinagre, agraz-verjus, vino o zumo cítrico, modifica la textura. Unas veces proporcionará firmeza, como sucede con el pescado marinado en zumo de limón; otras, romperá el tejido conectivo y convertirán en algo más tierno las fibras musculares, como ocurre con la carne de vacuno marinada en vino tinto.

Desde un punto de vista práctico, tres son los factores que regulan el proceso:

- La existencia de un componente ácido, cuya concentración protónica desarrolla tal acidez que permite la degradación y ablandamiento del tejido conectivo.

- La presencia de sustancias sápidas y aromáticas, que por fenómenos de osmosis y difusión hacen que sus componentes aromáticos solubles, bien en agua o bien en aceite, penetren en el interior del alimento y proporcionen unas características organolépticas específicas. De hecho, son muy variadas las sustancias que pueden cumplir con esta función: ajos, cebollas, pimentón dulce, pimienta, laurel, perejil y tomillo.
- El tiempo de inmersión en el líquido, que varía en función de varios factores: fines culinarios perseguidos, naturaleza y tamaño del alimento, temperatura fría de trabajo.

Los *escabeches* surgieron desde muy antiguo para conservar alimentos, que previamente estaban cocinados. Normalmente se trata de materias alimenticias conseguidas mediante capturas de caza o de pesca: perdices, truchas, tencas, etc. Para su aplicación se emplea un caldo conservador compuesto en esencia por una mezcla de aceite, vinagre, sal, hierbas aromáticas y especias. El alimento se mantiene sumergido en dicho caldo durante un tiempo nunca menor a las 24 horas, para que pueda adquirir todos los aromas aportados por los ingredientes. Para conseguir una buena conservación y prolongar la vida útil, se requiere en ocasiones del complemento de la refrigeración, particularmente si se trata de pescados.

Glaseados y grageados

Hace mucho tiempo que se conoce la estabilidad de los alimentos ricos en azúcares, tales como jarabes, miel, melazas, etc., debido a la reducción ejercida por las moléculas de estos carbohidratos sobre la disponibilidad del agua presente. En estas condiciones solamente pueden desarrollarse las levaduras osmófilas y los mohos xerófilos.

En este sentido, se ha querido aprovechar este comportamiento de los azúcares para hacer de su adición un método que permita la conservación de diversos tipos de alimentos; en consecuencia, se ha aplicado para el almacenamiento de las frutas almibaradas, de los rellenos de chocolate y también de otros muchos productos propios de pastelería. De este modo han surgido en la industria alimentaria los productos *glaseados* y los *grageados*.

El *glaseado* consiste en recubrir de modo superficial el producto alimenticio con una fina capa de azúcar cristalizada, que le proporciona un aspecto brillante. Esta metodología se puede aplicar a cualquier alimento de origen animal, pero por lo general se utiliza para conservar productos vegetales, sobre todo frutas, y para obtener el café tostado torrefacto.

En las frutas, el glaseado se consigue sumergiéndolas en una solución saturada de sacarosa, para después secar al aire las piezas impregnadas de dicha solución. A veces, se aumenta el espesor de la capa externa espolvoreando sobre ella azúcar en polvo.

Para obtener el café torrefacto, se añade en el momento de la tostación una pequeña cantidad de azúcar, en cantidad suficiente para que produzca sobre el grano de café una capa protectora. La legislación exige que dicha capa sea de espesor bastante delgado, porque en caso contrario podría significar un fraude.

Cuando la operación de protección se lleva a cabo mediante el empleo de jarabes se denomina *grageado*, método aplicado para la conservación de avellanas, almendras, piñones, etc. Aplicando sobre el producto impregnado de jarabe una corriente de aire, se consigue que el azúcar solidifique en la superficie, a la vez que el roce de unas piezas con otras provoca una pulimentación que da lugar a superficies brillantes, como sucede en el caso de la obtención de peladillas. En ocasiones, el jarabe puede llevar adicionado algún colorante para proporcionar mayor variedad a los productos a comercializar.

En todos los casos, la elevada concentración de azúcar que se consigue convierte al alimento en un medio inadecuado para el desarrollo microbiano.

Fermentaciones

Dentro de la historia de la producción y conservación de alimentos se han conocido modificaciones más o menos profundas provocadas por microorganismos, que han sido descritas como fermentaciones. Desde tiempo inmemorial se ha sabido de casos en los que estos procesos bioquímicos han sido de gran utilidad para mejorar los recursos alimenticios del ser humano. No sólo han dado más variedad a la alimentación humana, sino que representaba una posibilidad de uso más prolongado de algunas materias alimenticias perecederas, que eran transformadas en otras más estables con la ayuda de estos procesos microbianos.

Aunqu en la actualidad se conocen y aplican otros métodos de conservación más eficaces, sin embargo se continúa produciendo este tipo de alimentos por la atracción de sus propiedades nutritivas y sensoriales. Una diferencia importante con otros métodos aplicados para la conservación de alimentos radica en su planteamiento frente a determinadas especies de microorganismos.

Así, el objetivo de los demás métodos anteriormente descritos tienen como fundamento reducir el número de microorganismos presentes en un alimento, mientras que para aprovechar el beneficio de las fermentaciones lo que se procura es la multiplicación de algunos microorganismos específicos y enaltecer sus actividades metabólicas. Para ello se lleva a cabo una selección de dichas especies y se estudian las condiciones más apropiadas para alcanzar los metabolitos deseados.

En este sentido, la aplicación a la industria alimentaria de las modernas técnicas de la biotecnología ha incrementado la importancia de aquellas fermentaciones que pueden ser provocadas de modo deliberado y por unas vías metabólicas concretas para la producción de diversos tipos de alimentos.

Concepto de fermentación

El concepto de fermentación usado en la ciencia de los alimentos está tomado del campo de la Microbiología y responde a consideraciones dentro de un sentido bastante amplio. En general, se puede definir como «el proceso bioquímico que tiene lugar cuando los microorganismos presentes en un alimento usan como sustratos orgánicos para sus procesos metabólicos específicos alguna de las estructuras que integran la composición química de ese alimento».

Situados en el ámbito de las materias primas alimenticias se podrían denominar *fermentaciones* a todos los procesos de origen microbiano en los que se genera ATP y en los que unos compuestos orgánicos específicos actúan como donadores o aceptores de electrones.

Sin embargo, en la práctica, el término *fermentación* suele ser empleado con aplicaciones muy diversas y por ello conviene hacer algunas matizaciones:

- Cuando se trata de considerar cambios químicos producidos a un nivel molecular, dentro de un contexto de la bioquímica y la fisiología comparada, resulta completamente correcto emplear el término *fermentación* para describir la degradación de las estructuras orgánicas de carbohidratos bajo condiciones anaeróbicas.
- En un sentido más amplio, pero menos preciso, empleado con el propósito de señalar los productos finales en lugar de considerar los mecanismos de las reacciones bioquímicas, con el término *fermentación* se quiere hacer referencia a la degradación de los carbohidratos, tanto en condiciones anaeróbicas, como bajo situaciones de aerobiosis en las que los productos de la fermentación pueden ser oxidados por la actividad de otros microorganismos.

Así, la conversión de lactosa en ácido láctico por los *Streptococcus lactis* se favorece bajo condiciones anaeróbicas y puede ser considerada como una verdadera fermentación. En cambio, la conversión del etanol producido por una fermentación vínica en ácido acético por la actividad de los *Acetobacter aceti*, que se favorece por las situaciones aeróbicas, debe ser calificada como una oxidación en vez de una fermentación.

Todavía se puede señalar un empleo del término en un sentido bastante amplio, pero que resulta poco preciso. Así, se habla de *alimentos fermentados* cuando se desea describir un tipo especial de producto alimenticio, que se caracteriza por incluir distintos tipos de degradación de carbohidratos, a la vez que se involucra a otros componentes, como proteínas y grasas.

De este modo ha surgido la necesidad de distinguir entre diversos tipos de cambios importantes en la composición del alimento:

- Fermentaciones verdaderas, que afectan a los carbohidratos.
- Proteolisis y putrefacciones, que conciernen a las proteínas.
- Lipolisis, que atañen a las grasas.

Al ser los alimentos sistemas complejos formados por diversos tipos de compuestos químicos, pueden experimentar en diversos grados todas estas reacciones de la actividad microbiana. El predominio de una u otra dependerá de la naturaleza del alimento, de las especies de microorganismos que le contaminen y de las condiciones ambientales en que se encuentren, porque afectan tanto al crecimiento microbiano como a las vías metabólicas que pueden tener lugar.

No obstante, los métodos tradicionales de obtención de muchos de estos alimentos demuestran una selección de microorganismos, que ponen de manifiesto cómo en ellos están presentes aquellos factores considerados esenciales para el desarrollo de dicha población microbiana: fuente de nutrientes, fuente de carbohidratos fermentables, un pobre efecto regulador de protones que no impide el cambio de pH, un factor inhibidor de otros microorganismos, condiciones de anaerobiosis.

Cultivos iniciadores

Cuando el éxito de las producciones de los alimentos fermentados a través de procesos naturales se demostró que era debido a las actividades microbianas de unos contaminantes menores de las materias primas, se pudieron modificar tales métodos tradicionales de forma que se pudieran conseguir unas condiciones de elaboración más aptas para la proliferación de esos microorganismos.

En tal sentido, han sido estudiadas y establecidas unas condiciones normalizadas para la aplicación de cultivos puros, usados como iniciadores, a las materias primas que, por lo general, han sido previamente pasteurizadas para eliminar toda especie no deseable, capaz de obstaculizar el desarrollo de las adecuadas para producir con sus actividades metabólicas las fermentaciones pretendidas.

Los microorganismos considerados útiles para ser elegidos como cultivos iniciadores de fermentaciones controladas deben responder a ciertas características:

- Ser capaces de una rápida proliferación en un ambiente determinado y con un sustrato específico.
- Mantener sus características fisiológicas bajo esas condiciones y producir con rapidez y facilidad los sistemas enzimáticos responsables de los cambios bioquímicos que han de sufrir los sustratos.
- No requerir unas condiciones ambientales complejas para conseguir una máxima proliferación de sus cultivos.

Aplicaciones industriales

En la actualidad, la industria alimentaria aprovecha la aplicación de fermentaciones microbianas para obtener numerosos productos alimenticios que comercializa (Tabla 24.3). El carácter de estas fermentaciones debe ser de tal naturaleza que por sus actividades metabólicas se lleguen a productos carentes de sabor y olor indeseables, además de ofrecer una apariencia final de textura y color, que se asocie con una buena calidad. Para que todo ello se pueda conseguir, la industria alimentaria aplica hoy día el uso de cultivos iniciadores muy bien seleccionados, que permitan encauzar las fermentaciones por las vías apropiadas y obtener resultados específicos y normalizados.

Además de ofrecer unas propiedades sensoriales y nutritivas muy específicas y prolongar el periodo de vida útil vinculado al consumo de ciertas materias primas perecederas, los alimentos fermentados también presentan otras ventajas. Así, los procesos fermentativos ofrecen el interés de producir algunos metabolitos, cuyas funciones orgánicas de ácidos o alcoholes pueden ser unos excelentes agentes inhibidores frente al desarrollo de la mayoría de las bacterias patógenas.

Para optimizar estos efectos tan importantes, se hace necesario llevar a cabo un control muy estricto de las condiciones implicadas en la producción de los alimentos fermentados y vigilar muy estrechamente los márgenes alcanzados por la magnitud de varios factores: nivel de acidez, porcentaje de etanol, empleo de cultivos iniciadores, temperatura de trabajo, presión parcial de oxígeno y concentración de sal.

Las verdaderas fermentaciones son las que se producen, siempre bajo condi-

Tabla 24.3
Aplicaciones industriales de fermentaciones alimentarias

Microorganismos	Materias primas	Alimentos fermentados
Bacterias ácidolácticas	Carnes	Embutidos.
	Leches Verduras y frutas	Quesos Cheddar, Edam y Gouda. Aceitunas de mesa. Choucrout (col fermentada). Encurtidos de pepinos. Dátiles madurados. Café tostado
Bacterias ácidolácticas + otros tipos de microorganismos	Leches	Quesos Gruyere y Emmental. Kéfir (con levaduras). Quesos enmohecidos como Roquefort, Camembert, Cabrales
	Pescados	Salsas de pescado
	Uvas	Vinos
	Cebada	Cervezas
	Manzana	Sidras
	Melazas	Ron
	Arroz	Saké
	Trigo	Pan
	Soja	Salsa de soja (con mohos).

ciones de anaerobiosis, tomando como sustratos algunos de los carbohidratos presentes en los alimentos. Estos compuestos orgánicos sufren diversas modificaciones en función de las vías metabólicas marcadas por la actividad específica de cada tipo de microorganismo (Tabla 24.4).

Toda fermentación suele comenzar con el fenómeno de la glucólisis a partir de glucosa, fructosa o sacarosa, para llegar a través de diversas etapas a la formación de ácido pirúvico. De acuerdo con la vía metabólica que siga este metabolito aparecerán compuestos finales diferentes, que son los que van a caracterizar de modo específico cada tipo de fermentación propias de especies concretas de microorganismos.

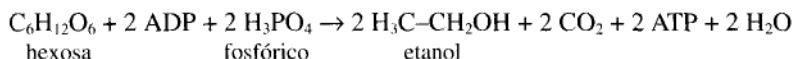
Así, en un ambiente de anaerobiosis, el ácido pirúvico no puede ser oxidado por falta del oxígeno correspondiente, pero en cambio sí puede actuar como aceptor de hidrógeno suministrado por el cofactor NADH₂ y ser reducido de modo directo para convertirse en ácido láctico. En esto radica el esquema esencial de la fermentación homoláctica, en la que interviene la enzima láctico deshidrogenasa.

En cambio, si la reducción fuera precedida de una descarboxilación hasta acetaldehído, lo que se formaría como producto final sería etanol. De este modo se tendría el esquema esencial de la denominada fermentación alcohólica.

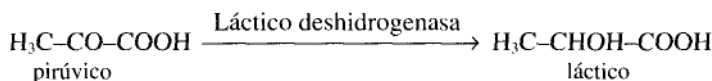
Cuando los dos átomos de hidrógeno procedente de la glucólisis son utilizados a través de mecanismos diferentes, aparece la imposibilidad de una reducción para el ácido pirúvico, que puede ser la base para la formación de otros productos secundarios, como acético, propiónico, butírico, etc.

Tabla 24.4
Esquemas de las principales fermentaciones alimentarias

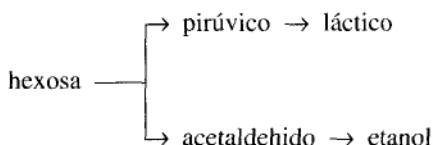
Fermentación alcohólica



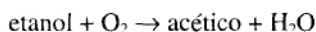
Fermentación homoláctica



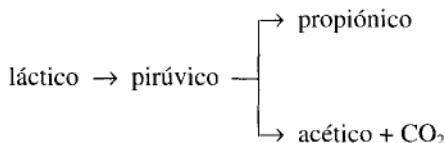
Fermentación heteroláctica



Fermentación acética



Fermentación propiónica



También el ácido málico puede ser otro punto de arranque de algunas fermentaciones para llegar a la formación de ácido láctico, mediante la posible intervención de tres enzimas: málico deshidrogenasa, málica y maloláctica.

Conservadores químicos

Todos los alimentos utilizados en la alimentación humana proceden de animales o vegetales, constituidos por células que integran su materia organizada. Bajo su condición de organismos vivos, estas células disponen de recursos para defenderse de otros seres parásitos que tratan de destruirlas. Sin embargo, al quedarse sin vida, su materia orgánica puede servir de sustrato para el metabolismo de numerosos microorganismos, que acaban por alterar el alimento modificando su composición. Por ello, en la producción tradicional de alimentos ha sido necesario el uso de métodos que impidan esta alteración.

Desde hace muchos años, se han aplicado sustancias químicas, que por sus propiedades antisépticas, pueden ser consideradas como agentes conservadores al prolongar la vida útil de los alimentos producidos: cloruro sódico para impedir la putrefacción de carnes y pescados; sacarosa para la elaboración de confituras y jaleas. No obstante, el empleo intensivo de este tipo de sustancias no ha tenido lugar hasta época más reciente, obligado por la evolución de la sociedad occidental, que se ha reflejado en importantes modificaciones desarrolladas en los métodos empleados para producir y comercializar alimentos. La sociedad actual desea disponer de todo tipo de alimentos en cualquier época del año, con la propiedad de estar siempre exentos de microorganismos patógenos y que ofrezcan vida media para su consumo con una duración razonablemente prolongada.

En este sentido, los conservadores químicos representan un modo importante para proteger los productos alimenticios comercializados de las alteraciones de origen microbiano. Incluso, han sido perfectamente estudiadas y establecidas las condiciones más adecuadas para el empleo de cada una de ellas, de acuerdo con sus propiedades específicas: hidrosolubilidad, nivel de ionización, equilibrio hidrófilo/lipófilo, etc.

Sin embargo, no todas las sustancias químicas que presentan una actividad antimicrobiana pueden ser aplicadas en la protección de los alimentos que han de ser almacenados, porque en muchos casos sus estructuras químicas pueden representar un peligro para la salud del consumidor.

Concepto de conservador químico

Desde el punto de vista de la protección antimicrobiana de los alimentos el concepto de *conservador químico* se define como «toda sustancia capaz de inhibir, retrasar o detener tanto el crecimiento de los microorganismos contaminadores de un alimento, como cualquier deterioro del alimento que pueda ser consecuencia de sus actividades metabólicas».

En la práctica, caben distinguir dos tipos de comportamientos beneficiosos proporcionados por los conservadores químicos:

- Efecto bacteriostático: inhibición de la multiplicación de los microorganismos.
- Efecto bactericida: destrucción de la vida celular microbiana.

Sin embargo, no existe una base científica que justifique esta distinción, porque sus diferencias solamente radican en la magnitud de su actividad letal, es decir, en la velocidad a la que mueren las células microbianas. Calificar una sustancia de bactericida o de bacteriostática resulta una decisión bastante relativa y problemática, porque las funciones desempeñadas por algunas de ellas pueden variar de acuerdo con su concentración: en cantidades reducidas se comportan como fuente de nutrientes para los microorganismos, mientras que a niveles algo mayores pueden actuar como agentes inhibidores de su crecimiento, e incluso si es muy elevado pueden, ocasionar la muerte de algunas, o de todas, las células microbianas.

A las dosis habituales aplicadas por la industria alimentaria, estas sustancias pueden necesitar varios días, o incluso semanas, para conseguir la destrucción total de la población microbiana contenida en un alimento. Por regla general, su eficacia

depende de la concentración alcanzada en el alimento; y se ha comprobado que cuanto mayor sea su nivel, más lento resulta el crecimiento celular y más se acelera la muerte de estas células.

Precisamente, en este comportamiento radica la distinción entre un conservador químico y una sustancia desinfectante, porque estas últimas se emplean cuando existe la necesidad de lograr la destrucción de todos los microorganismos dentro de un plazo de tiempo muy breve.

Empleo de conservadores químicos

El empleo de conservadores químicos sólo tiene sentido cuando se hace a las concentraciones que resultan suficientes para inhibir el crecimiento de los microorganismos en su fase inicial y nunca en la fase de crecimiento exponencial, porque en este caso harían falta cantidades muy elevadas de conservador. La mayor cantidad de microorganismos mueren cuando la concentración de conservador alcanza niveles próximos a la dosis de esterilización.

Como lo normal es hacer uso de ellos en cantidades que no puedan perjudicar la calidad nutritiva, sensorial y sanitaria del alimento, aquellos microorganismos que puedan quedar vivos tienen la capacidad de multiplicarse al cabo de un cierto tiempo. Afortunadamente, la mayoría de los alimentos suelen ser consumidos antes de que este hecho pueda ocurrir.

Para justificar su empleo, el uso de un conservador químico debe responder adecuadamente a los doce requisitos que se relacionan en la Tabla 24.5

Para seleccionar entre las numerosas estructuras químicas que manifiestan una actividad antimicrobiana las que resultan más adecuadas como agentes conservadores, se dispone de cuatro criterios, cuyo cumplimiento permite discernir sobre la idoneidad de esos compuestos:

Tabla 24.5

Requisitos a cumplir para el uso de conservadores químicos

-
1. Proporcionar un modo económico de conservación.
 2. Ser usado cuando no pueda ser aplicado otro método.
 3. Tener la capacidad de prolongar la vida útil del alimento.
 4. No reducir la calidad sensorial del alimento.
 5. Ser fácilmente soluble.
 6. Ejercer su actividad antimicrobiana dentro de toda la gama de pH propia de la naturaleza del alimento.
 7. Ser inocuo a los niveles de empleo.
 8. Poder ser valorado con facilidad por análisis químicos.
 9. No obstaculizar las actividades de los enzimas digestivos.
 10. No originar compuestos de mayor toxicidad, tanto por reacciones con otros compuestos del alimento, como por su metabolización en el organismo humano.
 11. Poder ser distribuido de modo homogéneo por todo el alimento.
 12. Poseer un amplio espectro antimicrobiano.
-

- El espectro antimicrobiano vinculado a su estructura química.
- Las propiedades físicas y químicas de dicha estructura (pKa, solubilidad, etc.), así como el pH del alimento. Todos ellos inciden sobre la eficacia conservadora.
- La calidad microbiológica inicial del alimento, porque ningún conservador químico tiene capacidad para conservar productos que se encuentren altamente contaminados.
- Seguridad y condición legal del producto, en cuanto aditivo químico.

Además, caben señalar algunos factores capaces de influir en la actividad antimicrobiana específica de cada conservador y que deben ser tenidos en consideración cuando se trate de juzgar acerca de lo acertado de su empleo:

a) *Tipo de microorganismo*

Entre las distintas especies microbianas, e incluso entre algunas cepas de la misma especie, se pueden observar respuestas diferentes ante las actividades de los diversos conservadores. Así, por ejemplo, se ha comprobado cómo las esporas de bacterias y mohos son más resistentes que las propias células vegetativas. También se ha puesto de manifiesto la necesidad de una mayor cantidad de conservador para conseguir la destrucción de las células, o al menos inhibir su reproducción, cuanto más intensa sea la contaminación microbiana del alimento.

b) *Naturaleza del alimento*

Son muchos los conservadores químicos que mejoran su actividad antimicrobiana cuando son empleados con los alimentos ácidos. Sin embargo, también resulta posible que reaccionen con algunas de las estructuras químicas presentes en el alimento y queden neutralizados en sus efectos. En el caso de los alimentos líquidos se produce una distribución más homogénea que la conseguida con los alimentos sólidos. Por otra parte, cuando los microorganismos se ubican en el interior de alguna partícula del alimento se encuentran más protegidos frente a los efectos de los compuestos conservadores.

c) *Temperatura*

La eficacia de un conservador químico se acentúa cuando se incrementa la temperatura del alimento, siempre que el nivel térmico de partida sea superior al de la temperatura óptima propia para el desarrollo del microorganismo. En cambio, cuando se parte de un nivel más bajo y la temperatura aumenta de modo progresivo hasta alcanzar el valor que corresponde a la óptima, puede ocurrir que la mejora en la eficacia se vea contrarrestada por la aparición de algunos efectos estimulantes del crecimiento microbiano.

d) *Tiempo*

El tiempo de actuación resulta ser un parámetro de cierta importancia, porque no siempre la estructura del conservador tiene capacidad para provocar efectos instantáneos sobre los microorganismos; la mayoría de las veces necesitan de algunas horas para conseguir los efectos esperados. Por consiguiente, la actividad de un conservador será siempre de mayor eficacia cuanto más prolongado sea el periodo de contacto con las células microbianas.

Acción frente a los microorganismos

Todos los compuestos empleados como conservadores químicos no actúan con la misma intensidad frente a los distintos tipos de microorganismos (Tabla 24.6) y por tanto el espectro de su actividad varía en función de los microorganismos presentes en el alimento al que han sido añadidos.

Desde luego, la mayoría de los empleados suelen actuar de manera primordial frente a levaduras y mohos, porque suelen carecer de actividad a los pH que resultan óptimos para el desarrollo de las bacterias, a menudo situado en la zona de pH neutro.

De hecho, algunos alimentos aportan factores que pueden incidir sobre esta actividad antimicrobiana:

- *El pH del alimento.* Existen sustancias como el ácido acético, que actúan a través de los hidrogeniones que liberan, mientras que otros, como el ácido sórbico, deben su actividad a las formas moleculares no disociadas. En uno y otro caso existe una clara influencia del pH del alimento.
- *Reparto entre las fases acuosas y lipídicas.* La actividad de una estructura química conservadora tiene clara dependencia de su coeficiente de reparto, porque los microorganismos sólo crecen en la fase acuosa. Por eso las sustancias muy hidrosolubles, como el cloruro sódico y la sacarosa, resultan muy eficaces para estos fines.
- *Actividad de agua (a_w).* La presencia de sustancias que reducen la disponibilidad del agua favorece la eficacia de los conservadores químicos. También este hecho pone de relieve la eficacia de azúcar, sal común, glicerol, etc.
- *Potencial redox y presión parcial de O_2 .* Estos parámetros determinan el tipo de microorganismos que pueden vivir y multiplicarse en ese medio.

Tabla 24.6

Actividad frente a las distintas especies de microorganismos de los principales conservadores químicos autorizados por la legislación alimentaria

Conservador	Bacterias	Levaduras	Mohos
Ácido propiónico	+	++	++
Ácido sórbico	+	+++	+++
Éster del ácido para-hidroxibenzoico	++	+++	+++
Sulfitos	++	+	+
Nitritos	++	—	—

- (—) Inactivo.
 (+) Poco activo.
 (++) Actividad media.
 (+++) Buena actividad.

Cualquier compuesto conservador capaz de modificarlos, como puede hacerlo el SO₂, potencia su actividad.

El nivel de destrucción que se consigue con una determinada concentración de conservador puede ser expresado en función de la denominada *constante de mortalidad* (K_{mort}), que corresponde a la constante de una reacción monomolecular, aunque la ecuación [2] sólo resulta válida cuando se emplea dosis elevadas de conservador.

$$K_{\text{mort}} = \frac{1}{t} \times \log \frac{n_0}{n_t} \quad [2]$$

t : tiempo de actuación.

n_0 : número de células vivas al comienzo de la adición del conservador.

n_t : número de células vivas al final del tiempo t .

Esta *ecuación de mortalidad* se cumple cuando se aplica a un sistema cerrado donde no hay cambios de pH, pérdidas de producto conservador, nueva contaminación, etc.

Desde luego, en la práctica de las condiciones de conservación de los alimentos no se cumplen todas las premisas necesarias para el adecuado cumplimiento de esta ecuación. No obstante, su información puede servir como una base bastante aceptable para juzgar acerca de la actividad de cada sustancia conservadora.

Puede ocurrir que la actividad letal del conservador sobre las células sea más bien aparente, porque el número de células muertas se ve compensado por el número de células con capacidad para multiplicarse. Como la viabilidad de una célula microbiana viene determinada por su capacidad para multiplicarse, es normal que la actividad antimicrobiana del conservador se reduzca solamente a un efecto bacteriostático.

Para mejorar la protección debida a los agentes conservadores se ha acudido a la aplicación de combinaciones, puramente empíricas, efectuadas con la finalidad de conseguir mayor eficacia concretada en las ventajas siguientes: 1) ampliar el espectro de acción; 2) intensificar la actividad antimicrobiana.

1. Desde un punto de vista teórico, es posible que un combinado de sustancias conservantes ofrezcan un espectro de actividad diferente al que posee cada una por sí sola. Esto, por ejemplo, se cumple en la práctica con la mezcla de los ácidos sórbico y benzoico, cuya mezcla resulta mucho más activa que su actuación por separado frente a muchas bacterias. También es interesante la mejora de la combinación de sórbico y SO₂ para conservar productos vegetales, así como la mezcla del sórbico con los ésteres del ácido para-hidroxibenzoico frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus*.

2. Cuando se combinan dos, o más, sustancias conservadoras puede ocurrir cambios en sus actividades antimicrobianas, de acuerdo con tres mecanismos posibles de colaboración:

- *Adición*. Cuando las actividades de cada compuesto se suman por separado.
- *Sinergismo*. Cuando combinados necesitan de menor concentración para conseguir los efectos obtenidos por separado.
- *Antagonismo*. Cuando se alcanza el efecto contrario, es decir, hace falta mayor cantidad cuando se combinan que por separado.

La incidencia de estos mecanismos sobre una combinación determinada de compuestos se suele representar de modo gráfico mediante los denominados *diagramas isobólicos* (Fig. 24.2), que en ordenadas y abscisas recogen los porcentajes de concentración inhibidora de cada sustancia, referidos a la concentración inhibidora límite.

Aunque sean muchas las mezclas que incrementan su actividad antimicrobiana, no todos los combinados deben ser considerados *a priori* como favorables. Desde un punto de vista teórico sólo deberían interesar aquellos combinados que actúan de modo sinérgico. Sin embargo, razones comerciales suelen decantarse por las mezclas aditivas antes que compuestos separados.

También puede resultar conveniente combinar el empleo de un conservador químico con la acción de un agente físico protector, como el calor, el frío, la desecación o la irradiación. En estos casos puede aportar la posible ventaja de eliminar los probables efectos secundarios consecuentes a la aplicación por separado, así como reforzar la acción de cada uno de ellos. Así, por ejemplo, se pueden reducir los valores exigidos para el binomio temperatura-tiempo cuando se pretende la destrucción de la población microbiana de un alimento, si el tratamiento térmico se combina con la acción de un conservador químico.

La experiencia ha puesto de manifiesto que los microorganismos se hacen más resistentes con el tiempo frente a todas aquellas sustancias que les son perniciosas. De aquí que, en sentido estricto, se entienda por *resistencia* la capacidad desarrollada por un microorganismo para poder sobrevivir a medida que incrementa sus contactos con aquellos sustratos que contienen alguna sustancia con actividad inhibidora a una concentración subletal.

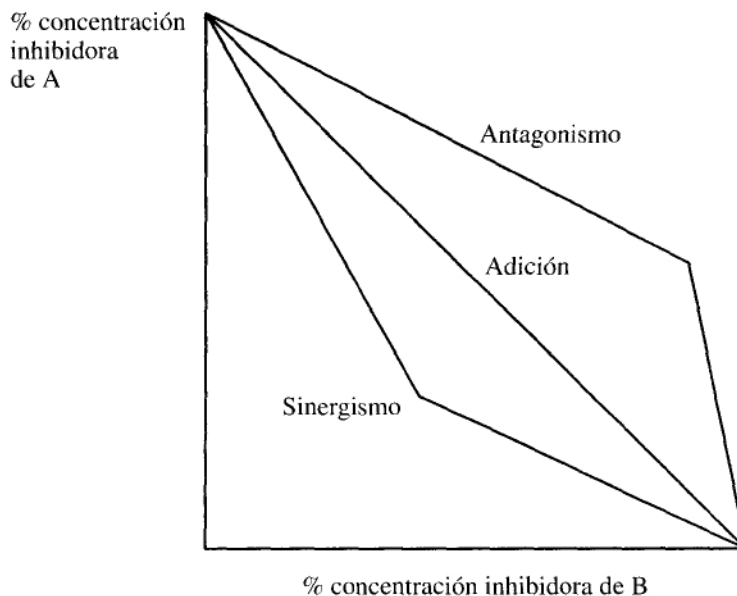


Figura 24.2. Modelo de diagrama isobólico para la mezcla de sustancias A y B.

En la práctica de la microbiología de los alimentos hay que diferenciar este concepto del fenómeno de *adaptación*, que significa una acomodación no hereditaria, mientras que en la resistencia se produce una mutación, es decir, una modificación que heredan las células de generaciones posteriores. En la adaptación el cambio desaparece cuando el conservador deja de actuar, mientras que con la resistencia el cambio perdura a través de la multiplicación del microorganismo.

Mecanismos de actuación de los conservadores químicos

Los conservadores químicos solamente pueden ejercer su actividad antimicrobiana cuando toman contacto con la célula microbiana a una concentración adecuada. En estos casos, la muerte de los microorganismos viene a ser una consecuencia de los efectos de una serie de factores concomitantes, no siempre relacionados, pero que resultan muy selectivos. Así, junto a mecanismos de tipos físico y fisicoquímicos, también intervienen reacciones puramente bioquímicas, sobre todo en lo que hacen referencia a la inactivación de enzimas. De este modo, la muerte resultante puede ser ocasionada por la suma de diversos factores individuales o bien ser la consecuencia del bloqueo de algún paso en el conjunto de una reacción celular.

Aunque sean muy variados los mecanismos que pueden intervenir, se pueden reducir a dos modos de acción importantes:

- a) La influencia sobre la pared y/o membrana celular.
- b) La influencia sobre el material genético o la actividad enzimática del citoplasma celular.

Para la viabilidad de las células microbianas, y de modo particular en las bacterias, tiene una gran importancia la integridad de la pared celular y la semipermeabilidad de su membrana subyacente. Por ello, no es indispensable que el conservador químico penetre en la célula para inhibir su crecimiento. Una reacción con algunos de estos elementos celulares puede modificar la permeabilidad celular y dejar que se escapen componentes celulares o dificultar la entrada de nutrientes.

La pared celular es una estructura formada de polímeros complejos que desempeña funciones de protección, aunque a su vez representa una amplia superficie muy vulnerable frente a los injurias ocasionada por cualquier tipo de agente. Algunos conservadores pueden ejercer una actividad antimicrobiana a través de vías diferentes: por incidencia sobre la síntesis de sus componentes simples, por inhibir la polimerización de esos componentes, por alterar la estructura de la pared de tal manera que resulta incapaz de satisfacer las necesidades de la célula, etc.

Otras veces el daño se produce una vez que ha conseguido penetrar en la célula. Algunos conservadores pueden interferir con el sistema genético al combinarse con el ribosoma e inhibir la síntesis proteica. Cuando los genes se ven afectados por un agente químico puede traer como consecuencia una inhibición de la síntesis de los enzimas controlada por ellos. Sin embargo, cuando se representa de modo logarítmico el número de bacterias supervivientes frente al tiempo de actuación se obtiene una línea que no es totalmente recta. Esto significa que la alteración no responde sólo a la reacción monomolecular de daño en el ADN, sino que hace pensar en la intervención de otras acciones. En este sentido, suele adquirir mayor impor-

tanda el bloqueo de la síntesis de algunas enzimas específicos o bien de sus reacciones; pueden ocurrir reacciones de óxido-reducción, adición molecular, incorporación como ligando, modificación del pH, saturación de un metabolito, etc.

Propiedades de los principales conservadores químicos usados como aditivos

Las principales sustancias empleadas hoy día como conservadores químicos responden a dos grupos bien diferenciados de compuestos orgánicos: los ácidos orgánicos y los antibióticos.

El empleo de los *ácidos orgánicos* como un modo de conservar mejor los alimentos se remonta a muchísimos años, una vez observada su eficacia conservadora como componentes naturales de muchos alimentos, o bien en cuanto metabolitos de algunas fermentaciones microbianas. Así, pueden ser citados varios: cítrico en naranjas, toronjas, limas y limones; benzoico en ciruelas y arándanos; sórbico en los frutos del Fresno; láctico como metabolito de las fermentaciones lácticas; etc. En la actualidad, la industria alimentaria hace bastante uso de ellos, aunque siempre de una manera controlada y de acuerdo con los requisitos establecidos por la legislación alimentaria.

La actividad antimicrobiana de los ácidos orgánicos se incrementa a medida que se alarga su cadena carbonada, pero los ácidos alifáticos que tienen más de diez átomos de carbono apenas se utilizan, debido a su escasa hidrosolubilidad. De aquí que los más empleados sean acético, benzoico, cítrico, propiónico y sórbico.

Tanto en su estructura de ácido, como bajo la forma de éster, estos compuestos deben principalmente su actividad antimicrobiana a las formas no disociadas de sus moléculas, única con suficiente carácter lipofílico para penetrar a través de una membrana celular. Este hecho explica la dependencia que presenta su actividad con el pH del alimento, pues al tener un pK_a situado en la zona 3-5 de pH, cuanto más ácido sea el alimento, menor será la disociación de la molécula y, por tanto, mayor su eficacia conservadora. En consecuencia son buenos agentes micostáticos y poco eficaces frente a bacterias, que suelen crecer a pH superiores en los cuales los ácidos se encuentran fundamentalmente bajo sus formas disociadas poco activas.

Sus actividades conservadoras frente a los microorganismos han sido interpretadas de muy diversa forma en relación con lo puesto de manifiesto por los numerosos estudios realizados:

- Interferencia con la regeneración del ATP, bien por desacoplar el sistema de transporte de electrones, bien por inhibir el transporte de metabolitos dentro de las células.
- Desacoplamiento entre el sistema de transporte de electrones y las proteínas portadoras de aminoácidos.
- Rápida penetración de las formas no disociadas al interior de las células aprovechando su liposolubilidad y, una vez dentro, ionización que acidifica el medio interno celular. En consecuencia aparece una inhibición del transporte de membrana.
- Desequilibrio entre las velocidades de entrada y de salida de protones en la célula, que determina la inhibición celular.

- Inhibición del transporte a través de la membrana al interferir con la fuerza motriz de protones por parte de la membrana celular.

En resumen de todo ello, puede afirmarse que los ácidos orgánicos afectan, al menos aparentemente, a la membrana celular, al interferir con el transporte de metabolitos y con el mantenimiento del potencial de membrana.

Por lo general, el empleo de ácidos orgánicos como conservadores de alimentos resulta compatible con el empleo de otras sustancias y con otros sistemas de conservación. De hecho, se han descrito numerosas combinaciones que presentan interesantes efectos sinérgicos, que permiten reducir los niveles de concentración necesarios para obtener los mismos efectos protectores que las sustancias solas.

En este sentido, se pueden citar las siguientes combinaciones ensayadas:

- Benzoatos con SO_2 , CO_2 , CINa o sacarosa.
- Propionatos con CO_2 o sorbatos.
- Sorbatos con sacarosa, CINa o nisina.
- Lactatos con acético.

En cambio, no resulta aconsejable el empleo de ácidos orgánicos cuando la contaminación inicial del alimento es muy elevada o en el caso de estar presente algún microorganismo que utilice los ácidos orgánicos como fuente metabolizable. Asimismo, el empleo de ácidos orgánicos como agentes conservadores puede inducir bajo ciertas condiciones una clara resistencia de los microorganismos.

También el empleo de sustancias con carácter *antibiótico*, bien obtenidas por síntesis o bien producidas por algunas especies de microorganismos, han suscitado el interés de la industria alimentaria en cuanto pueden significar una clara medida de protección frente a la alteración microbiana de los alimentos. Su interés se acentuaba al ser muchos más activos que los conservadores químicos tradicionales y por tanto eran necesarias cantidades mucho más pequeñas, sin apenas consecuencias sobre las propiedades sensoriales. Sin embargo, la frecuencia con que pueden aparecer resistencias de los microorganismos a los antibióticos ha restringido la legalidad de su empleo solamente para aquellos que no tienen aplicaciones clínicas. En este sentido solamente dos han mantenido una relativa importancia en la conservación de alimentos: la nisina y la pimaricina, sustancias con actividades fungistáticas.

Ácido acético

Principal componente del vinagre, tiene una amplia aplicación como agente saborizante, favorecido por su acción sobre las proteínas, cuyos productos de degradación aportan sabores agradables. No obstante, a los niveles que resultan soportables para el paladar humano presenta una actividad antimicrobiana más bien escasa, por lo que se le suele complementar con otros medios: calor, frío, sórbico, benzoico, etc. Particularmente esto ocurre en su empleo con productos grasos, como salsas mayonesas, salsas para ensaladas, mostaza, etc.

Su empleo en la industria alimentaria se fundamenta en su amplio espectro bacteriano y en su poder bactericida frente a coliformes y salmonellas. A concentraciones diluidas (0,1 %) inhibe el crecimiento de la mayor parte de las bacterias

patógenas, aunque para inhibir el crecimiento de hongos micotóxicos necesita concentraciones algo superiores (0,3 %). Solamente se le resisten los *Acetobacter* spp, algunas bacterias lácticas y algunos mohos y levaduras. Se piensa que su actividad se debe a la penetración de sus formas no disociadas en las células bacterianas, donde provoca una acidificación que resulta tóxica para las células.

Aparte de razones conservadoras, su amplio uso tiene como fundamento su abundancia, su bajo coste y su escasa toxicidad para el ser humano.

Ácido benzoico y esteres del ácido para-hidroxi-benzoico

Por su mayor solubilidad, se emplea más el benzoato sódico que el ácido benzoico libre, aunque son más frecuentes los esteres del ácido para-hidroxi-benzoico, también conocidos como *parabenos*. Los dos primeros se usan preferentemente contra levaduras y mohos, porque a los pH ácidos a los que son activos apenas crecen las bacterias.

Sus efectos antimicrobianos se deben a una alteración de la permeabilidad de las membranas celulares, pero sobre todo a un efecto competitivo con los coenzimas que intervienen en la actividad de los sistemas enzimáticos de las células microbianas.

Durante muchos años, el ácido benzoico ha sido la sustancia más empleada para proteger las margarinas; tanto el ácido libre como su sal sódica se aplican hoy día a salsas mayonesas, mientras que con los pescados se reserva su empleo para aquellos casos donde resulta útil sus actividades fungistáticas. Por la misma razón, se consideran muy apropiados para conservar frutas ácidas y los zumos correspondientes. Su presencia se detecta fácilmente por el sabor que aporta, incluso a dosis muy pequeñas.

La eficacia antimicrobiana de los *parabenos* resulta, por lo general, directamente proporcional a la longitud de la cadena alquílica que esterifica el ácido. Suelen ser más activos frente a mohos y levaduras que ante las bacterias; la máxima actividad antifúngica la tienen los esteres hexilo, heptilo y optilo, mientras que los de la serie desde el metil hasta el butil tienen buena actividad frente a las bacterias gram-negativas y gram-positivas. El mecanismo responsable de sus actividades se relaciona con los efectos sobre la membrana citoplásmica con inhibición tanto del sistema de transporte a través de la membrana, como del sistema de transporte de electrones. Sus mezclas suelen presentar efectos sinérgicos. Son más eficaces que los anteriores cuando se trata de alimentos con pH relativamente altos y también su empleo se considera más seguro para el consumo humano.

Ácido propiónico

Se trata de un ácido graso que toma parte en la composición de algunos quesos fermentados por las propionibacterias. Presenta actividad bacteriostática y fungistática más intensa cuando se adicionan a sustratos ácidos que en los neutros o alcalinos. Con ello se pone de manifiesto que esta actividad vinculada al pH se debe a la forma no disociada de la molécula.

Debido a lo poco específico de su mecanismo de acción no ha sido posible esta-

blecer con claridad su espectro de acción. Tanto el ácido libre como sus sales resultan muy eficaces frente a los mohos, aunque algunas especies de *Penicillium* presentan cierta resistencia; algo más reducida es su acción frente a las bacterias gram-negativas y parece ser bastante escasa su actividad frente a las levaduras. Incluso algunas levaduras, como las del género *Torula*, tienen capacidad para utilizar el ácido propiónico en su metabolismo. Como no afecta a las fermentaciones promovidas por levaduras es un agente ideal para la conservación del pan. Se suele aplicar a productos lácteos y de panadería para controlar la formación de hongos, en algunos tipos de quesos, pan, pasteles, frutas, jaleas, chocolates, etc.

Ácido sórbico

Corresponde a un ácido graso de cadena recta y seis átomos de carbono, que tiene en su molécula un grupo carboxílico y dos dobles enlaces en la posición *trans*. Como tal ácido graso, es metabolizado por el organismo humano. La solubilidad de sus sales sódica o potásica es superior a la del ácido libre. Como su poder antimicrobiano corresponde a la forma molecular no disociada, su actividad aumenta a medida que decrece el pH del alimento al que se adiciona, pero por su pKa se reduce de modo notable cuando el valor del pH es superior a 6,0-6,5.

El mecanismo por el cual el ácido sórbico inhibe el crecimiento de los microorganismos parece debido a sus efectos sobre diversos sistemas enzimáticos celulares: enolasa, lactato deshidrogenasa, malato deshidrogenasa, isocitrato deshidrogenasa, succinato deshidrogenasa, alfa-cetoglutarato deshidrogenasa, fumarasa y aspartasa. La inactivación es una consecuencia de los enlaces covalentes que se forman entre sus dobles enlaces y los grupos -SH libres de las enzimas. También por su carácter lipofílico puede penetrar en las células microbianas e interferir con el transporte a través de la membrana citoplásmica.

Algunos hongos pueden metabolizarlo cuando el ácido se encuentra a dosis subóptimas, o cuando la contaminación es muy grande. Por ello, no puede ser considerado como un método alternativo para la desinfección de las plantas industriales.

Su espectro de acción alcanza de modo preferente a mohos y levaduras, aunque también puede actuar frente a las bacterias aerobias estrictas. Se ha comprobado que ni los mohos ni el *Escherichia coli* desarrollan resistencia frente a este compuesto.

El ácido sórbico puede ser aplicado por incorporación directa mediante inmersión, pulverización o contacto con el material del envase. De este modo se emplea para productos de diversos tipos: grasos, lácteos, embutidos, pan, bebidas, etc.

Ácidos cítrico y láctico

El ácido cítrico, constituyente común de los frutos cítricos, es un agente acidulante con unas excepcionales propiedades de sabor. Poco eficaz como sustancia antimicrobiana, sin embargo es capaz de reducir la contaminación de *salmonellas* en pollos y adicionado al pescado resulta más eficaz que el sórbico, además de inhi-

bir la formación de N volátil total y de trimetilamina. Pequeñas concentraciones (0,001 %) de ácido no disociado inhibe el crecimiento del *Staphylococcus aureus*.

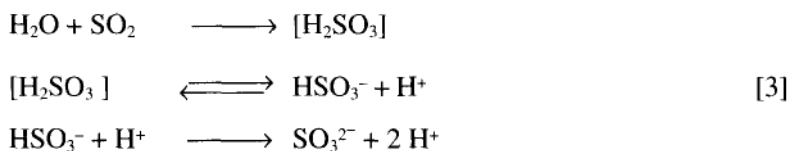
El ácido láctico es un constituyente normal de muchos alimentos fermentados y su actividad antimicrobiana depende en gran manera del sustrato y de los microorganismos contaminantes.

Uno y otro resultan medianamente eficaces en alimentos de pH muy ácidos, pero pueden inhibir la formación de aflatoxinas por los hongos *Aspergillus*.

Sulfitos

Bajo este nombre genérico se incluyen varios compuestos que derivan del dióxido de azufre (SO₂) utilizados ya en la antigua Grecia y hoy día aplicados tanto como agentes antimicrobianos, como para prevenir los pardeamientos no enzimáticos que pueden desarrollarse en varios tipos de alimentos.

El dióxido de azufre y sus sales (bisulfitos y metabisulfitos) constituyen una mezcla de compuestos cuando se disuelven en el agua, cuyo equilibrio molecular depende del pH, de acuerdo con la siguiente serie de reacciones [3]:



Cuando decrece el pH se incrementa la proporción de SO₂ a expensas de los iones bisulfitos.

En su actividad antimicrobiana influyen varios factores: pH, concentración, tipo de microorganismos, duración del contacto. Su efecto inhibitorio es más pronunciado cuando el ácido no se encuentra disociado, situación que se da a pH inferiores a 4,0. Las formas enlazadas del SO₂ tienen menos efectividad que la forma libre y sus compuestos de adición con los azúcares tienen neutralizada su actividad frente a las levaduras. En general, las levaduras y los mohos son más sensibles a la acción de los sulfitos que las bacterias; por eso aparece la acción fungicida aunque se encuentre a concentraciones muy bajas, mientras que frente a las bacterias sólo ejerce una acción bacteriostática.

Su actividad antimicrobiana se basa en las interferencias con varios componentes celulares. Así, la célula puede resultar dañada como resultado de la interacción con los grupos SH de las estructuras proteicas y de las interacciones con cofactores, vitaminas, enzimas, ácidos nucleicos y lípidos.

Se aplica para controlar el crecimiento de microorganismos indeseables en frutas blandas, zumos de frutas, vinos, productos cárnicos frescos, crustáceos frescos, escabeches ácidos, etc.

Nisina y pimáricina

La nisina es un polipéptido producido por determinadas cepas del *Lactococcus lactis*, que presenta propiedades inhibitorias frente a las bacterias gram-positivas,

incluyendo bacterias lácticas, estreptococos, bacilos y clostridios. Por regla general no afecta a las bacterias gram-negativas, ni a levaduras y mohos. Su actividad es dependiente del pH y su eficacia se incrementa a medida que el pH decrece. Parece que su mecanismo de actuación viene a ser semejante al de un detergente catiónico con actividad superficial.

Su empleo presenta tres ventajas:

- Carece de toxicidad para el ser humano.
- No tiene aplicaciones clínicas.
- No forma mutantes entrecruzados resistentes.

Además, es muy poco probable que afecte a la población microbiana intestinal, porque como polipéptido se degrada con las enzimas digestivas. Su principal aplicación se centra en los alimentos que han sido tratados por el calor, con el fin de impedir el desarrollo de las esporas termorresistentes. Para ello, la nisina queda fijada a la célula favorecida por la acción térmica y la hace menos resistente frente a los efectos del calor. No obstante se ha indicado que algunas esporas, como las del *C. botulinum*, son bastante resistentes a la actividad de la nisina.

La pimaricina, o natamicina, es un antibiótico macrólido no nitrogenado, que tiene un anillo grande de lactona, pocos dobles enlaces y uno o más restos de azúcares como sustituyentes en el anillo. Es producido por la bacteria *Streptomyces natalensis* y resulta muy eficaz frente a levaduras y mohos, mientras que es ineficaz frente a bacterias y virus. Se emplea para evitar el desarrollo de mohos en los embutidos y se ha comprobado que su presencia en la harina de cacahuete impide que los mohos produzcan aflatoxinas.

PARTE VI



Sánchez Cotán, Bodegón, Madrid

LA SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS

Factores que determinan la seguridad de los alimentos

- Introducción.
- Aspectos toxicológicos de la seguridad.
- Aspectos higiénicos de la seguridad.
- Clasificación de los riesgos que afectan a la seguridad de los alimentos.

Introducción

Para definir la calidad de los alimentos no sólo hay que considerar su valor nutritivo o sus cualidades organolépticas, sino también su seguridad, es decir, su inocuidad, vinculada siempre a la ausencia de agentes químicos o biológicos capaces de atentar contra la salud del consumidor.

En términos generales, el concepto de *seguridad* hace referencia a la propiedad que tiene una cosa de estar exenta de provocar cualquier peligro, daño o riesgo. Por consiguiente, aplicado al ámbito de la alimentación, se debe entender como *seguridad de los alimentos* a su cualidad intrínseca de no producir ningún tipo de daño cuando sea consumido por cualquier organismo vivo.

Desde hace varios años, la sociedad occidental vive bajo una honda preocupación por su estado de salud, que le lleva a una situación de atenta vigilancia sobre los alimentos que consume, porque, en gran parte, suele relacionar su salud con sus hábitos alimentarios. No resulta extraño que, con gran frecuencia, los medios de información incluyan noticias que subrayan el riesgo consecuente a la ingestión de aquellos alimentos que, por su composición química o por su población microbiana, pueden significar un peligro para la salud.

Es evidente que en los momentos actuales existe un interés, cada vez más acentuado, acerca de la *seguridad* de todos aquellos productos alimenticios que se producen y comercializan. Es posible que esta conducta tan característica de la moder-

na sociedad occidental sea una clara consecuencia de los innovadores avances tecnológicos introducidos en la industria alimentaria en respuesta a la evolución seguida por dicha sociedad durante la segunda mitad del siglo XX. Tales cambios han repercutido de modo notable en la naturaleza de los alimentos producidos, con modificaciones tanto en su composición como en su presentación. Desde luego, entre otras cosas, ha implicado un notable incremento en el consumo de productos alimenticios cocinados fuera del hogar.

No obstante, es lógico pensar que esta inquietud por la seguridad de lo que se consume haya acompañado al ser humano desde sus primeros pasos sobre nuestro planeta. No en vano fue haciendo, a lo largo de su historia, una selección de aquellas materias primas alimenticias cuyo consumo le proporcionaba un estado de bienestar saludable, a la vez que desechaba otras, en función del daño obtenido por su consumo.

Asimismo, la evolución de sus hábitos alimenticios ha debido estar relacionada forzosamente con los diversos problemas que le planteaba la obtención de sus alimentos, su estabilidad durante los necesarios periodos de conservación e incluso su posible alteración durante estos periodos, particularmente si resultaban prolongados.

Después de cientos de años, tales problemas se agravan en los momentos actuales con la adición de otros tipos de riesgos, como las tecnologías aplicadas para la mejora de los rendimientos de las fuentes alimenticias. Hay que tener en cuenta que la producción agroalimentaria no resulta inmune a la contaminación que proviene del medio ambiente, tanto por agentes bióticos como abióticos.

En cierto modo, el concepto de «contaminante alimenticio» no ha tenido todavía una definición concreta y satisfactoria, hasta el punto que su significado varía de un país a otro, de una región a otra. Entre otras cosas, se debe a que un compuesto químico puede representar tanto una estructura natural de un alimento, como un contaminante no deseable del mismo. Todo depende de los niveles a que se encuentre su concentración. Por otra parte, los contaminantes que proceden del medio ambiente que nos rodea pueden llegar hasta el alimento de un modo directo, o bien a través de una vía indirecta como resultado de la propia actividad humana en los ámbitos agrícolas, industriales o energéticos.

Al finalizar la década de los años ochenta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) daba una definición de lo que se debía considerar como *enfermedad transmitida por los alimentos*: «Cualquier enfermedad de naturaleza infecciosa o tóxica, cuya causa parece tener origen en el consumo de alimentos o de agua de bebida».

De hecho, muchos alimentos, sanos y saludables en apariencia, pueden contener agentes que puede ser capaces de provocar efectos indeseables en el organismo que los ingiera. En tal sentido, todo alimento puede ser considerado como un sistema bastante complejo portador de un sinfín de estructuras químicas, en el que algunas de ellas pueden incidir de modo negativo sobre los mecanismos homeostáticos y metabólicos del organismo vivo que los consume. Además, cualquier producto alimenticio puede servir de vehículo transmisor para aquellos agentes bióticos que han llegado hasta el mismo por contaminación y resultan ser capaces de suscitar enfermedades una vez consumidos.

Por regla general, no se puede conocer a simple vista si un alimento es portador de tales agentes, bien bióticos o abióticos; en consecuencia, se hace totalmente necesario la aplicación de los oportunos métodos que pongan de manifiesto la presencia de tales agentes perturbadores.

No obstante, suele resultar bastante arduo en la mayoría de los casos el conseguir la identificación del verdadero agente etiológico responsable de las enfermedades de origen alimentario, porque en su génesis inciden diversos factores que son difíciles de conocer: la susceptibilidad del organismo afectado, el carácter facultativo de la patogenicidad del agente (sobre todo si se trata de un microorganismo), etc. Además, y entre otras cosas, no siempre la ingesta de un alimento portador de un agente patógeno implica el desarrollo de una enfermedad.

En la Tabla 25.1 se hace una relación de las diferentes posibilidades bajo las que se pueden presentar los efectos nocivos provocados por el consumo de alimentos, como una consecuencia de la presencia de agentes de naturaleza biótica o abiótica, que atentan contra la seguridad de los alimentos que consumimos.

No cabe duda que en el último cuarto del siglo XX, la *seguridad* de los alimentos se ha convertido en uno de los objetivos primordiales para las instituciones públicas, que han de velar por la salud de la población. En consecuencia, se ha incrementado el control legal sobre lo que se produce y se comercializa. Como resultado de esta preocupación por vigilar la *seguridad* de todo lo que se incluye en la alimentación humana, puede afirmarse que las observaciones aportadas por los estudios de los distintos aspectos toxicológicos e higiénicos de los alimentos han adquirido en los momentos actuales una gran relevancia.

De aquí el especial hincapié sobre la necesidad de aplicar sistemáticas adecuadas que permitan ejercer un estricto control del riesgo vinculado a la presencia en los alimentos, tanto de microorganismos patógenos y parásitos, como de ciertas sustancias químicas.

Incluso, en los momentos actuales, resulta objeto de una gran preocupación la inseguridad que puede entrañar el consumo de alimentos elaborados a partir de materias primas, modificadas mediante tecnología genética; sin embargo, hasta el momento no se ha puesto de manifiesto ningún tipo de daño en las investigaciones toxicológicas realizadas. De todos modos, a falta de tiempo para que hayan podido aparecer las consecuencias a largo plazo, se objeta la posibilidad de modificaciones

Tabla 25.1

Diferentes tipos de enfermedades de etiología alimentaria

Infección, intoxicación, infestación

— Provocadas por una contaminación biótica: bacterias, virus, parásitos.

Alteración microbiana

— Escómbridos (caballa, atún) alterados por bacterias.

Animales venenosos

— Peces marinos tropicales que se han alimentado de plancton, rico en algunas especies de dinoflagelados (marea roja).

Plantas venenosas

— Cicuta.

Contaminantes en alimentos

— Metales (Cu, Zn, Sn); pesticidas; micotoxinas; etc.

involuntarias que, entre otras cosas, podrían significar resistencia a los antibióticos, problemas de alergia para algunas personas, incidencia sobre la población bacteriana intestinal, etc.

Puede afirmarse que ante la situación actual resulta imposible dar una respuesta clara acerca de la seguridad de todos los alimentos que consumimos. La causa principal de esta confusión radica en la dificultad que implica llevar a cabo una evaluación adecuada del carácter saludable o insalubre de cada alimento comercializado. Los datos disponibles pueden calificarse de escasos y, en la práctica, se trata simplemente de observaciones aisladas sobre efectos tóxicos de génesis totalmente accidental, así como de algunas informaciones clínicas o escasos estudios epidemiológicos.

Aspectos toxicológicos de la seguridad

Aunque la función principal de un alimento es el aporte de estructuras químicas que permitan el mantenimiento de las funciones vitales de un organismo vivo, paradójicamente también puede ser la fuente, o la causa, de un efecto nocivo, que en algunos casos puede llegar hasta un desenlace fatal.

Por ello, muchos de los objetivos vinculados a la vigilancia de la *seguridad* de los alimentos coinciden con los de la toxicología alimentaria, e incluso en ocasiones se hace difícil establecer una clara delimitación de sus campos. Está claro que cuando se estudia la calidad de un alimento desde el punto de vista de su inocuidad, o desde el ámbito de su nocividad, la toxicología de los alimentos tiene bastante que decir. A ella le corresponde investigar cuáles son los compuestos químicos que motivan esa actividad nociva, cómo eliminarlos o, en su defecto, cómo pueden ser controlados.

Es decir, sus objetivos se orientan a la posibilidad de poner de manifiesto la presencia de sustancias dañinas para la salud, así como la relación que puedan tener sus estructuras químicas con los trastornos patológicos a que dan lugar, unas veces agudos que se presentan de inmediato, otras veces crónicos, que necesitan de un tiempo más prolongado para que aparezcan los síntomas de sus efectos perniciosos.

Para cumplir un primer objetivo, necesita determinar a lo largo de toda la cadena alimenticia, de modo cualitativo y cuantitativo, con el máximo grado de fiabilidad, el nivel de compuestos tóxicos presentes en un alimento (Tabla 25.2).

Un segundo objetivo, no menos importante, es evaluar el riesgo asociado a la presencia de todos esos compuestos. Para ello recaba la ayuda de las más variadas disciplinas, que abarca desde la química con el fin de prever la toxicidad de una determinada estructura, hasta la biofísica y bioquímica que resultan fundamentales para comprender un mecanismo tóxico, incluyendo la contribución de la citología de la genética para llegar a los aspectos más complejos de la patología, como puede ser la cancerogenicidad.

En consecuencia, cada una de las sustancias supuestamente tóxicas con posibilidad de estar presentes en los alimentos que se consumen pueden recibir la calificación correspondiente a alguna de las tres categorías toxicológicas al uso, de

Tabla 25.2

Relación de las principales sustancias tóxicas que pueden estar presentes en los alimentos comercializados

Sustancias tóxicas naturales

- Antinutritivas: inhibidores enzimáticos, complejantes de minerales, antivitaminas.
- De actividad polivalente: taninos.
- Cancerígenas: hidrazinas, safrol.
- Favismo: glucósidos de las habas.
- Latirismo: aminoácidos atípicos de la almorta.

Sustancias formadas en la tecnología de los alimentos

- Nitrosaminas; hidrocarburos aromáticos policíclicos; aminas heterocíclicas.

Sustancias contaminantes abióticos

- Pesticidas; dioxinas; policloruros y polibromuros de bifenilos; residuos de medicamentos veterinarios (antibióticos, anabolizantes); metales; materias plásticas de envases.
-

acuerdo con su nivel en el alimento y su actividad tóxica comprobada: inactivos o inertes; activos, pero no tóxicos; tóxicos.

Para comprender el concepto de salubridad de un alimento y el papel desempeñado por la toxicología en su evaluación hay que saber distinguir de modo claro entre lo que son ensayos de toxicidad y ensayos de salubridad. Para establecer la toxicidad de una sustancia hay que someter a los animales ensayados a unas condiciones de exposición bastante severas, con el fin de poner de manifiesto las relaciones dosis-respuesta. Esto implica que las dosis aplicadas son muy superiores a las que el ser humano suele recibir de esas sustancias a lo largo de toda su vida. Por consiguiente, estos niveles de dosis carecen de interés en relación con la evaluación de la salubridad, aunque sean necesarias para los objetivos toxicológicos.

Esto significa que es posible plantear ensayos capaces de valorar la insalubridad de un alimento, aunque sus resultados, por las dosis reducidas empleadas, no sean útiles para sacar conclusiones acerca de su toxicidad. Igualmente, cabe decir de los ensayos planteados con vista a unos estudios toxicológicos, no son válidos para opinar acerca de su condición saludable, a no ser que sean del mismo orden que los niveles de exposición en el ser humano, cuando son perfectamente conocidos.

De acuerdo con su origen, los posibles agentes tóxicos presentes en un alimento se suelen reunir en cuatro grupos:

1. Naturales.
2. Contaminantes químicos y biológicos.
3. Aditivos.
4. Sustancias derivadas.

Las sustancias tóxicas de origen natural, presentes en un alimento, responden a productos que resultan de los procesos metabólicos de animales o de plantas, de los que derivan el alimento. Algunas de ellas manifiestan tan fuerte toxicidad que, bajo ciertas condiciones, dan lugar a síntomas bastante severos, si no fatales. Por lo general, aquellos productos alimenticios que originan efectos adversos inmediatos

se conocen y se evitan, a no ser que los agentes responsables puedan ser eliminados con cierta facilidad. Por desgracia, existen casos en los que resulta difícil tanto reconocer la presencia del agente tóxico como establecer la relación de causa a efecto.

En la naturaleza, las fuentes alimenticias presentan una estrecha relación con su medio ambiente, que fácilmente puede contaminarles con los más diversos tipos de sustancias, a partir del aire, suelo, agua, otros animales o plantas, a los que se unen el mismo ser humano. Muchas de las sustancias químicas presentes en las plantas han sido absorbidas por ellas a partir del suelo, así como los animales terrestres y marinos las toman del agua de ríos o de mares; también los procesos de recolección y cosecha representan una buena fuente de contaminaciones; igualmente, carnes, leches y huevos pueden contaminarse, porque los animales de los que proceden han sido alimentados con piensos contaminados.

No se puede omitir la incidencia de las actuales técnicas aplicadas para mejorar los rendimientos de las explotaciones agrícolas, que implican el uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas, fungicidas, estimulantes del crecimiento, antibióticos, etc., capaces de aparecer después en los alimentos como contaminantes. Asimismo, caben señalar todas aquellas sustancias aportadas por los envases con materiales plásticos y metálicos, sin olvidar algunos compuestos cuya presencia en los alimentos tienen la consideración de aditivos o de coadyuvantes tecnológicos. También en el grupo de sustancias químicas contaminantes con carácter tóxico hay que hacer mención de los metabolitos producidos por algunas especies de microorganismos que se desarrollan en los alimentos, como clostridios, estafilococos y ciertos mohos.

El empleo de aditivos químicos para la elaboración de alimentos sin respetar las estrictas normas establecidas por la legislación alimentaria, también representa una fuente de posibles sustancias con carácter tóxico. Incluso la evidencia tóxica de algunos aditivos permitidos da lugar a una revisión de las listas positivas.

Finalmente, hay que hacer referencia a los productos que derivan de la capacidad de reacción entre las diversas estructuras químicas que integran la composición de muchos alimentos. La mayoría de las veces, tales reacciones son favorecidas por los tratamientos térmicos involucrados en la producción industrial de alimentos, o incluso en la tecnología culinaria de los platos cocinados.

Aspectos higiénicos de la seguridad

Como disciplina, la Higiene de los Alimentos constituye una parte de la Microbiología que se ocupa de los efectos adversos de los microorganismos y de la forma de evitarlos. Representa una materia con un radio de acción bastante amplio, puesto que sus objetivos alcanzan al control de los métodos de producción, preparación y comercialización de los alimentos. Es decir, de una parte intenta establecer las adecuadas manipulaciones que han de recibir las materias primas y los utensilios usados en el ámbito de la alimentación, y de otra atiende al cuidado y al tratamiento de los alimentos producidos.

En la práctica, existe una correlación muy estrecha entre la higiene y la conta-

minación biótica de los alimentos, debido a que se incorporan organismos vivos que pueden llegar a ser peligrosos para la salud:

— Eubacterias patógenas, tanto gram-positivos como gram-negativos, que pertenecen a un número restringido de familias. La Tabla 25.3 recoge la posición sistemática de tales bacterias, mientras que en la Tabla 25.4 se expresan los caracteres microbianos de las más comunes en los alimentos.

— Algunos virus también constituyen un riesgo potencial para el consumidor al poder ser transmitidos a través de los alimentos. En cambio, a diferencia de las bacterias no se pueden multiplicar en el alimento (Tabla 25.5). Entre ellos, caben distinguir dos grupos diferentes: los bacteriófagos, o virus específicos de bacterias, y los virus específicos de las células animales, que tienen carácter infeccioso. Ingeridos con la alimentación, los primeros afectan a la población microbiana intestinal y dan origen a problemas de gravedad muy variable, desde leves hasta graves. En estos casos, la contaminación de un alimento por virus será tanto más intensa cuanto más elevado sea el número de bacterias hospedadoras presentes en el mismo. También los virus animales pueden estar presentes en algunos alimentos, sobre todo en aquellos de origen animal. Tanto unos como otros se transmiten por vía fecal-oral.

Puede afirmarse que, en los últimos años, se observa un incremento de las enfermedades provocadas por virus y transmitidas por las aguas de bebida, frente a

Tabla 25.3

Posición sistemática de las principales bacterias patógenas comunes en los alimentos

A) Bacilos gram-negativos no esporulados

Enterobacteriaceae

- *Salmonella*
- *Shigella*
- *Yersinia*
- *Escherichia*

Vibrionaceae

- *Vibrio*
- *Campylobacter*

B) Bacilos gram-positivos no esporulados

Próximo a las ***Lactobacillaceae***

- *Listeria*

C) Bacilos gram-positivos esporulados

Bacillaceae

- *Bacillus*
- *Clostridium*

D) Cocos gram-positivos no esporulados

Micrococcaceae

- *Staphylococcus*
-

Tabla 25.4
Principales bacterias patógenas implicadas en la contaminación de los alimentos

Microorganismo	Características microbiológicas
<i>Badilas céreas</i>	Bacilo de la familia <i>Bacillaceae</i> , anaerobio facultativo, formador de esporas resistentes al tratamiento térmico.
<i>Campylobacter jejuni</i>	Bacilo de la familia <i>Vibionaceae</i> , pequeño, delgado y móvil, microaerófilo, no esporulado.
<i>Clostridium botulinum</i>	Bacilo de la familia <i>Bacillaceae</i> , formador de esporas termorresistentes, anaerobio estricto.
<i>Clostridium perfringens</i>	Bacilo de la familia <i>Bacillaceae</i> , bastante grueso y recto, esporulado, anaerobio estricto, completamente inmóvil.
<i>Escherichia coli</i>	Bacilo de la familia <i>Enterobacteriaceae</i> , anaerobio facultativo, no esporulado.
<i>histeria monocytogenes</i>	Bacilo de afiliación incierta, aunque próximo a la familia <i>Lactobacillaceae</i> , anaerobio facultativo.
<i>Salmonella</i> spp.	Bacilos de la familia <i>Enterobacteriaceae</i> , pequeño, anaerobio facultativo, no esporulado.
<i>Shigella</i> spp.	Bacilos de la familia <i>Enterobacteriaceae</i> , inmóvil, no esporulado, anaerobio facultativo.
<i>Staphylococcus áureas</i>	Coco de la familia <i>Micrococcaceae</i> , anaerobio facultativo, no esporulado, inmóvil.
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Bacilo de la familia <i>Vibrionaceae</i> , no esporulado, anaerobio facultativo.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Bacilo, o cocobacilo, de la familia <i>Enterobacteriaceae</i> , anaerobio facultativo, psicotrofo.

la espectacular caída de otras infecciones con un origen bacteriano. Por lo general, se trata de gastroenteritis o diarreas relacionadas con el reconocimiento de virus en los enfermos afectados. En muchos casos, son brotes de gastroenteritis infantiles, pero no faltan los correspondientes a personas adultas. En dichos enfermos se han aislado y reconocido enterovirus, astrovirus, coronavirus, calicivirus, adenovirus y reovirus.

— En los alimentos, sobre todo de origen animal, y de modo particular en aquellos que han recibido un cocinado poco adecuado o insuficiente, también se pueden encontrar algunos parásitos, que pueden dar lugar a una infestación parasitaria en el ser humano. En general, pueden estar presentes en los alimentos como fase obligada de su ciclo biológico, bien en sus formas adultas, bien en sus formas larvadas.

La Comisión de Expertos en Zoonosis de la OMS/FAO ha hecho una clasificación de los principales parásitos transmitidos por los alimentos. Corresponden, de una parte, a protozoos y, de otra, a metazoos, que incluyen los vermes planos (tremátodos y cestodos) y vermes redondos (nematodos), cuyos representantes más importantes se indican en la Tabla 25.6.

Como tampoco se multiplican en los alimentos, no son capaces de crecer en un medio de cultivo y, por tanto, su presencia ha de ser detectada mediante la aplica-

Tabla 25.5
Principales tipos de virus transmitidos por los alimentos

Familia *PICORNAVIRIDAE*

- Género *Enterovirus*:
 - Poliovirus.
 - Coxsackievirus.
 - Echovirus.
- Género *Hepatovirus*:
 - Hepatovirus A (VHA).
 - Hepatovirus E (VHE).

Familia *CALICIVIRIDAE*

- Género *Calicivirus*:
 - Gastroenteritis.

Familia *REOVIRIDAE*

- Género *Rotavirus*,
 - Gastroenteritis compleja.
-

ción de procedimientos directos. Sin embargo, su tamaño permite que puedan ser detectados con técnicas de concentración y de tinción apropiadas. Desde el punto de vista epidemiológico cabe destacar el predominio de brotes de giardiasis provocadas por las aguas de bebidas por delante de las gastroenteritis de virus y de *campylobacter*. Esta circunstancia se explica por la gran resistencia de los quistes de *Giardia* frente a los agentes de cloración aplicados en los suministros municipales de aguas potables.

Todos estos agentes bióticos, que a través de la ingestión de alimentos pueden ser causa de problemas sanitarios, tienen un carácter exógeno: llegan al alimento por la contaminación ocasionada en algún punto de la cadena alimentaria: producción, almacenamiento, distribución, comercialización, cocinado.

La mayoría de la veces, se trata de microorganismos *saprophytes* alterantes que modifican la composición química del alimento; sin embargo, resultan inocuos desde el punto de vista higiénico, aunque algunas veces den lugar a la formación de aminas tóxicas, porque en estos casos desarrollan tan mal olor que les hace rechazable e impide su ingestión. En cambio, no faltan las situaciones en las que el alimento se contamina de agentes *patógenos*, con mayor o menor gravedad.

En este sentido, cualquier alimento ingerido puede representar un riesgo para la salud y provocar enfermedades en el organismo que lo consuma. En consecuencia, aparecen unos efectos nocivos que pueden responder a etiologías diferentes, porque los alimentos pueden ser vehículos de virus, de parásitos o de bacterias patógenas, o al menos de los metabolitos que algunas producen durante su desarrollo.

a) *Infecciones*, que se desarrollan en el organismo consumidor cuando las bacterias patógenas o los virus alcanzan un cierto nivel al encontrar cierta facilidad para multiplicarse.

b) *Intoxicaciones*, debidas a la actividad tóxica de algunos de los metabolitos.

Tabla 25.6
Parásitos animales vehiculados por alimentos

A) Protozoos

- *Entamoeba histolytica*. Anaerobio aerotolerante.
- *Giardia lamblia*. Flagelado que forma quistes.
- *Toxoplasma gondii*. Parásito intracelular estricto del grupo *Coccidio*. Su principal hospedador antes de llegar al ser humano es el gato.

B) Metazoos

a) Vermes planos:

- *Clonorchis sinensis*. Trematodo que afecta al ser humano en el que se instala en el conducto biliar.
- *Taenia saginata* y *solium*. Cestodos hospedados en bóvidos y cerdos respectivamente. Su fase adulta tiene en el ser humano su hospedador definitivo. El ser humano se afecta por la fase larvaria de la tenia *Cysticercus cellulosae*.

b) Vermes redondos:

- *Trichinella spiralis*. Nematodo que requiere dos organismos como hospedadores: el cerdo y el ser humano. En sus tejidos forma quistes.

c) *Infestaciones*, cuando son parásitos animales aportados por los alimentos los que se desarrollan en el interior del organismo.

La importancia principal de las enfermedades transmitidas por los alimentos dentro del ámbito de la salud pública radica en la gran diversidad e incidencia de las mismas. Unas veces, pueden tener relevancia por su extremada gravedad (botulismo), mientras que otras preocupan por su elevada incidencia (salmonelosis).

Pero además de los gérmenes patógenos, algunos microorganismos simplemente alterantes pueden provocar trastornos de naturaleza inespecífica, por diversas causas fisiopatológicas. La opinión más admitida explica estos procesos patológicos como una consecuencia de las degradaciones producidas en las proteínas del alimento, que por la descarboxilación de ciertos aminoácidos se forman estructuras típicas de aminas biógenas: feniletilamina, indoetilamina, tiramina, putrescina, cadaverina, dimetilamina, colamina, pirrolina, etc. Estos compuestos pueden provocar trastornos vasomotores y por encima de ciertos niveles desarrollan toda una sintomatología alergizante, como dolor de cabeza, mareos, náuseas, etc.

A través de estudios estadísticos, se ha puesto de manifiesto que la principal causa de todas estas situaciones se debe a la existencia de una *falta de higiene*, que se puede concretar en la existencia de ciertos *errores y factores*.

En el ámbito de los *errores*, pueden señalarse cuatro como los más frecuentes que pueden desembocar en la incidencia de enfermedades transmitidas por los alimentos:

1. Preparación de alimentos con demasiada antelación a su consumo. Ello implica una espera que cuando tiene lugar a una temperatura inadecuada permite la proliferación microbiana.

2. Cocinado con un tratamiento térmico poco apropiado, al resultar insuficiente para destruir, o al menos reducir, la carga microbiana.

3. Uso de instalaciones, equipos y utillajes mal diseñados, que permiten la posibilidad de que se produzcan contaminaciones cruzadas.

4. Fallos de higiene en los manipuladores de los alimentos, que pueden ser personas portadoras, o «colonizadas», por un agente patógeno.

Entre los *factores* responsables de la incidencia de enfermedades transmitidas por los alimentos, o que al menos controlan o regulan su posibilidad, caben destacar los ocho siguientes:

1. La contaminación del alimento, que ha podido tener lugar por una manipulación incorrecta del alimento, aunque tampoco hay que descartar la suciedad del medio, las aguas residuales, los insectos, e incluso algún fallo tecnológico.

2. La cantidad de microorganismo que ha invadido el alimento, aunque para este factor existen valores umbrales por debajo de los cuales no se suele desarrollar la infección (Tabla 25.7).

3. La temperatura a la que se almacena, o se conserva, el alimento hasta su consumo. Es un factor que resulta clave, porque la multiplicación de cada tipo de microorganismo suele ser función de la temperatura del medio (Tabla 25.8). Así, el proceso de refrigeración impide que se desarrolle la mayoría de los microorganismos; las cocciones habituales los destruyen; las cocciones bajas y lentas permiten el desarrollo de algunos; la esterilización destruye las esporas; etc.

4. El tiempo también es determinante de los niveles que puede alcanzar el desarrollo de la población microbiana contenida en un alimento.

5. El pH marca la acidez del medio, que facilita o impide la multiplicación de los microorganismos.

6. La actividad de agua, que significa la disponibilidad del agua existente en el alimento, determina si un microorganismo puede multiplicarse.

7. La concentración de sales, pues la presión osmótica del medio puede impedir el desarrollo de aquellos microorganismos que suelen ser patógenos para el ser humano.

8. El tratamiento tecnológico recibido por el alimento, de modo particular el orientado hacia su conservación: salazón, ahumado, pasteurización, adición de agentes conservantes, etc.

Tabla 25.7

Niveles umbrales necesarios para el desarrollo de infecciones por parte de algunas bacterias patógenas.

<i>Shigella</i> spp.	10^3 - 10^4 ufc/g
<i>Salmonella</i> spp.	10^5 - 10^6 ufc/g
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10^5 - 10^6 ufc/g
<i>Clostridium perfringens</i>	10^6 ufc/g
<i>Staphylococcus</i> spp.	10^6 - 10^9 ufc/g
<i>Bacillus cereus</i>	10^7 - 10^9 ufc/g

Tabla 25.8
Relación entre las temperaturas (°C) del medio y el desarrollo de bacterias patógenas en el alimento

120	Dstrucción de esporas de <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium perfringens</i> y <i>Bacillus cereus</i> .
60-80	Dstrucción de bacterias termolábiles: <i>Salmonellas</i> , <i>Shigellas</i> , <i>Staphylococcus</i> y <i>Vibrio</i> .
40-50	Óptimo desarrollo de <i>Salmonellas</i> , <i>C. perfringens</i> y <i>Bacillus cereus</i> .
30-40	Óptimo desarrollo de <i>Bacillus cereus</i> y <i>Staphylococcus</i> .
20-30	Óptimo desarrollo de <i>Yersinia enterocolítica</i> .
10-20	Posible desarrollo de <i>Staphylococcus</i> , <i>B. cereus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>C. perfringens</i> y <i>Y. enterocolítica</i> .
4-10	Posible desarrollo de <i>Y. enterocolitica</i> y <i>Vibrio parahaemolyticus</i> .
4	Posible desarrollo de <i>Listeria monocytogenes</i> .

La calidad higiénica de los alimentos viene a ser una función de la naturaleza y número de los agentes bióticos que le contaminan. Para su evaluación se puede acudir a dos criterios diferentes: el análisis de los metabolitos producidos por tales agentes y que toman parte de la composición de los alimentos, o la detección de la naturaleza de los microorganismos presentes.

La determinación cualitativa de los productos metabólicos (Tabla 25.9), resultantes de las actividades bioquímicas de algunos microorganismos presentes en el alimento puede ser usada tanto para evaluar como para predecir la calidad higiénica del mismo.

No obstante, lo más frecuente es llevar a cabo la evaluación sanitaria de un alimento mediante análisis microbiológicos. En este sentido, algunos microorganismos exógenos pueden tener una gran significación sanitaria, aunque no sean patógenos, porque su presencia puede ser tomada como una señal *marcadora* de la calidad higiénica del alimento analizado. Para estos efectos caben distinguir dos grupos de microorganismos marcadores:

- a) *Índices*. Microorganismos cuya presencia en un alimento indica la posible presencia simultánea de cualquier patógeno ecológicamente relacionado.
- b) *Indicadores*. Microorganismos cuya presencia en un alimento pone de manifiesto, desde un punto de vista general, que existe algún defecto en su calidad higiénica.

La finalidad del uso de *marcadores* es comprobar la eficacia de los tratamientos tecnológicos destinados a conseguir la inocuidad de los productos alimenticios. En la práctica, el análisis de microorganismos indicadores puede hacerse para tatar la posible duración de la vida útil de un alimento, pero con mayor frecuencia se emplea para evaluar la inocuidad y salubridad, relacionadas con su calidad sanitaria. En este caso, los microorganismos escogidos como *indicadores* deben cumplir con algunos requisitos importantes:

— Ser detectables con rapidez y facilidad.

Tabla 25.9

Relación de metabolitos útiles para informar acerca de la calidad sanitaria de un alimento

Alimentos de origen animal

— Carne envasada a vacío	Cadaverina y putrescina.
— Pescados	Trimetil amina, base volátiles, nitrógeno volátil total.
— Conservas de atún	Histamina.
— Nata y mantequilla	Ácidos grasos volátiles.

Alimentos de origen vegetal

— Conservas de hortalizas	Ácido láctico.
— Zumos de frutas concentrados	Etanol.

- Ser fácilmente diferenciables de otros contenidos en los alimentos.
- Ser conocida su relación con los patógenos cuya presencia se indica.
- Estar siempre presente cuando también lo esté el patógeno.
- Presentar unas necesidades de crecimiento y desarrollo iguales a las del patógeno.
- Presentar una mortalidad que al menos sea paralela a la del patógeno, así como superarle en su persistencia.
- No estar presente en los alimentos exentos del patógeno.

Todos estos criterios se aplican a la mayoría de los alimentos capaces de vehicular bacterias patógenas de origen alimentario, con independencia de donde puedan proceder. En un principio, se supuso que los patógenos de interés tenían una procedencia intestinal y llegaban al alimento mediante una contaminación fecal, directa o indirecta. Por ello, se han usado como indicadores de contaminación fecal algunas especies de la familia *Enterobacteriaceae*, aunque el más indicativo de todas es el *Escherichia coli*. Fue el primero en ser usado y continúa siendo deseable determinar su incidencia en una población de coliformes.

Aunque el índice de coliformes ha sido aplicado a los alimentos durante muchos años, algunos de ellos presentan limitaciones para su aplicación. Sin embargo, a pesar de estas restricciones para algunos alimentos, estos microorganismos mantienen su valor acreditado como indicadores de la inocuidad. Por ello, se han desarrollado métodos de valoración cada vez más rápidos y exactos, que tienen su principal aplicación dentro de los sistemas ARICPC para el control de la producción de los alimentos.

Algunas investigaciones han puesto de manifiesto que dos especies de *Enterococcus*, los *E. faecalis* y *faecium* (conocidos anteriormente como estreptococos del grupo D de Lancefield y hoy día denominados «enterococos clásicos»), son más apropiados que los coliformes como indicadores de la calidad higiénica de los alimentos, de modo particular en lo que hace referencia a los alimentos congelados.

Clasificación de los riesgos que afectan a la seguridad de los alimentos

En principio, cualquier alimento podría ser considerado como inseguro, es decir, no saludable, porque en términos absolutos siempre existe el riesgo de que algunos de sus compuestos químicos pueda ser nocivo para algún sector de la población.

Para llevar a cabo un estudio acerca de los distintos tipos de riesgos asociados con la ingesta de los alimentos contra la seguridad, puede partirse de diversos enfoques, de acuerdo con los diferentes planteamientos que se adopten para valorar tales peligros.

En muchos de estos estudios se suelen aplicar tres criterios de evaluación de riesgos, que han resultado de gran utilidad, a pesar de los grados de dificultad presentados por su cuantificación (apreciación directa, estudios con animales, estudios epidemiológicos):

- a) La *gravedad*, que indica el tipo de efecto ocasionado, variable desde un leve malestar transitorio, hasta efectos muy graves, unas veces reversibles y otras irreversibles, que pueden ocasionar la muerte.
- b) La *incidencia*, que se refiere al número de casos vinculados a un efecto determinado, o a un porcentaje de los mismos.
- c) El *periodo de incubación*, que indica el tiempo transcurrido desde la exposición a un peligro hasta la aparición del efecto. Varía desde tener la consideración de «efectos inmediatos», hasta la calificación de «efectos a largo plazo».

La aplicación de estos tres criterios ha permitido conocer la incidencia de los distintos riesgos sobre la seguridad de los alimentos. De acuerdo con ellos, se ha podido comprobar que, con mucho, la principal fuente de peligro para la salud del consumidor corresponde a la contaminación biótica, seguido de los desequilibrios nutricionales. Unas mil veces menor se puede considerar el riesgo de la contaminación ambiental, quedando reducida a una centésima parte de la anterior los problemas planteados por la presencia de pesticidas y aditivos alimentarios. En resumen, los peligros contra la seguridad de los alimentos se pueden agrupar en cinco clases, que se pueden enumerar de mayor a menor según la magnitud del riesgo que representan:

1. Enfermedades de origen biótico transmitidas por los alimentos

Como está bien demostrado, existen diversos agentes patógenos y toxigénicos que se transmiten al ser humano a través de la ingestión de alimentos. Unos, son parásitos que provocan infestaciones, otros son microorganismos con actuaciones nocivas diversas: pueden provocar enfermedades infecciosas al multiplicarse dentro del organismo (*Salmonellas*); esporulan en el tracto digestivo, cuando son ingeridos por encima de cierto nivel, y liberar toxinas (*C. perfringens*); producen sus toxinas cuando se desarrollan sobre el propio alimento, dando lugar a intoxicaciones cuando el alimento es ingerido (*S. aureus* y *C. botulinum*).

La importancia de sus efectos nocivos oscila desde un simple malestar transitorio, de rápida recuperación, hasta efectos agudos que pueden ser mortales. El ori-

gen de estos tipos de contaminaciones puede ser muy diferente: explotaciones agropecuarias, procesos industriales, preparación culinaria en el hogar o en empresas de restauración colectiva, etc. De todas ellas, las menos frecuentes suelen ocurrir a nivel de industria alimentaria debido al riguroso control que suelen aplicar.

2. Trastornos nutricionales

Hoy día se describen trastornos patológicos en relación con el equilibrio nutricional que proporcionan las dietas que integran los hábitos alimentarios de la población. En este sentido, se conocen enfermedades carenciales debidas a la ausencia, o escasez, de algún nutriente esencial (escorbuto, pelagra, raquitismo, bocio, etc.) o, por el contrario, provocada por una ingestión excesiva de ciertos nutrientes (enfermedades cardiovasculares) o de energía (obesidad). También puede tratarse de enfermedades asociadas a situaciones crónicas de malnutrición, como ocurre con los casos de un incremento de la susceptibilidad hacia los trastornos patológicos vinculados a la ingestión de ciertos agentes químicos o biológicos transmitidos por los alimentos. Generalmente, son efectos nocivos muy difíciles de cuantificar porque se presentan dentro de un largo plazo.

3. Contaminantes ambientales

No faltan las ocasiones en las que los trastornos patológicos vinculados a la ingestión de alimentos sean debidos a los agentes de origen abiótico, que contaminan algunos alimentos. Las posibilidades pueden ser muy diversas: elementos traza y compuestos organometálicos (As, Hg, Cd, Sn, Pb) o ciertos tipos de sustancias orgánicas (difenilos policlorados, pesticidas halogenados, dioxinas, etc.).

Suelen ser estructuras químicas muy estables, que persisten en el ambiente, y se acumulan en la cadena alimentaria. A veces, pueden experimentar un proceso de biotransformación que le incrementa su toxicidad. Aunque sus efectos pueden aparecer de forma aguda, lo normal es que se manifiesten a largo plazo. Para reducir el riesgo a esta exposición, las disposiciones legales han fijado los niveles permitidos de tales sustancias, apoyadas en los datos aportados por los estudios epidemiológicos o experimentales.

4. Sustancias tóxicas naturales

Algunos alimentos, sobre todo de origen vegetal, pueden contener entre sus componentes químicos naturales estructuras con una manifiesta actividad tóxica cuando penetran en el organismo vivo. Tal es el caso de oxalatos en las espinacas, solanina en las patatas, glucósidos cianogénicos en almendras inmaduras, toxinas en algunas setas, sustancias paralizantes en ciertos moluscos, etc. Su incidencia suele ser escasa debido al conocimiento que ya se tiene de ellas y los casos descritos responden a situaciones provocadas por la ignorancia, el error o el mero accidente.

5. Aditivos alimentarios

Representan sustancias que, añadidas de modo intencionado a los alimentos, ofrecen una menor incidencia dentro de los riesgos vinculados a la alimentación. La razón de este hecho radica sencillamente en la exigente legislación alimentaria de los países occidentales, cuya aplicación impide el uso de aditivos de sustancias no incluidas en las Listas Positivas, donde sólo se admiten aquellas que, hasta el momento, tienen demostrada una inocuidad a los niveles permitidos para su empleo.

Enfermedades de origen biótico transmitidas por los alimentos

- Introducción.
- Enfermedades provocadas por bacilos gram-negativo no esporulados.
- Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivo no esporulados.
- Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivo esporulados.
- Enfermedades provocadas por cocos gram-positivo no esporulados.
- Micotoxicosis.
- Parasitosis.
- Virosis.
- Encefalopatías espongiiformes.

Introducción

Se han descrito diversas enfermedades que tienen su origen en la ingestión de alimentos contaminados por agentes bióticos. La mayoría de las veces, la aparición histórica de los brotes correspondientes a este tipo de enfermedades ha sido debida a fallos que ocurren en el cumplimiento de las normas de higiene. Aunque en la actualidad la higiene alimentaria es objeto de una estrecha vigilancia y de una gran atención, sin embargo en la sociedad occidental todavía persiste una serie de factores, que pueden ser considerados responsables de problemas sanitarios, con una etiología de origen alimentario debida a las contaminaciones de los alimentos por bacterias patógenas, virus y parásitos.

Los nuevos modos de vida de la sociedad moderna han exigido un incremento de las empresas dedicadas a la producción industrial de alimentos, tanto semielaborados como cocinados, que culminan con el desarrollo de las destinadas al servicio de la restauración colectiva. Bajo tales circunstancias, cualquier fallo higiénico surgido en algún punto de la cadena alimentaria repercute en el número de personas que pueden verse afectadas por un error sanitario.

Normalmente, los ambientes relacionados con aguas, suelos o aire, contienen cantidades variables de bacterias, virus y parásitos, con la posibilidad de contaminar en cualquier momento tanto las materias primas alimenticias como los productos que se elaboran a partir de ellas. Por lo general, las propiedades fisicoquímicas de un alimento resultan ser las determinantes de la identidad de los agentes bióticos que les llega a través de algún tipo de contaminación, así como de su persistencia. La posterior ingestión del alimento contaminado puede ocasionar secuelas más o menos importantes, desde un punto de vista epidemiológico: unas veces por su elevada incidencia, otras por la gravedad de los síntomas que produce.

Con relación a las bacterias patógenas, las enfermedades de transmisión alimentaria aparecen cuando se dan de modo sucesivo los tres factores siguientes:

- Presencia de bacterias patógenas en los alimentos elaborados.
- Conservación de los productos elaborados bajo aquellas condiciones capaces de permitir la multiplicación de las bacterias.
- Consumo del alimento sin haber recibido un tratamiento térmico suficiente para que se reduzca la población microbiana o, en su caso, se destruya el tóxico producido.

Entre los posibles tipos de bacterias implicadas en estos problemas sanitarios se incluyen tres géneros patógenos de la familia *Enterobacteriaceae* (*Salmonellas*, *Shigellas* y *Yersinias*) y dos de la familia *Vibrionaceae* (*Vibrio* y *Campylobacter*) que dan lugar a procesos patológicos infecciosos cuando son ingeridos con el alimento, donde se encuentran de un modo casual. Junto a ellos, hay que citar algunos géneros de la familia *Bacillaceae* (*Clostridium* y *Bacillus*) que, cuando se multiplican en el propio alimento, producen toxinas capaces de provocar la intoxicación correspondiente, una vez ingeridas con el mismo. Entre los virus que pueden ser transmitidos por los alimentos, caben destacar los que dan lugar a gastroenteritis y al hepatovirus A, causante de la hepatitis infecciosa. En cuanto a los parásitos vinculados a los alimentos, que tienen una mayor incidencia, hay que mencionar las triquinas y las tenias, con sus cisticercos.

Dentro de esta línea y en el ámbito de la seguridad alimentaria, desempeña un papel de cierta relevancia la calidad microbiológica de las aguas por el riesgo de contaminar alimentos, debido a su carácter de producto de uso común: consumo directo, preparación de las comidas intervención en las diferentes operaciones vinculadas a la dinámica propia de una industria alimentaria (vehículo de unión de ingredientes, lavado y limpieza de las maquinarias, etc.). Cuando esas aguas no se someten a unos tratamientos sanitarios adecuados pueden ser portadoras de diversos agentes bióticos, procedentes de los residuos fecales contaminados por personas enfermas o por simples portadores.

La frecuencia con la que la tierra interacciona con el agua, posibilita que en ella se puedan encontrar sus mismos agentes bióticos y exista, por tanto, una cierta probabilidad para contaminar los productos alimenticios de origen vegetal. En estos casos, los insectos pueden igualmente actuar de vehículos que lleven tales agentes desde el suelo hasta las plantas. Asimismo, tanto el aire como el polvo pueden contener un elevado número de dichos organismos.

Los estudios epidemiológicos y las encuestas sobre salud pública han puesto de manifiesto cómo la cocina hogareña y los establecimientos de restauración colectiva son los lugares donde los alimentos pueden recibir un manejo más inadecuado

y, por tanto, se hacen acreedores de un mayor riesgo para transmitir este tipo de enfermedades. En cambio, las industrias de procesamiento de alimentos suelen disponer de un control sanitario tan riguroso, que no es frecuente se produzcan unas manipulaciones incorrectas.

De los datos obtenidos acerca de la incidencia de estas enfermedades alimentarias se deduce que, entre los diversos factores responsables de estos brotes, hay que destacar cuatro como especialmente relevantes:

- a) Almacenado de los alimentos a temperaturas inadecuadas.
- b) Cocinado poco apropiado.
- c) Empleo de equipos contaminados.
- d) Escasa higiene en los manipuladores de alimentos.

Enfermedades provocadas por bacilos gram-negativos no esporulados

Entre las enfermedades transmitidas por alimentos como consecuencia de una contaminación de origen biótico destacan las infecciones producidas por bacilos gram-negativos no esporulados. Todas ellas responden a una sintomatología propia de gastroenteritis y por la frecuencia de los brotes registrados se pueden señalar seis como las principales:

- Salmonelosis, shigellosis, yersiniosis y la gastroenteritis coliforme, producidas por cuatro patógenos de la familia *Enterobacteriaceae*.
- Vibriosis y campylobacteriosis, ocasionadas por dos géneros de la familia *Vibrionaceae*.

Salmonelosis

Se trata de una enfermedad de transmisión alimentaria producida por bacilos que pertenecen al género *Salmonella*, por lo general móviles gracias a flagelos peritricos, aunque pueden existir cepas que son inmóviles. Según se considera en la actualidad, este género está constituido por una sola especie en la que sus variedades se diferencian en los serotipos, cuya estructura antigénica constituye el carnet de identidad de cada una de las cepas. La lista actual de tales serotipos supera los 1.700, pero solamente algo más de 150 resultan peligrosos desde un punto de vista sanitario.

Las *salmonellas* no forman parte del grupo de bacterias toxigénicas, sino más bien de las consideradas entero-invasoras. Con frecuencia albergan plásmidos, codificados para resistir a los antibióticos; de modo particular en aquellas cepas de origen animal que pueden transmitirse al ser humano.

En estos microorganismos se han podido reconocer tres tipos de antígenos, cuyas características han permitido el desarrollo de un esquema para la identificación de los serotipos:

- Los K, antígenos capsulares termolábiles.
- Los O, antígenos somáticos termoestables, localizados en el interior de las células.
- Los H, termolábiles, localizados en los flagelos.

Desde un punto de vista epidemiológico, los serotipos del género *Salmonella* se han reunido en tres grupos:

1. Las serovariedades que afectan solamente a las personas (*S. typhi* y *S. paratyphi* A y C) y son responsables de las fiebres tifoideas y paratifoideas. Están consideradas como productoras de formas más graves de salmonelosis, cuyas principales características son: un largo periodo de incubación, provocar una temperatura corporal muy elevada y poseer un alto índice de mortalidad.
2. Las serovariedades adaptadas a hospedadores, algunas de las cuales pueden ser patógenas para el ser humano, al que llegan a través del alimento. Tal es el caso de la *S. gallinarum*.
3. Las serovariedades no adaptadas, que incluyen a la mayoría de las que se transmiten por los alimentos y resultan patógenas tanto para seres humanos como para animales. De hecho, el ser humano sólo representa un eslabón en la cadena contaminante, puesto que su reservorio fundamental se encuentra en los animales, tanto salvajes como domésticos, a partir de los cuales se difunden en el ambiente.

Casi siempre los alimentos implicados en los brotes de salmonelosis son de origen animal, aunque ocasionalmente los de origen vegetal también pueden servir de vectores. Las incidencias más numerosas se deben al consumo de productos cárnicos, carnes de aves, alimentos que llevan huevos, productos lácteos, mariscos crudos, etc. A ellos se unen los alimentos deshidratados de rápida reconstitución, los alimentos para animales de compañía, los platos preparados listos para su consumo, etc.

No obstante, en la actualidad suelen ser los ovoproductos los alimentos que más preocupan, por tomar parte en la elaboración de preparaciones que han sido relacionadas con numerosos brotes de esta enfermedad: salsas mayonesas, cremas, ensaladillas, tortillas de patatas, etc. Según se ha podido comprobar, las bacterias se encuentran sobre todo en las cáscaras de los huevos y en el agua de deshielo de las aves congeladas. Su peligro radica en la posibilidad de ser transmitidas al ser humano como consecuencia de un procesado inadecuado o de una manipulación poco higiénica.

Cuando las bacterias encuentran unas condiciones ambientales favorables experimentan una rápida multiplicación hasta niveles que alcanzan el umbral necesario para iniciar el proceso infeccioso una vez consumidas con el alimento. Este umbral varía en función de varios factores, dependientes tanto del hospedador como del mismo germen, que justifican la diversidad encontrada en el número de salmonelas necesarios para que tenga lugar el brote infeccioso: desde diez millones de células hasta una cifra tan pequeña como cien, cuando las condiciones les son muy propicias.

Por lo general, los brotes se deben a errores cometidos dentro de la cadena alimentaria, que convierte en real el riesgo potencial por el consumo de alimentos en los que se cumplen algunos de las causas siguientes:

- Han carecido del tratamiento térmico adecuado.
- No han sido enfriados con rapidez.
- Se han almacenado a temperaturas altas.

- Han recibido un recalentamiento incorrecto.
- Han sido objeto de una contaminación cruzada.
- Etcétera.

Se trata de un microorganismo capaz de crecer en medios, tanto aerobios como anaerobios, caso de encontrarse a temperaturas comprendidas entre 7 y 48 °C, aunque prefiera para su desarrollo óptimo temperaturas de 37 °C. Los niveles térmicos propios de una refrigeración permiten su supervivencia, pero la congelación del alimento provoca un considerable descenso de su población, aunque sin llegar a una destrucción completa. Sin duda, el frío altera su vitalidad, aunque no debe confiarse plenamente en sus efectos positivos, porque algunos serotipos pueden quedar en forma de vida latente y recuperar su actividad cuando el medio adquiera la ecología adecuada.

La zona de pH más favorable para su multiplicación se sitúa entre 6,5 y 7,5 siempre que en el alimento exista un cierto nivel de agua disponible, por lo general con una actividad de agua nunca inferior a 0,95; no obstante, también se pueden multiplicar a valores de pH más ácidos o alcalinos, entre 4,5 y 9,0. Sin embargo, la resistencia a la acidez varía en función del tipo de ácido presente: el ácido cítrico apenas les afecta, pero en medio acético con pH de 4,0 pueden ser destruidas en pocas horas. Es importante señalar que son resistentes al factor Perigó, por lo que resultan poco sensibles a la presencia de nitritos. Tampoco les perturba las variaciones del potencial redox, pero en cambio no son capaces de competir con las bacterias lácticas.

Al no producir esporos, las células vegetativas son poco resistentes a las condiciones adversas. Por lo general, pueden ser destruidas fácilmente por una pasteurización y suele bastar una media hora de tratamiento térmico a 60 °C para inactivarlas, temperatura que debe ser alcanzada por el centro de la masa del producto (carnes poco hechas, pollos asados, tortillas de patatas, pasteles de crema, etc.). Asimismo, cuando la temperatura se eleva hasta los 72 °C pueden bastar solamente 15 segundos para su destrucción, aunque la eficacia térmica va a depender del serotipo. Sin embargo, cuando se trata de alimentos deshidratados se necesitan tratamientos más intensos porque, bajo estas condiciones, las células adquieren una mayor fortaleza frente a los tratamientos térmicos.

Las salmonelosis constituyen un problema sanitario que se ha incrementado de modo considerable en los últimos años. Para conocer mejor el alcance y gravedad de sus incidencias resulta necesario tener en cuenta la distribución de los serotipos, porque en la práctica representan un factor epidemiológico esencial por su relación con las fuentes de contagio. Durante muchos años, cada país ha sido el reservorio de unos serotipos específicos, hasta el punto que la población desarrollaba un cierto dintel de inmunidad colectiva frente a sus actividades patógenas, que se reflejaba en una evolución de sus brotes hacia manifestaciones más benignas. Sin embargo, en los momentos actuales, no sólo ha crecido el número de serotipos identificados en cada país, sino que muchos de ellos responden a estirpes nuevas, que significa una mayor gravedad desde el punto de vista sanitario. Así, en nuestro país hemos pasado de estar afectados solamente por tres serotipos: *typhimurium*, *enteritidis* y *paratyphi B*, hasta un número bastante numeroso de ellos: *heidelberg*, *rhodesiense*, *newport*, *panamá*, *dublin*, *abony*, *derby*, *infantis*, *wien*, *arizona*, *branderburg*, *agona*, etc.

De acuerdo con las manifestaciones clínicas, se puede hablar de tres tipos importantes de salmonelosis:

- Las fiebres entéricas, cuyos ejemplos más clásicos son las fiebres tifoideas, con sus principales síntomas de fiebre alta y malestar, que duran de una a tres semanas.
- Las gastroenteritis, que presentan como síntomas dominantes náuseas, vómitos y dolores abdominales, acompañados de una diarrea fétida, por lo general, muy repentina.
- Las septicemias, que cursan con una fiebre alta remitente y tienen como característica la presencia de los microorganismos en la sangre.

La gravedad de estos procesos infecciosos varía con la cantidad de alimento ingerido, con el tipo de salmonela implicado y con la resistencia individual de cada persona, presentando mayores riesgos los niños pequeños, los enfermos y las personas de edad. Para su tratamiento es muy importante compensar las pérdidas de líquidos y proporcionar lactosa; la administración de antibióticos debe reservarse para casos excepcionales, puesto que no acortan el curso de la enfermedad y sin embargo puede favorecer que las bacterias desarrollen una resistencia a los mismos. La recuperación depende de lo adecuado del tratamiento aplicado y no es raro que pueda durar más de una semana.

Los ciclos de infección vinculados a la ingestión de alimentos portadores de salmonellas se encuentran condicionados por varios factores:

- Características biológicas y ecológicas del producto contaminado.
- Particularidades de los hospedadores receptivos.
- Fuentes de infección: portadores, reservorios, productos contaminantes.
- Circunstancias del medio ambiente.

Las salmonelosis humanas tienen su principal origen en el consumo de alimentos infectados, que han sido contaminados de modo directo por los animales de donde proceden, o bien por contacto con los portadores, o con sus excretas. Al no producir exotoxinas, la infección se desarrolla cuando los gérmenes permanecen vivos en el alimento y, una vez ingeridos, son capaces de multiplicarse de modo activo en el tracto intestinal.

Se multiplican cuando alcanzan el intestino delgado y se extienden hasta el íleon y, en menor cuantía, también llegan al colon, donde provocan una inflamación; en el transcurso del proceso, los folículos linfoides aumentan de tamaño, e incluso pueden llegar a ulcerarse, así como se inflaman los ganglios mesentéricos.

Según parece, en la patogenia de las salmonelosis puede intervenir, de una parte, una enterotoxina que afecta al sistema adenilato ciclasa e induce la acumulación de líquido y, de otra, una citotoxina que provoca lesiones en las células de la mucosa intestinal y facilita la invasión corporal. En estos casos, las bacterias superan las barreras mucosal y linfática, penetrando en el torrente circulatorio para dar lugar a una septicemia y a lesiones tisulares. Se ha sugerido que la fiebre que suele acompañar a las salmonelosis se deben a los efectos de unas endotoxinas y unos lipopolisacáridos presentes en la pared celular de las bacterias.

La ubicación entérica de las salmonelas supone un factor de importancia dentro de los ciclos de la infección: se multiplican de modo masivo en la mucosa intestinal e incluso llegan a inhibir el desarrollo de la población microbiana normal del

intestino. Esto significa que los excrementos de personas, o de animales, tanto enfermos como portadores, puedan contaminar con cierta probabilidad su entorno y cuando las condiciones les son favorables las bacterias puede resistir en el mismo hasta tres meses. Su diseminación hasta los hospedadores receptivos se encuentra facilitada por diversos tipos de agentes vehiculadores, unos bióticos y otros abióticos: aguas fecales, aire, roedores, invertebrados, animales de compañía, etc., y finalmente alimentos. El ciclo se cierra cuando se consumen los alimentos contaminados y las bacterias se instalan de nuevo en el tracto intestinal.

Un *portador* se define como una persona, o un animal, que de modo continuo elimina células de salmonelas con sus heces, sin que presenten signos, o síntomas, de la enfermedad. Desde el punto de vista epidemiológico se ha puesto de manifiesto que en la aparición de brotes de salmonelosis se encuentran implicados de un modo especial los denominados *manipuladores de alimentos*, es decir, «personas que de alguna forma toman contacto, de modo directo o indirecto, con los productos alimenticios que van a ser destinados para el consumo». En el caso de que el *manipulador* sea un *portador* y no observe las más elementales reglas de higiene, puede contaminar los alimentos que toca.

Algunos autores consideran que la frecuencia actual de los brotes de salmonelosis tiene como causa los siguientes factores:

- Incremento de producción de alimentos con una textura de masa, que favorece la diseminación de las bacterias.
- Almacenado bajo condiciones poco apropiadas, con una acumulación excesiva de producto durante un tiempo muy prolongado.
- Consumo de alimentos crudos, o con escaso tratamiento térmico.

La gran incidencia de estos brotes se puede evitar si se lleva a cabo una serie de medidas preventivas importantes:

- Eliminar la presencia de *salmonellas* en los animales de granja.
- Evitar el consumo de alimentos crudos.
- Cumplir con toda rigurosidad los principios establecidos para la higiene alimentaria, tanto en relación con los productos como con lo que pueda hacer referencia al personal:
 - Cadena de frío.
 - Temperatura de cocción adecuada.
 - Separación absoluta entre los productos crudos y los cocidos.
 - Higiene personal de los manipuladores.

Shigellosis

Se trata de un síndrome gastroentérico correspondiente a una infección bacilar aguda del intestino producida por bacterias del género *Shigellas*, que dentro de la familia *Enterobacteriaceae* están más próximas a las *Escherichias* que a las *Salmonellas*, desde un punto de vista filogenético. En la actualidad, sólo se admiten cuatro especies de este género: *flexnerii*, *boydii*, *sonnei* y *disenteriae*.

Son bacterias aerobias, o anaerobias facultativas, que presentan un crecimiento óptimo a los 37 °C de temperatura. Se diferencian de las *salmonellas* en dos aspectos

tos importantes: sus características bioquímicas fundamentales y en que sus únicos reservorios son el ser humano y los primates, sin que se les conozca otros portadores animales.

Como no cabe duda acerca de su acción infectiva a través de los alimentos, es lógico suponer la existencia de una contaminación exógena a partir de las heces de los portadores y de las aguas residuales, puesto que ha sido comprobado que el tracto gastrointestinal es la única vía de entrada en el ser humano. Cuando son ingeridas con los alimentos, las cuatro especies tienen capacidad para invadir la mucosa del colon, donde se multiplican y producen infiltrados y dan lugar a una inflamación aguda. Una vez en el interior de las vacuolas endocitas, necesitan de un plásmido para salir, plásmido que es responsable de la inhibición de la síntesis proteica en las células infectadas.

Se sabe que para provocar la infección intestinal basta con un nivel bajo de recuentos de células. Por ello, cabe esperar que las prácticas defectuosas de higiene personal en la manipulación de alimentos pueda representar un considerable peligro. Se le considera una de las enfermedades diarreicas más contagiosas y su transmisión tiene lugar principalmente de persona a persona, a través de manos, objetos, agua y, de modo particular, los alimentos que se han contaminado con aguas residuales, o con las heces de los portadores.

La más peligrosa de las cuatro especies, aunque con una incidencia alimentaria más bien escasa, es la *S. dysenteriae* por contener una enterotoxina citotóxica de gran actividad, que origina una típica lesión intestinal: la disentería bacilar clásica, que afecta sobre todo a las personas con particular sensibilidad hacia ella. Sin embargo, la más frecuente en relación con los alimentos es la *S. sonnei*.

Los alimentos implicados en su transmisión, que resultan particularmente peligrosos cuando se contaminan a través de la vía fecal, son la carne de pollo, los moluscos, los productos lácteos, las verduras, las patatas cocidas y, en general, alimentos que disponen de una actividad de agua elevada.

Su persistencia en el ambiente es reducida, pues las *Shigellas* pueden experimentar una rápida inactivación cuando la ecología no les resulta favorable. Precisamente esta circunstancia puede conducir a diagnósticos negativos, a no ser que las siembras se practiquen directamente a partir de los alimentos sospechosos.

Los síntomas más comunes de las *Shigelosis* se centran en dolores abdominales, a veces fiebre, y sobre todo una diarrea que se acompaña de heces sanguinolentas, detalle que le diferencia de las diarreas sintomáticas de las salmonelosis. En casos graves, puede ser frecuente que aparezcan algunas complicaciones, tales como septicemia, neumonía, etc. Desde luego, el principal tratamiento de la persona afectada es la corrección del desequilibrio producido en agua y electrolitos, de modo especial cuando se trata de niños o de ancianos.

Aunque se trata de una enfermedad que cura espontáneamente, el tratamiento con antibiótico puede acortar no sólo la duración de la fiebre sino también el período durante el cual el individuo afectado puede ser portador. Hay que tener en cuenta que un portador humano puede excretar la bacteria durante muchos meses.

Las medidas preventivas deben estar dirigidas tanto hacia las personas individuales como hacia la población en general, cuidando en extremo la educación sobre la higiene personal; además, debe procurarse por todos los medios que un paciente infectado no intervenga en la preparación de alimentos.

Yersiniosis

Otro síndrome gastroentérico es el provocado por una *Enterobacteriaceae* que pertenece al género *Yersinia*. Estas bacterias se conocieron en 1946 y desde entonces se le ha implicado, con cierta frecuencia, en problemas de higiene alimentaria. Sin embargo, de las once especies establecidas, solamente una tiene especial interés desde el punto de vista de la transmisión por alimentos, la *Y. enterocolítica*.

Corresponde a un grupo de bacilos móviles, que se desarrollan normalmente en medios aerobios, aunque también pueden actuar como anaerobios facultativos, caracterizados porque forman colonias pequeñas cuando se multiplican a 37 °C. Cabe destacar el amplio rango de temperaturas en el que son capaz de multiplicarse (0-42 °C), aunque su crecimiento óptimo esté entre 22 y 29 °C; es una de las pocas bacterias que puede ocasionar infecciones por el consumo de alimentos refrigerados, al ser capaz de crecer entre 0 y 2 °C.

Su pH óptimo se encuentra próximo a la neutralidad, pero pueden crecer dentro de una zona de pH bastante amplia. Al ser una bacteria poco exigente, puede invadir la mayoría de los alimentos y multiplicarse en ellos con cierta comodidad, e incluso desarrollarse en medios cuyo concentración en CINA llegue hasta el 5 %. No obstante, se destruye con facilidad mediante una pasteurización adecuada del alimento.

Está ampliamente distribuida por el medio terrestre y por las aguas continentales (ríos, lagos y pozos), aunque su hábitat más frecuente es el intestino humano y los ganglios mesentéricos de personas, así como de animales, principalmente cerdos y terneros. Precisamente, las carnes de estos animales representan las principales fuentes de contagio, aunque se han descrito brotes asociados con el consumo de leche de vacuno cruda y de alimentos de origen vegetal regados con aguas residuales.

Algunas cepas de *Y. enterocolítica* no son patógenas para el ser humano, pero otras sí. En estos casos, la bacteria produce una enterotoxina termoestable, capaz de resistir veinte minutos a 100 °C; también soportan temperaturas de frío y las variaciones de pH.

Se piensa que son las responsables de unos efectos tóxicos sobre el tracto gastrointestinal, caracterizados por fuertes dolores abdominales, fiebre, escalofríos, dolor de cabeza, vómitos, náuseas y diarrea. En el caso de niños, pueden provocar una linfadenitis mesentérica aguda, cuyos síntomas pueden ser confundidos con los de una apendicitis. Sin embargo, no parece que esta propiedad toxigénica sea un factor decisivo en la virulencia de la enfermedad, vinculada más bien a la capacidad de las bacterias para invadir los tejidos. Es posible que la actividad de la enterotoxina sólo sea responsable de los trastornos más benignos y únicamente interviene en las fases iniciales de la enfermedad. Por el contrario, la virulencia de las cepas debe radicar en su carácter invasivo sobre las células intestinales y en la presencia de factores plasmídicos.

La sintomatología patológica se presenta bajo formas diversas que, en orden de importancia, se relacionan a continuación:

- a) Formas enterocolíticas, con diarrea maloliente, que puede ser acuosa o viscosa, a veces sanguinolentas. Como síntomas esporádicos hay que citar fiebre, vómitos y dolores abdominales, que aparecen varios días después de la

ingestión del alimento contaminado. El microorganismo se aísla de las deposiciones de las personas enfermas.

- b) Síndrome agudo pseudo-apendicular, que se caracteriza por un dolor agudo localizado en la fosa ilíaca derecha, adenitis mesentérica y frecuente diarrea. A veces cursa con hipertermia, náuseas y vómitos.
- c) Además se ha relacionado con tres perturbaciones patológicas: artritis reactiva, abscesos de colon, eritema nodoso y casos de colecistitis.

De hecho ha sido aislado en la sangre, orina, líquidos ocular y cefalorraquídeo de personas infectadas.

El origen alimentario de esta infección se fundamenta en la gran frecuencia de las infecciones enteromesentéricas y en el aislamiento de gérmenes en diferentes productos alimenticios. Se supone que los alimentos se contaminan por vía fecal a través de portadores humanos. El microorganismo abunda en aguas y suelos, pero suelen corresponder a cepas no adaptadas al ser humano, aunque termina por adaptarse al mismo después de varios pases a través del consumo de vegetales.

Síndrome gastroentérico y disentería por *Escherichia coli*

En un principio, la higiene alimentaria se interesó por las bacterias coliformes como medio de diagnóstico, al considerarlas indicadores de contaminación fecal. Posteriormente, ha preocupado su posible actividad patogénica vinculada al consumo de alimentos, sobre todo en niños.

Las bacterias coliformes están representadas por cuatro géneros de la familia *Enterobacteriaceae*, entre las que destaca como patógeno el *Escherichia coli*, que llega a los alimentos a través de una contaminación por las heces. Aunque las cepas de *E. coli* son de amplia distribución, su nivel en los alimentos suele ser reducido. Cuando su presencia alcanza cifras elevadas representa un claro indicio de una contaminación fecal, con la posible sospecha de la coexistencia con otros enteropatógenos.

En principio, cualquier cepa de *E. coli* que potencialmente pueda producir un síndrome diarreico, puede ser calificada de enteropatógena. En la actualidad, estas cepas implicadas en trastornos intestinales de origen alimentario reciben diversas denominaciones de acuerdo con su carácter toxigénico e invasor: enteropatógenas, enterotoxigénicas, enteroinvasoras, enterohemorrágicas y enteropatógenas facultativas.

Según se ha podido comprobar, las enterotoxinas se producen al inicio de la fase de crecimiento y son mediadas por plásmidos. En las cepas de *E. coli* enteropatógenas se han descrito dos endotoxinas diferentes, una termoestable y otra termolábil, que son responsables de mecanismos patogénicos diferentes: uno similar a los originados por el *Vibrio cholerae* y otro parecido al que se relaciona con las *Shigellas*.

Desde un punto de vista práctico, las cepas patogénicas de *E. coli* se pueden reunir en dos grupos, de acuerdo con los síntomas que producen:

1. Las que provocan una acción típicamente enteropatógena y dan lugar a una gastroenteritis con síntomas semejantes a los del cólera: diarrea líquida, deshidratación corporal y shock. El síndrome aparece cuando se ha ingerido alimentos con

un nivel elevado de células viables por gramo (10^6 - 10^{10}), que al colonizar el intestino producen las enterotoxinas. Afecta con mayor frecuencia a los niños.

Estas cepas están implicadas en las enfermedades conocidas bajo el nombre de «diarrea infantil» y «diarrea del viajero». Como alimentos responsables de un modo directo se pueden señalar las carnes de mamíferos, los mariscos, los productos lácteos, las hortalizas, los purés, las cremas, etc. Sin embargo, la presencia de cultivos de bacterias acidolácticas inhibe el desarrollo de estos microorganismos.

2. Las que dan lugar a una enfermedad con síntomas similares a los provocados por las especies del género *Shigellas*: diarrea con heces sanguinolentas y mucosidad. A estas cepas se las llama invasivas por su capacidad para invadir las células epiteliales de la mucosa del colon. Son cepas que no producen enterotoxinas y están asociadas a síndromes disentéricos, que pueden afectar a personas de todas las edades.

Vibriosis

La principal vibriosis de interés en higiene alimentaria es la producida por el *Vibrio parahaemolítico*. Se trata de gérmenes pertenecientes a la familia *Vibrionaceae*, con una movilidad condicionada a la presencia de un solo flagelo polar y que pueden actuar como aerobios, o como anaerobios facultativos. Atendiendo a sus antígenos se han detectado varios serotipos. Su crecimiento óptimo se alcanza a temperaturas entre 30 y 35 °C, aunque su carácter psicrófilo le permite vivir en ambientes refrigerados. También su pH óptimo se sitúa entre 7,6 y 8,6, pero es capaz de resistir en rangos más amplios.

Su capacidad de vivir en medios salinos relativamente elevados (hasta un 8 % de CINA), hace que su hábitat natural sea el agua de mar, de modo particular en las zonas costeras y los estuarios; también puede vivir en los sedimentos de las costas, donde es capaz de resistir las épocas de frío, debido a su carácter psicrófilo. Por ello, su presencia en alimentos suele estar relacionada de modo particular con los productos de la pesca; ya en 1976, fue señalado este microorganismo por un grupo de expertos de la OMS como causa frecuente de infecciones transmitidas por los productos alimenticios de origen marino. Con preferencia, el *V. parahaemolítico* se aísla de pescados y mariscos, tanto crudos como congelados, aunque no hay que descartar los cocidos, que han podido recibir una posible recontaminación. Ha sido detectado en todas las partes del mundo, aunque suele tener una mayor incidencia en aquellos países, como Japón, donde existe el hábito alimentario de tomar pescado crudo o semiprocado.

La enfermedad provocada por la ingestión de *V. parahaemolítico* consiste en una infección que desemboca con gran rapidez en una gastroenteritis. Su periodo de incubación puede ser variable entre 2 y 48 horas, pero la media de los brotes le sitúa en unas 12 horas. Los síntomas vienen definidos por náuseas, vómitos, fuertes dolores abdominales y diarrea, que a veces se acompañan de febrícula y cefalea. Remite en pocos días y presenta una tasa de mortalidad muy baja, que afecta sobre todo a personas ancianas o débiles.

Las cepas que causan gastroenteritis suelen producir una sustancia extracelular (hemolisina), que presenta una capacidad hemolítica frente a los eritrocitos humanos; por eso, en casos graves se observan deposiciones sanguinolentas. De las

diversas hemolisinas encontradas, las termoestables han servido para determinar la virulencia de las cepas mediante la reacción de Kanagawa. El tratamiento de los enfermos exige fundamentalmente la reposición de los líquidos perdidos, careciendo de eficacia el uso de agentes antimicrobianos.

Su prevención radica en aplicar unos tratamientos térmicos y unas refrigeraciones adecuadas a todo producto alimenticio que tenga un origen marino. Por esta razón, nunca se debe consumir pescado crudo, sobre todo durante los meses en los que las aguas costeras están templadas y pueden alcanzar niveles más o menos elevados de microorganismos.

Campylobacteriosis

Muchos países incluyen entre los más importantes gérmenes enteropatógenos para el ser humano a los bacilos del género *Campylobacter*, pertenecientes a la familia *Vibrionaceae*. Entre sus especies destacan dos, *C. jejuni* y *C. coli*, cuyo hábitat normal suele ser el intestino de diversos animales, tanto salvajes como domésticos.

Estos microorganismos provocan una enfermedad a través de la ingestión de alimentos contaminados, entre los que sobresalen las leches y las aguas de bebidas. Los principales síntomas suelen ser una elevada hipertermia y una diarrea, que en sus comienzos es líquida para adquirir poco a poco mucosidad y sanguinolencia. Con un período de incubación de 2-6 días, remite por sí sola en pocos días. Con certeza, su presencia en los alimentos tiene un origen fecal a través de portadores digestivos, teniendo especial relevancia los animales de carnicería.

Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivos no esporulados

Dentro de este grupo sólo cabe citar la listeriosis, una enfermedad de tipo infeccioso transmitida por los alimentos que están contaminados por bacterias del género *listeria*. En los últimos años ha despertado una gran preocupación en el ámbito de la higiene alimentaria, por la frecuencia de su aparición y la gravedad de sus consecuencias. La súbita aparición de esta bacteria como agente patógeno para el ser humano, al que llega a través de una difusión alimentaria, ha recabado el interés universal de los especialistas, que la han estudiado con mucha atención. Desde el punto de vista microbiológico, se trata de bacterias de afiliación bastante incierta, pero que en la actualidad se consideran próximas a la familia *Lactobacillaceae*.

Listeriosis

De todas las especies admitidas en la actualidad como pertenecientes al género *listeria*, solamente una ha podido ser relacionada con síndromes infecciosos que

afectan al ser humano, la *L. monocytogenes*, de la que se conocen trece serotipos. Se trata de un bacilo no esporulado, aunque a veces puede aparecer como cocobacilar.

Para su desarrollo óptimo exige condiciones de bajas presiones de O₂, pH entre 7,2 y 7,6 y temperaturas entre 30 y 37 °C. No obstante, también puede proliferar a pH ácidos y dentro de un amplio rango de temperaturas: entre 3 y 45 °C. Precisamente, estas características de acidotolerancia, termotolerancia y capacidad para sobrevivir y multiplicarse a las temperaturas de refrigeración, son las que le han dado cierta relevancia actual dentro del ámbito de la microbiología alimentaria. Aunque no forma esporos, ofrece una sorprendente resistencia a todo tipo de agentes: físicos, químicos y biológicos. Así, por ejemplo, es capaz de sobrevivir a una desecación de los alimentos, o a una concentración salina de 10 % de ClNa; en cambio, los tratamientos térmicos de pasteurización son capaces de destruirla, aunque de un modo bastante irregular. También es posible que tenga capacidad para competir con otros microorganismos presentes en los alimentos y consiga cierta preferencia para multiplicarse.

Está muy difundida en la naturaleza, en la que suele adoptar un ciclo saprofítico en estrecha relación con el suelo. Bastante ubicua, se ha aislado de muchos puntos del entorno ambiental: aguas continentales, material vegetal en descomposición, heces de animales, aguas residuales de explotaciones animales, efluentes de mataderos, etc. Su reservorio frecuente es el tracto intestinal de una gran variedad de animales: insectos, anfibios, peces, aves, roedores, animales domésticos tanto de compañía como de granja, etc.; muchos de los cuales pueden ser considerados como portadores.

Entre los vehículos de transmisión alimentarias, han sido muy estudiados la leche y sus derivados, junto a las carnes de aves y mamíferos. Además de estos alimentos también pueden ser detectados en productos vegetales, como col, lechuga y tomate, mientras que su relación con huevos, pescados y mariscos resulta hasta el momento bastante escasa.

En tiempos anteriores, la listeriosis se presentaba de un modo bastante esporádico, pero hoy día sus brotes epidémicos suelen ser ya muy frecuentes. Sus principales formas clínicas en el ser humano son la materno fetal y la neonatal: abortos en el segundo trimestre de gestación; partos prematuros con muerte intrauterina del feto; infección en el recién nacido, en el caso de un parto a término, que puede afectar a la meninges entre la primera y cuarta semana del nacimiento, con un elevado nivel de mortalidad.

La listeriosis de las personas no se presenta bajo la forma de una serie de síntomas únicos, porque el curso de la enfermedad depende del estado saludable del hospedador. Como el control de esta bacteria la llevan a cabo las actividades de los linfocitos T y los macrófagos activados, cualquier circunstancia que de modo negativo afecte a estas células agravará el curso de la listeriosis. De aquí, que diversas situaciones patológicas predispongan al padecimiento de esta enfermedad: neoplasias, alcoholismo, diabetes, enfermedades cardiovasculares, terapia con corticosteroides, trasplantes renales, síndrome de inmunodepresión adquirida, etc. Sin embargo, una vez que una persona adulta ha contraído la enfermedad, los síntomas que se advierten con mayor frecuencia suelen ser meningitis, encefalitis y septicemia.

Durante su fase de crecimiento exponencial, esta bacteria produce una endotoxina, que ha sido descrita como una proteína termolábil con actividad hemolítica y

naturaleza antigénica, denominada «listeriolisina O». A pesar de ello, no parece que la patogenicidad de esta bacteria se encuentre vinculada a un simple proceso de intoxicación, sino de modo fundamental a su capacidad de multiplicarse en el organismo y dar lugar a una infección.

Se piensa que adquirida por vía oral, la *L. monocytogenes* coloniza el tracto intestinal mediante unos mecanismos que todavía no han sido bien aclarados; desde el lumen intestinal, pasa a la corriente sanguínea hasta alcanzar células sensibles localizadas en diversos tejidos, incluida la placenta de las mujeres gestantes. En cuanto patógeno celular, primero ha de penetrar en la célula para después multiplicarse en ella.

Enfermedades provocadas por bacilos gram-positivos esporulados

Se sabe que, al menos, tres microorganismos esporulados, de la familia *Bacillaceae*, dan lugar a intoxicaciones cuando se consumen los alimentos en los que se han desarrollado. Uno de ellos corresponde al género *Bacillus*, capaz de producir síntomas de gastroenteritis, aunque unas veces bajo un síndrome diarreico y otras emético: *B. cereus*; mientras que otros dos pertenecen al género *Clostridium*, que provocan intoxicaciones de diferente tipo: uno, bajo un síndrome toxiinfectioso (*C. perfringens*); el otro, como botulismo (*C. botulinico*).

Los actuales estudios fenotípicos y genotípicos han planteado dudas acerca de la posición sistemática de los *Clostridium* spp., porque son bacterias que forman un grupo muy heterogéneo y se espera que más adelante se reúnan en géneros diferentes. Mientras tanto, se les considera bacilos de la familia *Bacillaceae*, que son esporulados y anaerobios estrictos, mesófilos, con un metabolismo muy activo.

Gastroenteritis por *Bacillus cereus*

Desde principios del siglo XX, se viene asociando al *B. cereus* con intoxicaciones alimentarias, aunque de un modo esporádico; sin embargo, en los tiempos actuales sus brotes se presentan con una mayor frecuencia.

Se trata de un bacilo, formador de esporos termorresistentes, capaz de crecer dentro de unas amplias zonas de pH (4,9-9,8) y de temperaturas (4-50 °C), aunque su desarrollo óptimo se sitúa entre 30 y 37 °C. Por lo general se comporta como aerobio, aunque en medios muy complejos puede tolerar situaciones de anaerobiosis. Exige valores de actividad de agua superiores a 0,95 y puede resistir concentraciones relativamente elevadas de CINa.

Está muy distribuido por toda la naturaleza, donde abunda en tierras y plantas, siendo poco frecuente su presencia en las heces. Por eso, sus brotes responden a contaminaciones de origen telúrico en los alimentos, donde el bacilo necesita un intenso desarrollo para que la producción de toxinas alcance niveles suficientes para provocar una intoxicación cuando se ingieren. Crece bien en la mayoría de los

alimentos, de modo especial en los proteicos, y se le ha aislado en arroz cocido, sopas de carne, verduras, guisos de aves, carnes picadas, embutidos de hígado, purés de patatas, pastas, cremas, helados, leche, etc.

Las cepas capaces de una actividad patógena tóxica producen, durante su fase logarítmica de crecimiento, una gran variedad de metabolitos extracelulares: proteasas, fosfolipasas, hemolisinas, etc. De entre todos ellos, hay que destacar dos exotoxinas de naturaleza proteica: una, responsable del síndrome diarreico, y otra, que posee propiedades eméticas.

La primera de ellas es conocida con varios nombres: «agente diarreico», «factor acumulador de líquido», «factor de permeabilidad vascular» o «toxina intestinal necrótica». Para que pueda ocurrir la intoxicación correspondiente se necesita una contaminación del orden de los $2 \cdot 10^7$ gérmenes por gramo de alimento. Al ser una proteína termolábil, se inactiva totalmente cuando el alimento se calienta durante cinco minutos a 56°C ; además, resulta sensible a las actividades de la pepsina y la tripsina.

El síndrome que provoca suele ser más bien benigno y aparece entre las 8 y 16 horas después de la ingestión del alimento, para remitir en torno a las 12 horas. Su cuadro gastroentérico presenta: dolor abdominal, diarrea profusa y náuseas, que raras veces se acompaña de vómitos; en pocas ocasiones cursa con fiebre. En esencia, sus síntomas se confunden con los del *C. perfringens*. Los alimentos responsables de la transmisión de la forma diarreica resultan muy variados: ensaladas y purés de patata, pollos, legumbres, embutidos, etc.

La segunda exotoxina es también una proteína, pero en este caso termorresistente, estable hasta los 126°C y, además, resiste una amplitud de pH entre 2,0 y 11,0; no es sensible ni a la pepsina ni a la tripsina. Se necesita una contaminación de $2 \cdot 10^9$ gérmenes por gramo de alimento para que se puedan manifestar sus efectos tóxicos. Da lugar al síndrome emético, más agudo y más grave que el anterior, con un tiempo de incubación más corto, entre una y seis horas después de la ingestión, aunque puede ofrecer variaciones muy amplias, entre los 15-30 minutos y las 6-12 horas.

Los síntomas predominantes son náuseas y vómitos agudos, que por lo general se acompañan de dolores abdominales, de modo parecido a las intoxicaciones estafilocócicas; en un 30 % de las personas afectadas cursa también con diarrea, con una rápida recuperación hacia las cinco horas, que a veces se prolonga sin que se superen las 24 horas. Se le ha relacionado principalmente con los guisos de arroz, aunque también ha sido transmitido por nata, espaguetis, patatas y hortalizas.

Síndrome toxiinfeccioso

Se trata de una enfermedad de origen alimentario producida por la ingestión de alimentos portadores del bacilo *C. perfringens*. Hace un siglo que es conocida la relación de este microorganismo con algunos síndromes diarreicos, pero a partir de la segunda guerra mundial se le ha vinculado con cierta frecuencia a ciertos tipos de intoxicaciones alimentarias.

Es una bacteria anaerobia estricta, que se desarrolla bien en presencia de CO_2 , aunque puede tolerar una pequeña cantidad de O_2 . Bastante exigente en cuanto sus necesidades nutritivas, ve favorecido su crecimiento por la presencia de los azúca-

res fermentables, produciendo en su metabolismo los ácidos acético, butírico y caproico. Se han identificado cinco serotipos, de acuerdo con la naturaleza de sus antígenos: A, B, C, D y E, de los que sólo los A y C tienen relevancia en cuanto patógenos del ser humano.

Al ser mesófilo, se multiplica bien dentro del rango de temperaturas entre 15 y 50 °C, aunque su crecimiento óptimo se realiza entre los 37 y 40 °C; aunque su pH óptimo está alrededor de 7,2 puede vivir hasta valores de 5,7, pero nunca en alimentos cuya actividad de agua sea inferior a 0,94.

Ampliamente distribuido por la naturaleza, puede contaminar a una gran variedad de alimentos, con preferencia los de origen animal. Se dan con mayor frecuencia en aquellos alimentos preparados con antelación y en grandes cantidades para ser servidos en reuniones masivas (bodas, banquetes, etc.), sin que reciban el adecuado tratamiento térmico para destruir los esporos termorresistentes. Por ello, sus brotes son más frecuentes en los establecimientos donde se suministran comidas colectivas, aunque también están implicados aquellos bares que ofrecen tapas bajo escasas condiciones higiénicas. Los esporos pueden germinar durante el enfriamiento de los platos cocinados y siempre que las condiciones ambientales de temperatura, pH y anaerobiosis les sea favorables pueden desarrollar un rápido crecimiento. Cuando se dan todas estas circunstancias es posible que en poco tiempo alcancen niveles de 10^5 - 10^7 gérmenes por gramo, cantidad suficiente para dar lugar a la toxiinfección cuando se ingieren dichos alimentos.

Una vez instalado en el tracto intestinal, el microorganismo produce un gran número de toxinas de naturaleza polipéptida, con acciones muy diversas, de las que cuatro pueden resultar letales: alfa, beta, épsilon e iota. No obstante, todas ellas pueden intervenir en su poder patógeno, que se traduce en gangrenas y enterotoxemias cuando se trata de animales y en una enteritis necrótica en los afectados son los seres humanos. En estos casos, las enterotoxinas se pueden detectar en las heces de las personas afectadas.

Cuando se ingiere un alimento que contiene un gran número de formas vegetativas del tipo A, se produce una esporulación en el intestino delgado cuyo pH alcalino provoca que estalle el esporangio y se libere al medio externo la enterotoxina alfa, una proteína pequeña, resistente a las acciones enzimáticas de tripsina y quimotripsina. La formación de toxina en el tracto intestinal se ve favorecida por la ausencia de una población microbiana competitiva, principalmente bacterias acidolácticas, responsables de proporcionar un pH ácido.

Para desarrollar su actividad, la toxina se fija de modo irreversible al borde en cepillo de las células del tejido intestinal. Una vez fijada, la proteína se escinde y, con ello, modifica la permeabilidad de las células epiteliales, dando lugar a una inversión de la absorción de agua y de iones Cl^- y Na^+ . Se ha comprobado que a nivel mucosal del intestino delgado incita un aumento de la actividad adenilciclase, acompañado por un desequilibrio en el balance iónico. Con ello, se favorece el incremento de la permeabilidad capilar y la acumulación de líquidos, que da origen a una diarrea.

En consecuencia, aparece un proceso caracterizado por una serie de trastornos digestivos con una duración aproximada de seis a ocho horas. El síntoma más frecuente suele ser el dolor abdominal agudo, que raras veces se acompaña de fiebre, náuseas y vómitos. En general, se considera una enfermedad benigna y en las personas adultas los trastornos gastroentéricos sólo duran un día, porque experimentan

una regresión espontánea sin dejar secuelas, debido a que la enterotoxina no origina lesiones en la mucosa intestinal. En cambio, no ocurre lo mismo en las personas debilitadas y en los ancianos.

Cuando aparecen formas digestivas agudas, con enteritis necrosantes y fiebre, es indicio de la intervención de otras toxinas, de modo particular la beta, que es muy sensible a la actividad de la tripsina y, por ello, sólo actúa en aquellas personas que tienen dificultades para su secreción intestinal.

Los alimentos implicados con mayor frecuencia suelen ser platos de carnes, pollo, productos lácteos, pescados, hortalizas y frutas congeladas, etc., casi siempre elaborados a escala industrial, aunque de modo esporádico también se incluyen alimentos caseros. Para prevenir la aparición de brotes de este síndrome tóxico basta como limitar la contaminación de los alimentos y actuar siempre bajo condiciones que no permitan la multiplicación de los pocos gérmenes de *C. perfringens* que existan.

Botulismo

Es una de las intoxicaciones alimentarias de origen biótico más grave, a menudo mortal, causada por una exo-neurotoxina de naturaleza proteica, que sintetiza el *Clostridium botulinum* cuando se multiplica en un alimento, al encontrar sus esporos unas condiciones ambientales favorables para germinar. En realidad, la intoxicación es producida sólo por algunas cepas de *C. botulinum* y de acuerdo con su especificidad serológica se admiten siete serotipos: A, B, C, D, E y F, de los cuales C y D no afectan a las personas. Los brotes de botulismo humano suelen estar vinculados a la aparición ocasional de fallos tecnológicos en la industria alimentaria, así como a los hábitos alimenticios de algunos sectores de la población.

Se trata de un bacilo que sólo crece en medios anaeróbicos estrictos y produce endosporos termorresistentes, de modo especial los del serotipo A. Para que puedan ser destruidos no basta con someter el alimento a los efectos del agua hirviendo (100 °C), sino que exige tratamientos a temperaturas en torno a los 120 °C, que sólo se alcanzan con autoclaves.

La contaminación de los alimentos por este microorganismo suele tener un origen telúrico y los esporos se encuentran ampliamente distribuidos por la naturaleza en suelos, polvo y agua, a partir de los cuales se contaminan los alimentos; no obstante, el serotipo E abunda en los sedimentos marinos y por ello es típico de pescados contaminados.

Germinan bien en alimentos con pH próximos a la neutralidad y parece que no son capaces de hacerlo a pH inferiores a 4,5, aunque se han citado casos de botulismo provocados por el consumo de conservas caseras con pH bastante ácidos. En este sentido, se ha señalado un efecto favorable de la presencia de levaduras, que tal vez por suministrar factores de crecimiento permite que los clostridios puedan producir toxinas a pH de 4,0. A pesar de todo, se mantiene el interés por la adición de ácidos a los alimentos, sobre todo el cítrico. Desde luego, la acidez y la actividad de agua ($>0,95$) son parámetros que, junto a la concentración de ClNa ($<10\%$), determinan la magnitud de la inhibición. En esta línea, los nitritos a niveles inferiores a las 100 p.p.m. no impiden de modo total la germinación de los esporos, pero sí evitan la multiplicación de las formas vegetativas.

Puede afirmarse que las necesidades nutritivas de estos bacilos son bastante complejas y que varían según que las cepas presente propiedades proteolíticas o no, sin que este hecho tenga relación alguna con el grupo serológico al que pertenecen.

Hasta el momento, los datos conocidos han puesto de manifiesto que estos clostridios son incapaces de competir con la presencia de otros microorganismos, de modo fundamental lactobacilos; en estos casos, no se multiplican ni producen toxinas.

Las toxinas se forman en el interior de la célula microbiana y su liberación al medio alimenticio se produce por autólisis. Las toxinas corresponden a unas estructuras polipéptidas, que se producen cuando las células crecen bajo condiciones óptimas; son solubles en el agua y se diferencian de otras toxinas de patógenos alimenticios por su termolabilidad, pues bastan diez minutos a 80 °C, o unos pocos a ebullición, para su inactivación.

El polipéptido está formado por dos subunidades enlazadas a través de un puente disulfuro (-S-S-). Cuando sobre él actúa la tripsina digestiva, separa a cada una de las unidades (H de 100 K y L de 50 K) que resultan ser totalmente inactivas. A veces, la toxina puede asociarse con una hemoaglutinina no tóxica para formar un agregado que le protege a su paso por el tracto intestinal. En cambio, otra enzima proteolítica, diferente a la tripsina, puede atacar a la cadena polipéptida por un lugar distinto y ocasionar una especie molecular biológicamente activa.

Una vez absorbida la molécula activada, actúa como una neurotoxina, con un efecto paralizante periférico. Para poder desarrollar esta actividad, la toxina botulínica necesita ser fijada al tejido nervioso y en concreto a los receptores gangliósidos. Para este efecto, parece necesitar de la ayuda de tres restos de ácidos siálicos de la molécula del gangliósido: dos situados en su molécula interna de galactosa y un tercero localizado en su extremo no reductor. Después de quedar fijada, la toxina ejerce su acción al bloquear la liberación de acetilcolina de las uniones mio-neurales colinérgicas, a nivel presináptico. En cambio, no bloquea la síntesis de acetilcolina ni su degradación, como tampoco la transmisión nerviosa o la respuesta del músculo a los antagonistas.

En realidad actúa a través de tres etapas sucesivas:

- Fijación a los receptores de membrana presinápticos por medio del fragmento H.
- Translocación de la toxina en las vesículas de las neuronas sinápticas, mediante un proceso que requiere energía y no es reversible.
- Etapa lítica que afecta a la estructura membranal del citoplasma alrededor del espacio presináptico y se traduce en una parálisis.

Sin duda alguna, se encuentran entre las toxinas de mayor poder tóxico conocido, pues basta la ingestión de un microgramo para producir la muerte del que la ingiera.

Como son sintetizadas por las bacterias durante su desarrollo sobre el alimento se pueden señalar algunos factores en cuanto determinantes de su toxicidad:

- a) El tiempo, pues las bacterias necesitan un mínimo de ocho días para multiplicarse.
- b) Ausencia de oxígeno, porque son anaerobias estrictas.

- c) Rango de temperatura situado entre 10 y 50 °C, aunque el tipo E puede producir toxina a 3,3 °C.
- d) Ausencia de nitritos y menos del 10 % de sal.
- e) Acidez correspondiente a valores de pH superiores a 4,5.
- f) Actividad de agua superior a 0,95, porque exige bastante agua disponible.

Los alimentos implicados con mayor frecuencia suelen ser las conservas caseiras con baja acidez, de modo particular las vegetales, cuando reciben un tratamiento térmico inadecuado para destruir los esporos presentes, pues su ambiente anaerobio favorece su germinación y desarrollo. Como regla práctica, deben eliminarse las latas de conserva abombadas, porque los microorganismos producen gases cuando metabolizan el sustrato para su crecimiento. Igualmente, los embutidos y otros productos cárnicos que carezcan de nitritos, pueden albergar clostridios, sobre todo en las zonas internas donde se localizan ambientes anaerobios.

Debido a este carácter anaerobio y a la termorresistencia de sus esporos existe el riesgo de que el *C. botulinum* se desarrolle en los platos «cocinados a vacío», sobre todo cuando se trata de productos poco ácidos, tales como carnes, aves, pescados, mariscos, etc., porque los tratamientos térmicos relativamente débiles que caracteriza a su tecnología culinaria no permiten destruir sus esporas en el caso de que existan. Asimismo, puede desarrollarse en aquellos productos alimenticios que, mediante tratamiento térmico han eliminado prácticamente a toda la población microbiana capaz de competir con el clostridio por el sustrato e impedir su desarrollo.

En la mayoría de los casos, los primeros síntomas botulínicos aparecen al cabo de 12-72 horas, de modo similar a los típicos de una enfermedad intestinal: náuseas, vómitos y diarrea ocasional. Posteriormente, se manifiestan síntomas neurológicos como lasitud, debilidad, vértigos, doble visión y dificultades para tragar saliva o para hablar, porque se afectan los nervios oculares y faríngeos. Más tarde aparece estreñimiento, parálisis muscular y por último muerte por fallo respiratorio.

El único tratamiento eficaz que se conoce consiste en la administración de la correspondiente antitoxina, a ser posible antes de que aparezcan los síntomas neurológicos. Además, conviene mantener al enfermo en reposo, sostener su balance hídrico y, en su caso, practicarle la respiración artificial, así como suministrar sustancias que provoquen la eliminación de las excretas.

Se ha descrito una modalidad, conocida como «botulismo infantil», porque afecta a niños menores de un año, en los que todavía la población microbiana intestinal no está muy desarrollada, al recibir alimentos que, por algún motivo, contienen esporos viables de *C. botulinum*. Bajo estas condiciones, más acentuadas en los niños menores de seis meses, los esporos pueden germinar en el tracto intestinal y producir la toxina, que dará lugar a trastornos unas veces benignos y otras graves.

Enfermedades producidas por cocos gram-positivos no esporulados

Dentro de este grupo de enfermedades de transmisión alimentaria con un origen biótico sólo hay que señalar la intoxicación producida por las toxinas sintetizadas por algunas cepas de estafilococos enterotóxicos al crecer sobre los alimentos que

contaminan. Las primeras noticias acerca de este tipo de intoxicaciones alimentarias datan de finales del siglo XIX y todavía en la actualidad representan una preocupación sanitaria importante de ámbito mundial.

Los estafilococos se incluyen en la familia *Micrococcaceae* y su clasificación más aceptada los reúne en dos grupos: los *epidermis*, considerados inofensivos, y los *aureus*, con características patógenas propiamente dichas, que provocan una intoxicación gastroentérica. En realidad, sólo deben ser consideradas patógenas aquellas especies productoras de enterotoxinas, porque es la ingesta de la toxina y no de la bacteria la que provoca el síndrome gastrointestinal. De ahí que lo más correcto sea hablar de las estafilococias alimentarias como una intoxicación.

Gastroenteritis estafilocócica

Está causada por la ingestión de alimentos que contienen enterotoxinas producidas, durante su fase de crecimiento, por las cepas patógenas del género *Staphylococcus*. De las 27 especies incluidas en este género, existen diez capaces de producir enterotoxinas que no afectan a los seres humanos. En realidad, a las personas solamente afectan aquellas que, además de enterotoxinas, producen coagulasa y termonucleasa, como es el caso de la especie conocida como *S. aureus*.

Es un microorganismo mesófilo, que se desarrolla bien entre los 10 y los 45 °C y una amplia zona de pH (4,5-9,3), aunque la producción de enterotoxina alcanza su máximo cuando la temperatura es de 35-40 °C y el pH de 7,0-7,5. En cambio, es sensible a una mayor acidez y algunos ácidos como acético, cítrico, láctico y tartárico ejercen sobre él un cierto poder germicida. Crece bien tanto en un medio aeróbico como anaeróbico, pero bajo condiciones aeróbicas tolera actividades de agua que resultan insuficientes para otros microorganismos. Su resistencia a ciertas concentraciones de CNa depende de la temperatura, pH y potencial redox del medio.

Los estafilococos se diferencian de otras especies gram-positivos por su exigencia en el medio de algunos nutrientes específicos: aminoácidos, tiamina y ácido nicotínico, así como uracilo cuando crecen bajo condiciones anaeróbicas; por ello, la presencia de una población microbiana competitiva inhibe su crecimiento. Los gérmenes, pero no sus toxinas, pueden ser destruidos cuando el alimento se calienta quince minutos a 60 °C; no obstante, la presencia de gran cantidad de lípidos, proteínas, azúcares, etc., les puede servir de protección frente al calor y necesitar de un tratamiento más intenso para ser eliminados. Sin embargo, soportan bastante bien los efectos negativos de la congelación.

Dependiendo del serotipo, puede existir crecimiento de la bacteria sin que haya toxinogénesis, aunque lo normal es que la producción de toxinas se favorezca por aquellas condiciones óptimas que benefician su desarrollo: temperatura, pH, potencial redox, etc. Mediante la aplicación de métodos serológicos han sido identificadas siete enterotoxinas diferentes, que se designan con las letras A, B, C₁, C₂, C₃, D y E. Todas ellas son polipéptidos sencillos, que por hidrólisis dan 18 aminoácidos, entre los que destacan aspártico, glutámico, Usina y tirosina. Parece que la carga positiva neta de la estructura molecular desempeña un papel importante tanto en relación con la capacidad para unirse a un anticuerpo específico, como para ejercer su actividad emética.

Son muy estables a pH elevados, pero se muestran sensibles a la acción de la

pepsina cuando llega a 2,0 el valor del pH; sin embargo resisten la actividad de otras proteasas. Tiene interés resaltar su elevada termorresistencia, pues para ser inactivadas se necesitan aplicar tratamientos en autoclaves, en torno a los 121 °C.

El ser humano resulta muy sensible a su ingestión y basta tomar un nanogramo por gramo de alimento para que aparezca el síndrome gastroentérico. No se conoce bien su mecanismo de acción, aunque se le supone diferente al de otras enterotoxinas. Estas toxinas estafilocócicas actúan sobre el sistema nervioso periférico, excitando las vías nerviosas gástricas vecinas a los centros del vómito, por lo que se comportan como un emético indirecto. Los síntomas aparecen, de modo brusco, entre una y seis horas después de haber consumido el alimento que las contiene; se manifiestan en forma de náuseas, cefaleas, intensos dolores abdominales y sobre todo vómitos violentos y repetidos, a menudo acompañado de diarrea. Por lo general cursa sin fiebre. En las personas sanas suele darse una recuperación rápida, que sólo se prolonga en los casos de niños y ancianos.

En función de la dosis ingerida y la sensibilidad de cada persona pueden aparecer complicaciones secundarias: hipertensión, deshidratación, calambres musculares, shock, etc. De todos modos su índice de mortalidad es prácticamente nulo y basta el reposo y el mantenimiento del equilibrio hídrico para que remita sin mayores consecuencias. No hace falta administrar agentes antimicrobianos, porque el agente causal de la enfermedad es una enterotoxina y no el microorganismo ingerido. Después de las salmonelosis, ocupa el segundo lugar en incidencia, debida casi siempre al consumo de alimentos que han tenido un tratamiento manual y desde su preparación hasta su consumo posterior permanecen bajo una refrigeración insuficiente. El principal reservorio en las personas se sitúa en las fosas nasales, a partir de la cual se extiende a piel, manos y cara, lugares donde provoca infecciones en forma de abscesos, forúnculos, panadizos, pericarditis, etc. Las fuentes primordiales de contaminación alimentaria suelen ser los diversos tipos de portadores humanos: ocasionales, intermitentes o permanentes.

En general, los alimentos más implicados son los de origen animal: derivados cárnicos de todo tipo, pescados, moluscos, productos lácteos, cremas, helados, etc., aunque también se pueden encontrar en todos aquellos que hayan sido expuestos a una contaminación a través de portadores humanos.

En la práctica, se requieren cinco condiciones para que pueda surgir un brote de gastroenteritis estafilocócica:

- Una fuente de estafilococos productores de enterotoxinas.
- Un medio de transmisión en la que los portadores sanos desempeñan un papel importante.
- Un alimento con una composición química favorable para el crecimiento del microorganismo y la producción de toxina.
- Una temperatura favorable para que se pueda producir el desarrollo del microorganismo, con opción para que tenga lugar la toxinogénesis.
- Una ingesta de toxina en cantidades suficientes para desencadenar la enfermedad.

Para evitar esta intoxicación es muy importante mantener de modo continuo bajo una buena refrigeración a todos aquellos alimentos susceptibles de transmitir el *S. aureus*. Por ello en la restauración colectiva se recomienda enfriar muy rápidamente los alimentos calientes, una vez cocinados.

Micotoxicosis

Los hongos comunes pueden producir en su metabolismo sustancias tóxicas denominadas micotoxinas. Por consenso general, esta denominación se suele restringir a las toxinas producidas por aquellos hongos micomicetos filamentosos que se desarrollan sobre alimentos y, a través de los cuales, transmiten sus metabolitos a los animales y seres humanos que los ingieren. Por tanto, las toxinas producidas por las setas, que son hongos basidiomicetos, quedan excluidas de esta denominación.

De las casi doscientas especies de hongos consideradas toxigénicas existen cepas que son capaces de producir micotoxinas, mientras que otras no. Además, diversos factores tales como las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa o pH), tipo de sustrato o interacción con otras sustancias presentes, influyen en la producción de micotoxinas, de tal manera que la presencia de una especie toxigénica en un alimento, no significa necesariamente la existencia de micotoxinas. Por otra parte, muchas de ellas son resistentes a los tratamientos térmicos y puede ocurrir que en un alimento contaminado persistan después de haber desaparecido los mohos que las originaron.

Las micotoxinas suelen ser metabolitos secundarios formados en el metabolismo normal asociado con el crecimiento del hongo, que generalmente se producen, aunque no de modo exclusivo, cuando éste madura.

Por su actividad metabólica específica, algunos mohos originan unas estructuras intermedias, a partir de una serie de sustratos, que luego se transforman en la micotoxina correspondiente. Así, del metabolismo del acetato se forman poliacétidos condensados, que sirven de base para la formación de las diversas toxinas: patulina y ácido penicilínico derivan de tetraacétidos; ocratoxinas de pentaacétidos; aflatoxinas, citroviridina y zaralenona, lo hacen de nonaacétidos; etc. Hasta el momento presente, se han podido extraer de los alimentos y caracterizar más de trescientos de estos metabolitos que han manifestado algún tipo de actividad tóxica.

A diferencia de las toxinas de origen bacteriano, la mayoría de las micotoxinas no responden a estructuras de proteínas y, en consecuencia, presentan efectos tóxicos agudos bien distintos a los asociados con las intoxicaciones de etiología bacteriana. Además, sus síntomas suelen ser tan diferentes unos de otros como lo son las propias estructuras químicas de dichos compuestos.

Su principal peligro potencial reside en la imposibilidad en ser detectadas biológicamente en la dieta humana o animal. Por lo general, se trata de moléculas relativamente pequeñas, que apenas pueden ser detectados por los sistemas inmunes de humanos y animales. Cuando el tóxico, incorporado al organismo con el alimento, alcanza el tracto intestinal puede atravesar su mucosa, sobre todo si es liposoluble, y fijarse a los receptores de sus órganos dianas, con enlaces más o menos fuertes: hígado, riñón, sangre, tejido nervioso, etc.

Muchos de los hongos toxigénicos tienen una relación ecológica con las materias alimenticias y, por tanto, no puede extrañar su omnipresencia en el ámbito de los alimentos. Así como pueden ser muy diversas las especies fúngicas capaces de producir micotoxinas, también los alimentos con posibilidad de ser contaminados resultan ser de naturaleza muy variable. Entre ellos caben destacar los cereales que, debido a la importancia de sus cultivos, representan un vector bastante significati-

vo de dichas sustancias tóxicas; los granos de semillas oleaginosas, con gran frecuencia contaminados por mohos toxicogénicos; y algunas otras semillas y frutos, en su mayor parte desecados: uvas, pasas, cafés, especias, almendras, pistachos, etc.

Las poblaciones fúngicas naturales asociadas con mayor frecuencia a los productos alimenticios, corresponden a tres de los géneros más importantes de hongos micomicetos filamentosos: *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. Varias especies de los dos primeros géneros se vinculan de modo habitual con el almacenado de alimentos, de modo particular cuando se trata de productos desecados, aunque algunas también actúan como patógenos vegetales. En cambio, las especies del tercer género suelen estar relacionadas con aquellos cereales y legumbres recolectados, sobre cuyas cosechas el desarrollo de estos mohos han resultado ser unos patógenos devastadores.

Del género *Aspergillus* merece destacar seis especies capaces de multiplicarse y sintetizar metabolitos tóxicos sobre los alimentos: *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius*, *A. versicolor*, *A. ochraceus* y *A. tamarii*.

Las tres primeras se caracterizan por sintetizar *aflatoxinas*, que son compuestos orgánicos de bajo peso molecular, con estructura de difurorano y núcleo de curaarina. Suelen ser sustancias bastante resistentes al calor y a la mayoría de las tecnologías de procesamiento de los alimentos.

Es posible que algunos síntomas adscritos a la ingestión de alimentos contaminados por *A. flavus* se deban a la presencia de la *esterigmatocistina*, precursora de la síntesis de aflatoxinas, producida por la *A. versicolor*, bastante extendida en el medio ambiente y aislada de numerosos alimentos destinados al consumo humano. Aunque se desconoce todavía el alcance que pueda tener su presencia en la alimentación humana en cuanto problema de salud pública, se admite que su ingestión puede ocasionar lesiones hepáticas y se la califica entre los cancerígenos hepáticos más potentes.

La *A. ochraceus*, se caracteriza por ser una de las especies capaces de sintetizar *ocratoxinas*, un grupo de metabolitos en cuyas estructuras intervienen la isocumarina y la L-fenilalanina. Entre todas ellas destaca la *ocratoxina A*, muy nefrotóxica, considerada como la responsable de las nefropatías endémicas registradas en diversas regiones de la Europa oriental.

Por último, la especie *A. tamarii* suele acompañar al *A. flavus* sobre semillas de mijo consumidas en algunas regiones de la India, productoras ambas de un metabolito neurotóxico, el ácido ciclopiazónico.

En cuanto alterantes de los alimentos, en los países europeos son mucho más frecuentes las especies de *Penicillium* que las de *Aspergillus*. Dentro del ámbito de enfermedades transmitidas por los alimentos, no sólo destacan como productoras de toxinas (hasta el momento han sido identificadas unas 32 especies sintetizadoras de unas 27 micotoxinas), sino también por las diversas patologías a las que pueden dar lugar. Por los efectos nocivos que producen, las especies de *Penicillium* se pueden reunir en dos grandes grupos:

- Las que afectan a las funciones hepática y renal, tales como *P. citrinum*, productor de *citrinina*, un derivado de la quinona, y *P. verrucosum*, productora de *citrinina* y *ocratoxina A*.
- Las que son neurotóxicas: *P. citreo-viridae*, productora de la *citreoviridina*, formada por un anillo de lactona conjugado con un anillo de furano, respon-

sable en Japón de la enfermedad conocida con el nombre de beri-beri cardíaco, y *P. crustosum*, que sintetiza el tóxico conocido como *penitrem A*, una potente neurotoxina termógena.

Hasta la década de los años setenta no se había sospechado el importante papel de los mohos del género *Fusarium*, en cuanto productores de micotoxinas. Desde entonces, han podido ser identificadas unas cincuenta, aunque también se ha puesto de manifiesto que la mayoría de ellas sólo provocan intoxicaciones agudas.

En la actualidad reciben gran atención varias especies, que como *F. poae*, *F. sporotrichioides* y *F. graminearum* han demostrado poder sintetizar estructuras incluidas dentro de la familia de compuestos conocidos bajo el nombre de *tricotecenos*. Se trata de una serie de sesquiterpenos poseedores de un sistema básico de anillos de 12,13-epoxi-tricotec-eno. Entre todos ellos destaca la *toxina T-2*, considerada hoy día como responsable del desarrollo en el ser humano de la aleukia tóxica alimentaria.

Otras especies de *Fusarium*, como *F. tricinctum*, *F. oxysporum* y *F. moniliforme*, a las que también se une *F. graminearum*, sintetizan *zearalenona*, un derivado de la lactona del ácido resorcílico, que posee una actividad estrogénica.

Como otras sustancias tóxicas, también las micotoxinas pueden producir intoxicaciones agudas y crónicas. Las primeras son fáciles de detectar, mientras que las segundas pueden pasar inadvertidas y ser el origen de graves enfermedades. Las dosis necesarias para que aparezcan intoxicaciones agudas suelen ser muchos más elevadas que las dosis imprescindible para que se desarrollen los problemas tóxicos de tipo crónico. Pueden afectar a las funciones hepáticas y renales, al sistema nervioso, a la síntesis proteica, al sistema inmune, etc.

Sin embargo, no parece que presenten patologías específicas de un tejido, o un órgano determinado. Aunque en la práctica puedan observarse acciones singulares sobre objetivos precisos, no obstante la mayoría de las micotoxinas suelen provocar una grave lesión sobre un órgano o tejido, al mismo tiempo que pueden desarrollar patologías secundarias sobre otros de ellos.

Es posible que, por razones anatómicas y fisiológicas, sea el tejido hepático quien más se vea afectado por la toxicidad de muchas micotoxinas, como ocurre con otros tipos de tóxicos, en los que el hígado resulta ser su órgano barrera y también su órgano diana. Así, por ejemplo, los efectos agudos más comunes se traducen en graves deterioros de la función hepática, que llegan a ser mortales en los casos más extremos. En otros casos, se han advertido ciertas interferencias con la síntesis de proteínas, que pueden llevar a situaciones inmunodeficientes graves. Y no faltan las descripciones de efectos neurotóxicos, que pueden ser desde leves temblores hasta lesiones cerebrales permanentes.

Asimismo, los efectos de tipo crónico también resultan muy variados: inducción de tumores cancerígenos; réplicas del ADN, que conduce a daños mutagénicos y teratogénicos, etc. Aunque se han descrito diversas patologías, cada una de ellas asociadas a un tipo u otro de micotoxina, muchas de estas enfermedades no pueden adscribirse únicamente a una sola sustancia, sino a la acción conjunta de varias toxinas con complejas interacciones entre ellas y con el hospedador.

En resumen, los daños patológicos más relevantes que resultan de la ingestión de micotoxinas, ya sea a dosis adecuadas para ocasionar efectos agudos, bien se trate de dosis reducidas causantes a la larga de trastornos crónicos, pueden ser los siguientes:

Daños hepatotóxicos

Los efectos tóxicos sobre el tejido hepático se suelen traducir en problemas de esteatosis y en la aparición de áreas necrosadas, que por lo general finalizan con la formación de hepatomas. Las micotoxinas más implicadas en estos trastornos patológicos son las aflatoxinas, de las que se conocen muchos brotes epidemiológicos en animales y cuya incidencia en la salud pública carece, por el momento, de una dimensión bien definida, aunque en la India se registró un importante brote agudo, que afectó a mil personas, con un índice de mortalidad del 10 %.

El interés despertado por las graves consecuencias de esta micotoxina ha permitido que en los últimos años se dispongan de métodos apropiados para el diagnóstico en el ser humano de las aflatoxicosis agudas. En los estudios epidemiológicos realizados en países africanos y del sudeste asiático, donde se da una elevada incidencia de hepatomas con una patogenia cancerígena muy compleja, se ha podido poner de manifiesto una correlación entre esta incidencia y el contenido en la dieta alimenticia de aflatoxinas.

De hecho, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, organismo dependiente de la Organización Mundial para la Salud (OMS), incluye a las aflatoxinas entre las causas conocidas del cáncer hepático humano.

Es posible que, en algunos casos, la actividad cancerígena de estas micotoxinas esté complementada por la esterigmatocistina, que le acompaña cuando ambas son sintetizadas por *A. versicolor*. No obstante, el potencial cancerígeno hepático de esta segunda micotoxina está considerado bastante inferior al de las aflatoxinas, pero siempre superior al de la mayoría de los cancerígenos hepáticos conocidos.

Daños nefrotóxicos

Aunque también se ha relacionado la actividad tóxica de las aflatoxinas con trastornos renales, sin embargo los principales daños nefrotóxicos parecen proceder de la actividad de otra micotoxina, que acapara hoy día la atención de muchos toxicólogos alimentarios, por su frecuente presencia en productos derivados de cereales, uvas, cafés, etc.: la ocratoxina A.

Parece ser la responsable de una degeneración renal, mortal en los casos más extremos, y de los frecuentes episodios de insuficiencia renal detectados en las poblaciones rurales escandinavas, debida tal vez a la ingestión de productos del cerdo con un excesivo nivel de ocratoxina A. También ha sido descrita, no hace muchos años, una nefropatía endémica de la población de los países balcánicos que afectaba a unas veinte mil personas.

Los síntomas de estas nefropatías se caracterizan por una degeneración hialina del glomérulo, una destrucción del epitelio tubular y una fibrosis intersticial. Todo ello conduce a un quebranto de la función tubular, que repercute en otros trastornos fisiológicos: reducción del fibrinógeno en plasma y de los recuentos de leucocitos, pérdidas en la consistencia ósea y deterioro en la función del sistema inmunitario. Por otra parte, también existen pruebas acerca de las actividades teratogénica y cancerígena de la ocratoxina A.

En muchos alimentos contaminados por mohos, la ocratoxina A se acompaña de citrinina, otra micotoxina conocida primariamente como agente nefrotóxico y en

la que estudios posteriores han destacado su posible potencial inmunotóxico. Sin que hayan sido bien aclarados sus efectos tóxicos, hoy día existe la tendencia a ver en ella un agente modulador de esta función, dependiendo de las dosis y los tiempos de exposición: unas veces la estimula, mientras que en otras la inhibe.

Tampoco está nada claro si los síntomas observados en algunos casos pudieran ser debidos a las actividades de una mezcla de varias micotoxinas, aportadas por el alimento.

Daños neurotóxicos

Se han descrito algunos brotes en seres humanos cuyos síntomas agudos de tipo neurológico guardan un cierto paralelismo con los provocados en los animales por la citreoviridina: vómitos, convulsiones, parálisis ascendente y parada respiratoria. También a esta micotoxina se la hace responsable del beriberi cardíaco agudo.

En los casos de experiencias con animales, se ha observado la aparición de un temblor sostenido, que puede continuar durante un cierto tiempo, sin que parezca perjudicar a las funciones normales del sistema nervioso. La causa de tales trastornos era la ingestión de la micotoxina denominada penitrem A, cuyo peligro potencial para el ser humano está todavía por ser esclarecido.

Daños hematotóxicos

Una de las formas más importantes de intoxicaciones de etiología alimentaria debidas a micotoxinas corresponde a la denominada aleukia tóxica alimentaria o mielotoxicosis aguda, cuyos brotes son frecuentes en ciertas regiones de Rusia. Se ha demostrado que se deben a la presencia de una amplia familia de micotoxinas conocidas con el nombre de tricotecenos. Sus síntomas son: fiebre; hemorragias por encías, nariz y garganta; angina necrótica; leucopenia extremada; agranulocitosis; sepsis y vaciamiento de la médula ósea.

Daños endocrinos

Se deben fundamentalmente a la ingestión de zearalenona que, por su semejanza estructural con el dietilestilbestrol y su actividad estrogénica, ha planteado diversas cuestiones sobre su repercusión en la salud humana. Su efecto estrogénico en los animales, que se suele acompañar de una acción anabolizante, puede ser considerado como un síndrome perfectamente definido: infertilidad, descenso del número de crías y pérdidas de peso, como una consecuencia de las alteraciones que provoca sobre el sistema reproductor.

Al existir grandes inconvenientes para que las micotoxinas puedan ser detectadas biológicamente, su peligro potencial radica en el retraso con que aparecen los síntomas relacionados con la inducción de tumores, que por lo general se manifiestan cuando la enfermedad se encuentra ya en un estado muy avanzado.

Tanto el mecanismo bastante solapado de la producción de micotoxinas por parte de los mohos, como la naturaleza poco clara de la situación patológica resul-

tante, hace bastante difícil poder determinar la magnitud del problema sanitario. Por ello, en la práctica epidemiológica existen muchas dificultades para poder designar a una micotoxina específica como la causa responsable de una micotoxicosis concreta, por lo general, pobremente diagnosticada.

No obstante, puede hacerse una relación de los múltiples factores que justifican la existencia real de este acuciante problema:

- A menudo, las micotoxinas se encuentran en los alimentos a concentraciones extraordinariamente reducidas y, por tanto, la valoración analítica resulta muy difícil y problemática.
- La simple valoración analítica no permite llevar a cabo una evaluación de su potencial tóxico que, a su vez, puede verse complicado por la presencia de otras micotoxinas.
- Es posible que, cuando se llega a sospechar la etiología del daño aparecido, no se disponga ya del alimento bajo sospecha para proceder a su análisis.
- A menudo, los síntomas clínicos son difusos, subagudos o están enmascarados por el incremento de la susceptibilidad a desarrollar enfermedades infecciosas.
- Las micotoxinas existen en los alimentos de modo esporádico tanto geográfico como estacional, y por consiguiente se hace muy difícil establecer un diagnóstico ordenado.
- Los impactos, tanto biológicos como clínicos, de las micotoxinas que se van descubriendo no están todavía bien definidos.

De aquí que el estudio de la ecología adecuada para el desarrollo de los mohos toxigénicos podría aportar una valiosa información orientada hacia los modos de actuación más convenientes para proteger la salud humana de los efectos nocivos de las micotoxinas.

Desde 1990 se ha intentado definir lo que debe entenderse como una micotoxicosis verdadera, mediante la aplicación rigurosa de una serie de criterios:

1. La enfermedad debe estar relacionada con la alimentación.
2. Del alimento sospechoso se ha debido aislar la toxina en una cantidad suficiente para dar lugar a un problema clínico.
3. Del alimento no se aísla ningún microorganismo de patogenicidad semejante.
4. La enfermedad no debe ser ni infecciosa ni contagiosa.
5. Los síntomas de la enfermedad deben mejorar cuando se suspenda el consumo del alimento sospechoso.

Parasitosis

Los procesos parasitarios originados por el consumo de alimentos contaminados pueden provocar serios trastornos en aquellas personas que los ingieren. Con mayor frecuencia aparecen en los países de clima tropical o, al menos, templado y húmedo. Los alimentos con posibilidades de contener formas parasitarias contami-

nantes puede ser muchos y variados: carnes, pescados, mariscos, productos lácteos, etc.

Las parasitosis aparecidas por consumir determinados tipos de alimentos pueden ser clasificadas en tres grupos, de acuerdo con el tipo de parásito que interviene:

- Giardiasis, disentería amebiana y toxoplasmosis, provocadas por protozoos.
- Clonorquiasis, teniasis y cisticercosis, originadas por vermes planos.
- Triquinosis, ocasionada por vermes redondos.

En cualquier caso, todos ellos presentan una característica específica y común, que les diferencia de bacterias y virus: para su desarrollo biológico necesitan de más de un hospedador animal.

Los hospedadores de parásitos pueden ser dos tipos:

- a) Intermedio, cuando en él se desarrollan las formas larvarias o los individuos jóvenes.
- b) Definitivo, aquel en el que el parásito adulto realiza su ciclo sexual. En algunos casos, sólo existe una especie única que actúa como hospedador definitivo, mientras que en otros, puede haber más de una especie. Un caso particular es el de la *Trichinella spiralis*, donde las fases larvaria y adulta se encuentran en el mismo hospedador.

Giardiasis

Es una enfermedad producida por la *Giardia lamblia*, un protozoo flagelado que abunda en muchas aguas ambientales, donde bajo la forma de quistes puede contaminar los alimentos. En la práctica se necesita una ingestión de al menos diez quistes para que se alcancen la dosis de infestación con capacidad para un desarrollo de la giardiasis clínica que, por otra parte, es una enfermedad muy contagiosa.

Una vez ingerido el alimento contaminado, se rompen los quistes por la actividad de la acidez estomacal y las proteasas del tracto intestinal, dando lugar a la liberación de las células en el primer tramo del intestino delgado. Como estas células carecen de actividad fagocítica, necesitan obtener los nutrientes para vivir mediante un proceso de absorción. Apenas pueden penetrar en los tejidos parenterales, pero en cambio tienen facilidad para invadir los conductos biliares y originar una colecistitis.

La giardiasis se detecta por la presencia de sus células en las heces de las personas infestadas. Sus síntomas se ponen de manifiesto bajo la forma de diarrea, retortijones abdominales, fiebre, vómitos, laxitud, pérdida de peso, etc.

Se ha comprobado su transmisión al ser humano a través de hortalizas, que se supone han sido lavadas con aguas contaminadas. También se encuentran en alimentos contaminados mediante una incorrecta manipulación por parte de personas portadoras, que no observan las más elementales normas de higiene.

Disentería amebiana

Se trata de una amebiasis producida por un parásito intestinal, conocido como *Entamoeba histolytica*: un protozoo insólito por su carácter anaerobio y porque, en

la fase de amebas, sus células carecen de mitocondrias. Como principal sustrato respiratorio necesitan del suministro de glucosa o de galactosa; además, mediante pseudópodos ingieren hematíes, circunstancia que explica la aparición de heces sanguinolentas, que representan una característica diferencial con el *Entamoeba coli*, con la que suele estar asociado. Sus formas celulares son móviles y no persisten en las condiciones ambientales normales, mientras que sus quistes son inmóviles y pueden sobrevivir hasta tres meses en los lodos de las aguas residuales.

Este protozoo intestinal tiene una típica significación en higiene alimentaria, porque su único portador es el ser humano, que se convierte en diseminador cuando enferma. La presencia de moco y sangre en las heces suele ser una característica típica de las personas enfermas, que con las heces pueden eliminar unos 10^7 quistes por día. No resulta extraño que bajo estas condiciones se puedan contaminar con total facilidad los alimentos que manipula, o aquellos otros que se encuentran en su entorno, promoviendo así la posibilidad de nuevos contagios.

La enfermedad se transmite a través de diversos caminos relacionados con la vía fecal-oral: contaminación de los alimentos por las aguas que llevan materia fecal; uso de las excretas como material fertilizante; artrópodos, que con su actividad en medios contaminados, favorecen la difusión del parásito.

Aunque su enquistamiento tiene lugar en el íleon, el protozoo puede producir, en su fase de ameba, infecciones en forma de abscesos en la mucosa intestinal, así como úlceras en el colon. Su adherencia a las glucoproteínas de las células hospedadoras está mediada por una lectina específica de la galactosa. Los síntomas tardíos suelen ser un fuerte dolor abdominal, lumbago, intensa diarrea y vómitos.

En los alimentos desecados el protozoo sobrevive muy poco tiempo, pero enquistados pueden resistir en los productos húmedos unos quince días, incluso a temperaturas de 4 °C. Sin embargo, se pueden destruir manteniendo el alimento bajo congelación, durante un tiempo superior a las 24 horas. Desde luego, en las zonas endémicas no se deben consumir alimentos crudos.

Toxoplasmosis

Es una enfermedad producida por un protozoo esporozoario del orden *Coccidia*, con un ciclo evolutivo bastante complejo. Se trata del *Toxoplasma gondii*, un parásito intracelular obligado, que se puede presentar bajo tres formas:

- a) Trofozoitos, que al ser un parásito intracelular estricto se multiplican dentro de las células, que al estallar pueden infectar otras células, dando lugar a las toxoplasmosis agudas.
- b) Merozoitos o quistes tisulares, responsables de las formas crónicas.
- c) Ovoquistes, formados solamente en los intestinos de los felinos, que son sus huéspedes definitivos; en cambio, los demás animales y el ser humano sólo son hospedadores intermediarios.

La enfermedad aparece cuando se ingieren alimentos infestados (carne cruda, leche de cabra, etc.) y en el tracto intestinal se libera el protozoo, al romperse los quistes por la actividad de las enzimas digestivas. Una vez liberado, atraviesa la pared intestinal y se multiplica en diversos puntos del organismo, siempre que no encuentre resistencia por parte del sistema inmunitario del huésped.

Aunque puede ser bastante común en el ser humano, sin embargo son escasos los casos clínicos porque la mayoría de las personas disponen de anticuerpos contra el parásito. Por eso, sólo aparece la enfermedad en aquellos casos donde se ha perdido la situación de inmunocompetencia, bien por existir una deficiencia o bien por tratamientos inmunodepresivos. Bajo estas circunstancias, una toxoplasmosis puede resultar, por lo general, mortal.

Puede ofrecer una sintomatología clínica o subclínica, dentro de situaciones congénitas o adquiridas. La forma más grave es la intrauterina, cuando la infección de la madre ha tenido lugar durante los tres primeros meses de embarazo, al originarse una infección generalizada que puede desembocar en un aborto o en un nacimiento prematuro del feto. Los niños infectados de modo congénito, pueden desarrollar formas leves o muy graves, con un cuadro clínico complejo: fiebre, erupciones, hidrocefalia, hepatomegalia, retinocoroiditis (a veces acompañada de estrabismo y microoftalmia), etc. La gravedad suele ser menor cuando se trata de aquellas toxoplasmosis adquiridas después del nacimiento, que cursan como una linfadenitis con linfocitosis y remiten generalmente de modo espontáneo. Sin embargo, a veces se manifiesta bajo formas graves, que cursan con sintomatología múltiple: fiebre, malestar, neumonía, mialgias, miocarditis y meningoencefalitis.

El ser humano se contamina por la vía alimenticia: unas veces por comer carnes portadoras de quistes, sin recibir el adecuado tratamiento térmico; otras, por ingerir alimentos contaminados con esporas de quistes, que provienen de las heces de gatos.

Clonorquiasis

La clase *Trematodo* de los vermes planos está integrada por parásitos, denominados duelas, que infectan la sangre, el hígado y los pulmones de los mamíferos. Posiblemente, el más importante de los que afectan a la especie humana como hospedador definitivo es el *Clonorchis sinensis*, responsable de la parasitosis conocida bajo el nombre de cirrosis oriental. Los caracoles y unas cuarenta especies de peces, entre los que destacan los ciprínidos, pueden actuar como hospedadores intermedios.

Cuando los huevos del parásito llegan al agua, eclosionan, dando lugar a larvas ciliadas, que invaden a los hospedadores intermedios. Cuando algunos de éstos son consumidos por el ser humano, el parásito se hospeda de modo definitivo en sus conductos biliares con posibilidad de desarrollar cirrosis o incluso puede dar lugar a un tumor hepático.

Para su prevención hay que procurar tomar siempre el pescado después de una adecuada cocción y evitar, en todo caso, el consumo de pescado crudo.

Teniasis y cisticercosis

Las teniasis humanas son ocasionadas por cestodos del género *Taenia solium* (propia del cerdo como hospedador intermedio), que en su fase adulta son parásitos del intestino humano. En esta situación, elimina unos 50.000 huevos por año,

que cuando son ingeridos por el cerdo pueden alcanzar sus músculos estriados y en su fase larvaria formar quistes (*Cysticercus cellulosae*).

La cisticercosis es una infección somática producida por esta fase larvaria que invade diferentes órganos. Las personas pueden actuar como hospedadores intermedios, dando lugar a una cisticercosis, o como un hospedador definitivo, originando una teniasis, con lo que resulta posible la autoinfestación.

Son helmintos que adolecen de varias carencias fisiológicas: sistema vascular, sistema respiratorio, sistema digestivo y cavidad corporal. Por tanto, su nutrición depende de la actividad digestiva del hospedador y tiene un metabolismo fundamentalmente anaerobio.

El centro principal del ciclo de transmisión es el ser humano, al eliminar por las heces una gran cantidad de huevos, que se difunden por medio de las aguas cloacales, de los insectos coprófagos, de los alimentos, hasta que llegan al cerdo donde se constituyen los cisticercos, capaces de permanecer bastante tiempo en el tejido animal del animal, incluso cuando se convierte en carne. El periodo de incubación en las personas para las cisticercosis es de unas 8 a 12 días, mientras que para las teniasis se amplía a unos 45-60 días, tiempo necesario para que se forme el parásito adulto.

Muchas veces, las teniasis pueden pasar inadvertidas por el tipo de síntomas que manifiestan, al ser confundidos con los de otras enfermedades: pérdida de peso, náuseas, debilidad y algunas manifestaciones digestivas: dolores abdominales, flatulencias, diarrea, etc.

Más graves son las manifestaciones de las cisticercosis, porque afectan a tejidos y órganos vitales con una sintomatología relacionada con tres factores: la cantidad de cisticercos, su desarrollo y su variedad morfológica. De acuerdo con ellos, pueden aparecer perturbaciones en el sistema nervioso central (ataques epileptiformes), el órgano ocular (conjuntivitis, iritis, etc.) o el tejido muscular (dolor, calambres, cansancio).

Se erradica mediante una apropiada eliminación de las aguas residuales y de los desperdicios humanos. En el caso de carnes contaminadas, los cisticercos se destruyen mediante tratamiento térmico superior a los 60 °C, así como por congelación de las carnes, manteniéndolas a -15 °C durante quince días.

Triquinosis

Representa la enfermedad de mayor interés en cuanto a las transmitidas por los alimentos. Su agente etiológico es un nematodo intestinal, la *Trichinella spiralis*, que en su forma adulta vive en la mucosa de duodeno y yeyuno de algunos mamíferos, pero que en su forma larvaria (triquina) se enquistas en el tejido muscular, permaneciendo vivo durante mucho tiempo.

El ser humano se contamina al consumir carne de cerdo con quistes que, al llegar al intestino, liberan las larvas y cuando alcanzan su forma adulta se reproducen sexualmente. Los embriones nacidos de las hembras se fijan a la pared intestinal, la perforan y penetran en la circulación linfática hasta alcanzar diversos músculos donde se enquistas.

La enfermedad se manifiesta con síntomas muy diversos, aunque siempre cursa con eosinofilia, dato que sirve de ayuda para establecer un diagnóstico clínico. Du-

rante su fase intestinal, provocan náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea; mientras que en su fase enquistada, dan lugar a dolores musculares, escalofríos y debilidad. Por lo general, se acompañan de fiebre, edema en los párpados superiores, dolores y pequeñas hemorragias en las retinas.

Se previene haciendo pasar la carne de cerdo, o de jabalí, por la inspección veterinaria antes de su consumo. Es importante señalar que los quistes de triquina ofrecen una gran resistencia a diversos agentes físicos y químicos, como por ejemplo, los procesos tecnológicos de la desecación o de la salazón; en cambio, se destruyen por los tratamientos térmicos superiores a los 60 °C, o por congelación de la carne, mantenida durante un mínimo de veinte días a -20 °C.

Virosis

Puesto que ha sido comprobado que una falta de higiene en el ámbito alimentario suele tener su reflejo en la presencia de bacterias patógenas de origen fecal en los alimentos, también cabe suponer que ocurra lo mismo con los virus intestinales. Por ello, desde un punto de vista teórico, cualquier alimento puede significar un medio vehiculador de algún virus. No faltan los casos en los que se ha podido comprobar la vinculación de enfermedades de transmisión alimentaria con la contaminación por virus de procedencia entérica; así, por ejemplo, ha sido subrayada la importancia de la transmisión fecal-oral en lo que hace referencia a la hepatitis vírica de etiología alimentaria.

Muchos alimentos frescos que han sido obtenidos a partir de animales (vacuno, ovino, caprino, etc.) pueden estar contaminados con virus; sin embargo, por lo general tales virus carecen de relevancia en lo que pueda afectar a la salud humana. Por el contrario, no se puede afirmar lo mismo de los alimentos de origen marino cuando han sido extraídos de zonas contaminadas por materias fecales, de modo particular los moluscos, por el especial sistema de filtración que aplican para alimentarse. Igual que algunos otros de origen vegetal, pueden contener virus peligrosos para la salud humana.

Por consiguiente, también para el caso de los virus debe preocupar todos aquellos procesos que puede desembocar en una contaminación dentro de la tecnología alimentaria: operaciones de procesado, almacenamiento, distribución y preparación final de los productos alimenticios.

Una vez que han sido ingeridos con los alimentos, su principal ubicación es el tracto intestinal, donde puede persistir durante largo tiempo a la vez que se excretan con las heces. Como los virus carecen de los sistemas enzimáticos propios necesarios para su replicación, son parásitos obligados de las células, o de las bacterias vivas, para formar, a expensas de sus ácidos nucleicos, nuevos virus con una estructura idéntica a la del virus invasor.

Esta particular característica resulta de gran importancia en lo que se refiere al binomio virus-alimento: a diferencia de las bacterias, los virus no tienen capacidad para multiplicarse en los alimentos y con el paso del tiempo el nivel de contaminación puede ir disminuyendo como consecuencia de diversas causas que lo inactivan. Solamente cuando con el alimento se ingiere una cantidad importante de virus,

pueden estar en las condiciones idóneas para penetrar en las células de los tejidos e iniciar su replicación; una vez que se han multiplicado, salen de las células infectadas e invaden otras nuevas, dando lugar a la aparición de la correspondiente virosis.

Entre los alimentos que con mayor frecuencia se han implicado en los casos de virosis registrados se encuentran productos que, en su origen, pudieron tener contacto con aguas residuales: derivados lácteos, verduras frescas, ensaladas, pasteles de carne, ostras y almejas, cremas, etc. Los virus excretados con las heces y las orinas de animales o de personas, pueden contaminar muchas fuentes de agua (potable, fecales, etc.) y, a través de ellas, llegar a los alimentos. Estas infecciones víricas provocadas por las aguas contaminadas suelen ser más frecuentes en épocas de calor. Pocas veces se pueden destruir estos virus con la depuración de las aguas residuales, porque en general son bastante resistentes a los diversos tratamientos, incluso a las condiciones adversas y no se afectan por el crecimiento de las bacterias.

Sin embargo, como por lo general, el tiempo transcurre en favor de una reducción de la población vírica presente en un alimento contaminado, también se ha estudiado la incidencia de algunos factores sobre la inactivación de esos virus:

a) *Tiempo de almacenamiento.* Para anular la presencia del virus en el alimento bastaría con llevar hasta el límite su tiempo de almacenamiento, pero en cambio sería perjudicial para la calidad sensorial del producto.

b) *Tratamiento térmico.* Un factor de mayor transcendencia es la temperatura, porque los tratamientos térmicos de pasteurización o esterilización suelen ser efectivos, aunque algunos virus son muy termorresistentes y necesitan de una mayor vigilancia, como ocurre con el de la hepatitis A.

c) *Sistemas para la depuración de moluscos.* Algunos países recomiendan aplicar para los moluscos temperaturas de 85/90 °C durante 90 segundos, porque los procedimientos habituales establecidos para la depuración de estos mariscos con el objeto de eliminar las bacterias patógenas, no garantizan la destrucción de los virus que puedan estar presentes.

d) *Agentes oxidantes.* Aparte del calor, otros agentes físicos y químicos son menos efectivos, debido a que los virus entéricos suelen ser resistentes a los medios ácidos; solamente los agentes oxidantes fuertes, como cloro y ozono, pueden proporcionar resultados positivos.

En el terreno de la investigación epidemiológica acerca de la incidencia de las virosis de transmisión alimentaria existe la dificultad de establecer la correlación causa-efecto, porque las repercusiones patogénicas suelen aparecer en fechas muy alejadas del momento correspondiente al supuesto contagio.

En la práctica se han descrito una amplia variedad de síntomas patológicos en el ser humano atribuidos a una etiología vírica, que parecen estar estrechamente relacionados con el binomio aguas residuales/alimentos. Estos procesos pueden manifestarse bajo dos tipos de patologías:

a) En forma de fiebres, meningitis, hepatitis, etc., debidos fundamentalmente a virus clasificados dentro de la familia *Picornaviridae*.

b) Como gastroenteritis, que a pesar de las dificultades para aislar los virus de los alimentos y poder reconocerlos por medios analíticos, se han podido atribuir principalmente a virus que se incluyen en dos familias diferentes: *Caliciviridae* y *Reoviridae*.

Virosis producidas por la familia *Picornaviridae*

Entre los virus responsables de incidencias infectivas a través de los alimentos, la familia de los *Picornaviridae* está representada con cierta relevancia por dos de sus géneros: *Enterovirus* y *Hepatovirus*.

- Vinculadas al género enterovirus se han descrito tres enfermedades que corresponden a poliovirus (con 3 serotipos), coxsackievirus (con 23 serotipos) y echovirus (con 31 serotipos), entre las que cabe destacar la poliomiелitis.
- Varias son también las hepatovirus provocadas por distintos hepatovirus, aunque relacionadas con la transmisión por alimentos sólo merece ser destacada la hepatitis A, conocida en un principio como «ictericia epidémica» y posteriormente como «hepatitis infecciosa».

Desde 1940, se han asociado los brotes de poliomiелitis con la ingestión de leches sin pasteurizar o, al menos, contaminadas después de la pasteurización. Con el transcurrir de los años, la poliomiелitis ha pasado por dos fases: endémica y epidémica. Por fortuna, los cambios ocurridos en la mentalidad sanitaria de la sociedad moderna y la aparición de la vacuna antipolio han hecho que estos brotes hayan perdido importancia epidemiológica. Sólo persiste en aquellas zonas de la población donde la vacuna no alcanza una cobertura adecuada, como ocurre todavía en algunos países de África, Asia y América del Sur.

El virus, vehiculado la mayoría de las veces por los alimentos, penetra en el organismo y se multiplica de modo local en las células de diversos tejidos (como las amígdalas) o en los ganglios linfáticos, dependientes de ellos. Después, a través del torrente circulatorio puede llegar hasta los tejidos nerviosos, donde al destruir neuronas, provoca la consiguiente parálisis.

No obstante, en las personas susceptibles a la infección, la exposición al virus puede dar lugar a síntomas patológicos diversos: además de la citada poliomiелitis parálisis, puede aparecer como poliomiелitis abortiva o como meningitis aséptica (poliomiелitis no parálisis).

Otra enfermedad que se sitúa a la cabeza de los procesos víricos transmitidos por los alimentos es la hepatovirus A. El principal modo de transmisión del virus es la vía fecal-oral y se asocia generalmente a la ingestión de agua potable contaminada de modo ocasional y sobre todo de mariscos crudos o cocidos de modo insuficiente; también hay que incluir productos vegetales, contaminados por aguas fecales.

El virus presenta una mediana resistencia a la acción del cloro, así como al frío, a la desecación y a los tratamientos térmicos muy suaves. El reservorio del virus A de la hepatitis infecciosa son los individuos enfermos y los portadores sanos, en los que aparecen en sangre, orina y deposiciones fecales.

La enfermedad se caracteriza por destruir las células hepáticas afectadas y cursa con fiebre, anorexia, malestar, náuseas y con cierta frecuencia ictericia. El enfermo suele desarrollar una inmunidad que, por lo general, le dura toda la vida.

Virosis por la familia *Caliciviridae*

Se trata de enfermedades producidas por la ingestión de alimentos contaminados por una serie de virus de carácter muy heterogéneo, pero siempre de pequeño

tamaño y estructura esférica, De ellos se conocen ya varios serotipos, que se designan con el nombre de la localidad donde fueron aislados por primera vez: Norwalk, Hawai, Snow Mountain, Montgomery County y Tauton. El primero es el más conocido por su actividad sobre niños y adultos, de modo particular en invierno, hasta el punto que su patología fue denominada con el nombre de «enfermedad del vómito de invierno».

Parece que son los virus más resistentes a la acción del cloro aplicado a la depuración de aguas, uno de los medios más frecuentes de contaminación de alimentos. De modo principal, la virosis suele estar asociada al consumo de moluscos, aunque no se descartan como responsables otros productos muy variados: ensaladas, frutas, jamón cocido, productos de pastelería, helados, productos refrigerados, etc.

Se sabe que estos virus pueden ser activos bajo dosis infectivas muy bajas y que se diferencian de otros de su mismo género por su resistencia a los ácidos gástricos. Producen una gastroenteritis caracterizada por náuseas, vómitos, dolores abdominales y algo de fiebre, con un periodo de incubación de 12/48 horas y una corta duración de unas 24/48 horas. Se difunden con gran rapidez y sus brotes se relacionan a menudo con comidas colectivas: familias, campamentos, instituciones, escuelas, etc. Se considera como la gastroenteritis epidémica más frecuente, después de las de etiología bacteriana.

Virosis producidas por la familia *Reoviridae*

Dentro de esta familia hay que destacar los rotavirus, descubiertos en 1973, como principales agentes de gastroenteritis en niños de todo el mundo, con un máximo de incidencia en otoño y principios de invierno. Se admite su transmisión por la vía fecal-oral, pero se discute su etiología alimentaria, aunque se tiende a considerar los alimentos como un vehículo ocasional.

Comprende seis grupos diferentes, designados por las letras A, B, C, D, E y F, de los que sólo los tres primeros afectan a los seres humanos. Actualmente se considera a los rotavirus uno de los principales agentes etiológicos (de modo particular los serotipos A) de los procesos diarreicos en niños menores de dos años, con un índice de mortalidad muy reducido, a pesar de su gran frecuencia.

Poco se sabe de su patogenia, pero sí se conoce que afecta a las mucosas del yeyuno y del íleon, ocasionando una descamación y atrofia de las vellosidades, que puede ser el origen de una mala absorción de los carbohidratos, con un final diarreico. Algunas personas adultas pueden presentar síntomas más complejos: fiebre, vómitos, dificultades respiratorias, etc. Se ha comprobado que las proteínas de los receptores para los rotavirus son las mismas que en las células hospedadoras actúan como receptores beta-adrenérgicos.

Los brotes epidémicos suelen estar vinculados a hospitales infantiles, guarderías, etc., y se caracterizan por una aparición repentina, posiblemente debido a necesitar periodos de incubación cortos, con numerosos síntomas que remiten con rapidez.

No se le conoce alimentos específicos y se piensa más bien en las aguas de bebida que han podido contaminarse con residuos fecales.

Encefalopatías espongiformes

Un tema de gran preocupación durante estos últimos años en Europa ha sido el relacionado con enfermedades neurológicas graves en el ganado vacuno, que han sido denominadas vulgarmente como la «enfermedad de las vacas locas». A pesar de que la patología del ganado se ha relacionado con la administración de piensos elaborados con aprovechamiento de animales muertos, su posible etiología alimentaria todavía no está muy clara. Además, se discute acerca de la naturaleza del agente que la provoca, al que se suele denominar *prion* para diferenciarlo de los virus y las bacterias.

Reciben el nombre de *prion* los agentes causales de una serie de enfermedades que tienen como patología común el desarrollo de procesos degenerativos del sistema nervioso central, que cursan con manifestaciones clínicas nerviosas. Se sabe que son agentes mucho más elementales que los virus y que carecen de ADN y ARN; son simplemente partículas proteicas infecciosas, capaces de convertir las proteínas normales en otras más peligrosas, sin más que modificar su forma. Se les identifica como moléculas de sialo glucoproteínas PrP, siglas que aluden a su resistencia frente a las proteasas (*protease resistant protein*).

Originan enfermedades letales que se engloban bajo la denominación de *encefalopatías espongiformes*, porque producen una vacuolización de las células nerviosas y confieren al cerebro un aspecto esponjoso. Las enfermedades pueden aparecer bajo tres modalidades: esporádicas, adquiridas y hereditarias.

Aunque son más frecuentes entre los animales, ya en 1921 se describió una enfermedad homóloga que afectaba a las personas, cuya edad oscilaba entre los 50 y los 75 años: la enfermedad de Creutzfeld-Jakob, en homenaje a los dos médicos que la disgnosticaron. Posteriormente, se han descrito otras que presentan el mismo

tipo de patología: la enfermedad de Gerstmann-Strausler-Scheinker, el insomnio familiar letal y la enfermedad de Kuru, aparecida en Papua y Nueva Guinea. El agente causal es resistente al tratamiento térmico y se sospecha que su vehículo transmisor al ser humano es la carne de bovino.

Se han sugerido varias hipótesis acerca de la multiplicación de estas moléculas nocivas, entre las que caben destacar dos:

- El agente patógeno está formado por la proteína PrP asociada a un pequeño ácido nucleico, que se replica de forma convencional para dar lugar a la síntesis de PrP en la célula huésped.
- Considera dos orígenes diferentes de la proteína PrP: uno exógeno, cuando se forma de modo espontáneo; otro endógeno cuando aparece por mutación del gen PrP.

De todos modos, todavía la etiología de estas enfermedades se encuentra en una fase de estudio y aclaración y hay que estar a la espera de lo que se pueda deducir de las investigaciones en marcha.

Efectos tóxicos de algunos componentes alimentarios

- Introducción.
- Sustancias tóxicas naturales de origen animal.
- Compuestos tóxicos intrínsecos de origen vegetal.
- Sustancias formadas en las operaciones tecnológicas.
- Contaminantes químicos ambientales.

Introducción

Existe una clara evidencia acerca del riesgo para la salud que encierran diversos componentes aportados por la dieta alimenticia, cuyos daños patológicos pueden manifestarse bajo los síntomas más variados, de acuerdo con formas agudas o crónicas, en función de las cantidades ingeridas: reacciones específicas muy intensas, trastornos hepáticos o renales, manifestaciones neoplásicas, etc.

Muchos de estos agentes tóxicos eran ya conocidos desde los tiempos más antiguos; sin embargo, tanto su identificación como la información multidisciplinar que hoy día se tiene de ellos acerca de sus funciones en el organismo humano, han suministrado bastantes datos con cierta relevancia desde el punto de vista de la seguridad de los alimentos. En este sentido, los progresos realizados en torno a los comportamientos bioquímicos y toxicológicos de tales agentes, aun cuando su estructura tóxica no haya sido, a veces, bien aclarada, han contribuido a una mejor comprensión de algunas enfermedades.

Desde su aparición sobre la tierra, el ser humano ha sabido cubrir sus necesidades nutricionales mediante el consumo de diversas especies, tanto animales como vegetales, elegidas entre las que le ofrecía el medio ambiente en el que desarrollaba su vida. No cabe duda que, además de argumentos sensoriales, la ausencia de características tóxicas pudo ser una regla decisiva para aplicar los criterios de selección. No obstante, dentro de esta conducta, han podido pasar bastante inadvertidos aquellos productos que contenían sustancias cuyos efectos sólo se hacen notar des-

púes de un cierto tiempo de latericia, por la dificultad de relacionar los efectos nocivos con la causa que los originaban.

Sería, por tanto, ilusorio pensar que, por responder a un consumo habitual desde tiempos remotos, un alimento pueda ser desvinculado de todo riesgo tóxico. No en vano, persisten de modo endémico en algunas zonas de la geografía humana manifestaciones tóxicas, que son una consecuencia de los hábitos alimentarios de esa población, porque ciertos alimentos usuales, además de nutrientes, contienen sustancias en distintas proporciones que son capaces de provocar trastornos de tipo crónico en los organismos que las consumen. A ello hay que añadir las intoxicaciones agudas provocadas por el consumo de algún alimento específico por ignorancia, confusión o descuido.

Los avances en la instrumentación analítica ha permitido reconocer y valorar la presencia natural de estructuras tóxicas en muchos de los alimentos que toman parte de nuestras dietas. Suelen ser resultado de los procesos metabólicos propios de aquellos animales o vegetales de los que proceden tales alimentos; normalmente, abundan en los alimentos de origen vegetal, aunque tampoco faltan en los de origen animal, sobre todo en los marinos, que se caracterizan por ser responsables de intoxicaciones alimentarias en las que no están implicados los microorganismos.

En la práctica, existe una gran dificultad para definir de modo claro todas aquellas sustancias naturales, cuya ingestión a través de los alimentos da lugar a manifestaciones tóxicas. No obstante, se ha establecido una serie de requisitos, a cumplir por toda sustancia llegada al alimento a través de sus materias primas e ingredientes, para que pueda recibir la consideración de tóxico natural:

- Deben ser estructuras propias de los alimentos que se consumen de modo habitual, o corresponder a los que sólo se consumen bajo determinadas circunstancias: periodos de carestía, error de identificación.
- Debe ser posible identificar la especie molecular responsable de haber causado los efectos tóxicos observados, mediante la aplicación de los métodos propios del análisis químico.
- Sus estructuras químicas no deben corresponder a las que intervienen en el metabolismo primario de nuestro organismo, en cuanto que puedan desempeñar funciones energéticas, estructurales o catalíticas. Es decir, no deben concernir a los nutrientes que resultan nocivos cuando son ingeridos en cantidades excesivas.
- Han debido ser sintetizadas por las vías anabólicas normales, que son propias de los organismos de los cuales proceden los alimentos.

A pesar de todo, no faltan casos en los que se puede plantear alguna ambigüedad, como ocurre con el selenio, que a ciertos niveles es considerado como un nutriente de indispensable presencia en nuestra alimentación, pero que actúa como tóxico cuando se sobrepasa de una determinada concentración.

En los momentos actuales, también alcanza una importante atención la presencia en los alimentos de sustancias que provienen de una contaminación abiótica, como resultado de las manipulaciones vinculadas al progreso social. El carácter tóxico de muchas de ellas y la magnitud de los problemas recurrentes que se detectan con cierta frecuencia en algunas zonas en desarrollo, ha suscitado cierta preocupación por los agentes relacionados con la seguridad de los alimentos y, sobre todo, por los efectos que pueden provocar sobre la salud humana.

La sociedad occidental desarrolla su vida sobre un suelo intensamente explotado, donde todos los países tienden a una mayor industrialización. Las consecuencias de estos comportamientos se traduce en una intensa contaminación del medio ambiente, que en muchas ocasiones puede superar los límites tolerables. No en vano, se considera al control de esta polución como el tercero de los problemas a resolver por la humanidad en el próximo milenio. A dicha polución no escapan los productos agroalimentarios, que se contaminan a través de las vías más diversas: la polución del suelo y de las capas freáticas, por los vertidos de distinto tipo, o la polución del aire, por las emanaciones industriales.

El tipo, forma química y concentración de muchas sustancias tóxicas presentes en los alimentos de origen vegetal dependen en gran manera de las características del suelo de cultivo: suelen ser compuestos inorgánicos que la planta toma directamente de la tierra y del agua que la riega. En cambio, en los de origen animal puede haber una bioacumulación de contaminantes tóxicos, como una consecuencia de la cadena alimentaria. Otras veces en unos y otros alimentos puede haber una contaminación indirecta como resultado de las manipulaciones vinculadas a su producción: los productos vegetales pueden llevar residuos de los tratamientos con plaguicidas, así como carnes, pescados, leches, huevos, etc., contienen compuestos tóxicos que les llega a través de la alimentación de los animales de procedencia. Por todo ello, resulta difícil encontrar en los tiempos presentes productos alimenticios que carezca de algún tipo de contaminante, porque sus fuentes están marcadas por las secuelas de sus ambientes.

También la transformación industrial de las materias primas alimenticias, así como la comercialización de lo que se produce, poseen su aspecto negativo. De una parte, algunas operaciones implicadas pueden dar lugar a la formación de estructuras químicas con actividad tóxica; de otra, durante los periodos de almacenamiento, más o menos prolongados, los alimentos pueden sufrir algún tipo de alteración química y convertir algunos de sus componentes en productos nocivos. Incluso, los materiales de envases pueden transmitir al alimento alguna estructura no exenta de toxicidad.

En resumen, los alimentos de consumo habitual pueden ofrecer en su composición química sustancias responsables de alguna actividad tóxica, que de acuerdo con su etiología se pueden calificar como tóxicos naturales, tóxicos formados en los procesos tecnológicos y tóxicos que proceden de una simple contaminación ambiental de los mismos.

Sustancias tóxicas naturales de origen animal

Desde el origen de la humanidad, las capturas de animales marinos han tenido una presencia importante en la dieta alimenticia del ser humano. No obstante, la participación global de la pesca en la alimentación humana ha sido siempre muy variable, de acuerdo con las características geográficas de cada país, aunque siempre han representado una fuente proteica importante para los países del sur europeo

y del sureste asiático. No obstante, se sabe que muchas especies de pescados y mariscos resultan nocivas cuando son consumidas por el ser humano, como consta en las referencias históricas, al ser portadoras de sustancias con carácter tóxico.

Aunque los tejidos de los pescados son muy perecederos y resultan muy sensibles para las invasiones microbianas, sin embargo los efectos tóxicos debidos a su consumo pertenecen al propio animal y no a la implicación de microorganismos. Por su origen, los agentes tóxicos corresponden a dos tipos: las biotoxinas de origen natural y las sustancias tóxicas que llegan a estos animales como consecuencia de la contaminación ambiental.

En función del producto marino responsable de la intoxicación alimentaria se pueden distinguir dos grupos de enfermedades que, en determinadas zonas de mares cálidos, ocasionan problemas para la salud humana de cierta relevancia (Tabla 27.1):

a) *Ictiotoxicosis*. Intoxicaciones causadas por el consumo de algunas especies de pescados en los que la sustancia tóxica se encuentra localizada en el tejido muscular o en las vísceras. La presencia de las toxinas puede ser debida tanto a circunstancias intrínsecas de orden biológico, como a la incidencia en el animal de factores extrínsecos de naturaleza ecológica, ambiental, estacional o alimenticia.

b) *Mitilotoxicosis*. Intoxicaciones originadas por la ingestión de moluscos, que pueden acumular biotoxinas perjudiciales para el ser humano debido a su sistema de alimentación por ser animales filtradores del agua del mar. Las estructuras tóxicas son tomadas del plancton que les sirve de sustento cuando, de forma ocasional, contienen determinadas especies de dinoflagelados. Entre estos animales bivalvos destacan los mejillones.

Intoxicación por tetraodontoxina

Se trata de una intoxicación asociada con el consumo de diversas especies de peces del género *Tetraodon*, de las que son tóxicas más de ochenta, aunque los

Tabla 27.1

Principales intoxicaciones alimentarias con toxinas naturales de origen animal

A) Ictiotoxicosis

1. *De origen intrínseco*
— Intoxicación por tetraodontoxina.
2. *De origen extrínseca*
— Intoxicación por toxinas ciguateras.
— Intoxicación por aminas vasopresoras.

B) Mitilotoxicosis

- Intoxicación por saxitoxina.
-

casos más frecuentes se deben al consumo del pez globo y se suelen presentar en Japón, donde le tienen cierta predilección.

Conocida desde hace muchísimos años, en 1909 se aisló el compuesto responsable, la *tetraodontoxina*, que por lo general abunda durante los meses de invierno en ovarios, huevos e hígado del pescado. La ingestión directa de estos órganos dan lugar a la correspondiente intoxicación; no obstante, también puede ser responsable el consumo del tejido muscular porque, aunque en estado natural apenas contiene la toxina, puede haber sufrido una contaminación al difundirse la tetraodontoxina por todo el cuerpo del animal durante la preparación culinaria.

El análisis con rayos X ha permitido conocer que se trata de un compuesto amino perhidroquinazolinico, con una estructura cíclica enormemente compleja, que responde a la fórmula empírica $C_{11}H_{17}N_3O_8$. Debido a su termorresistencia y su escasa solubilidad en agua puede ser ingerida, incluso, cuando se consume el pescado ya cocinado. Una vez introducida la sustancia en el organismo humano, el desarrollo de su actividad tóxica se vincula, desde un punto de vista estructural, al enlace de oxígeno entre C_5 y C_{10} , así como al tipo de sustituyente localizado en el C_4 . Se le considera uno de los tóxicos conocidos más potentes, pues basta 1 mg de compuesto para que, al cabo de media hora, se presenten alteraciones neurotóxicas bastante graves. Como su estructura química no es antigénica, carece de antisuero que sirva de antídoto.

Actúa sobre los potenciales de acción de los axones en los tejidos nervioso y esquelético. Una vez que el tóxico ha sido absorbido, ejerce un bloqueo, o inhibición, del flujo de iones Na^+ en las neuronas, rompiendo con ello la transmisión de los impulsos nerviosos. Los síntomas se desarrollan en varias fases sucesivas, que principian con náuseas, vómitos y ansiedad, para continuar con parálisis, falta de coordinación muscular y pérdida de conciencia, hasta llegar a la muerte por paro respiratorio.

Intoxicación por toxinas ciguateras

Se trata de una intoxicación denominada de modo erróneo *ciguatera*, porque se la creyó ocasionada por un molusco de concha enrollada, propio del Caribe, llamado *cigua*. La enfermedad se produce, en cambio, por el consumo de una serie de peces propios de los fondos marinos tropicales, tanto más tóxicos cuanto más grandes y más viejos.

Se ignora si se trata de los efectos correspondientes a la actividad de un compuesto solo o, tal vez, de varios. De hecho, se han conseguido aislar de los peces ciguateros al menos cuatro toxinas, que se diferencian bastante en los pesos moleculares y en las propiedades químicas:

- La *ciguatoxina*, toxina liposoluble.
- La *ciguaterina*, toxina hidrosoluble.
- La *maiotoxina*, de peso molecular 300.000.
- Una toxina insoluble en agua, de peso molecular 1.500, cuya hidrólisis da lugar a glicerol y un ácido graso no hidroxílico, con una LD_{50} de 10 ng/g en el ratón.

No obstante, todavía se desconocen las correspondientes estructuras y no se ha podido demostrar cuál de ellas es la responsable principal.

La sintomatología comienza por trastornos gastrointestinales, como náuseas, vómitos, diarreas y dolores abdominales, a los que siguen periodos prolongados de trastornos neurológicos, como hormigueo, cefaleas, dolor de dientes, pruritos, convulsiones, etc. Por lo general, la enfermedad tiene carácter transitorio y puede desaparecer en pocas horas; sin embargo, cuando los síntomas aparecen bajo formas sobrealagudas, la muerte puede sobrevenir de modo rápido, a los diez minutos después de su ingestión.

Para explicar el origen de la(s) toxina(s) han sido sugeridas varias hipótesis:

- Proceder de un alga azul-verde ingerida por el pescado (o bien el pescado ciguatóxico es un predador que se alimenta de otras especies consumidoras de dichas algas).
- Provenir de la alimentación a base de dinoflagelados sintetizadores de neurotoxinas.
- Derivar de la actividad de bacterias que habitan el intestino de los peces, o están en estrecha relación con las poblaciones de dinoflagelados o de las algas azul-verdes.

Debido a la importancia epidemiológica de esta intoxicación en los países donde se consumen peces de aguas tropicales, se han desarrollado diversos métodos para la identificación de los peces ciguateros: bioensayo con ratón, bioensayo como *artemia salina*, radioinmunoensayo y métodos enzimáticos, considerados estos últimos como los más sensibles y selectivos.

Teniendo en cuenta que las sustancias tóxicas son resistentes a los procesos de congelación o de cocción y, además, ninguno de los métodos analíticos anteriores resultan satisfactorios para basar en ellos la seguridad del consumo, las instituciones competentes han establecido unas normas que deben ser cumplidas para reducir la incidencia de esta intoxicación:

- a) Conocer cuáles son las especies peligrosas en cada lugar.
- b) Evitar la ingestión de los órganos internos, de modo principal el hígado.
- c) Evitar el consumo de los peces más grandes y más viejos, porque han tenido la oportunidad de alimentarse durante más tiempo con productos que les convierten en ciguatóxicos.

Intoxicación por aminas vasopresoras

Es un tipo de intoxicación producido por el consumo de pescados, que corresponden a diversas especies de escómbridos que se encuentran bajo deficiente estado de conservación. Como los síntomas observados recuerdan a los propios de reacciones alérgicas se ha sugerido la posibilidad de una formación ocasional de aminas biógenas vasopresoras; en concreto se ha pensado en la *histamina*, posiblemente originada mediante una descarboxilación bacteriana del aminoácido histidina, presente en el músculo de los pescados de carne roja. El carácter termoestable de esta amina hace que los tratamientos culinarios resulten ineficaces para su destrucción. No obstante, se sospecha que la amina necesita de alguna sustancia sinérgica para provocar la sintomatología tóxica que se le atribuye.

En la mayoría de los casos, los trastornos afectan al tracto gastrointestinal bajo la forma de dolores abdominales, náuseas, vómitos y diarreas, que también se pueden acompañar de otros desórdenes cutáneos y neurológicos, tales como enrojecimiento, urticaria y dolor de cabeza. Suelen manifestarse hacia las dos horas del consumo del pescado, para desaparecer hacia las dieciséis horas, sin dejar secuelas. Los casos mortales son bastante raros.

Intoxicación por saxitoxina

Es bien conocido desde hace siglos que los moluscos resultan tóxicos para el ser humano cuando, en las aguas marinas donde se capturan, coinciden unas condiciones específicas. Así, bivalvos y algunos cangrejos, que normalmente se alimentan de algas, pueden provocar una intoxicación paralizante en el organismo humano que los consume cuando en el plancton de su alimento se han desarrollado algunas especies de algas dinoflageladas.

Cuando en las aguas marinas se cumplen ciertos requisitos, aún desconocidos, se sabe que dichas algas experimentan un rápido crecimiento, conocido en algunos lugares con el nombre de «marea roja», a la vez que sintetizan una toxina que se concentra en todo animal marino que se alimente de ellas. Hace muchos años que los efectos paralizantes debidos al consumo de estos moluscos tóxicos son bien conocidos entre la población de Norteamérica, Japón, África del Sur y la zona costera europea del mar del Norte. Sin embargo, nunca han presentado toxicidad de esta naturaleza los bivalvos criados y capturados en las aguas marinas del Mediterráneo y Mar Rojo.

La toxina no pudo ser identificada hasta 1957 como *saxitoxina*, un alcaloide complejo que contiene guanidina, de peso molecular 372 y fórmula empírica $C_{10}H_{19}C_{12}N_7O_4$. Con posterioridad, se ha comprobado que el producto aislado no responde a un compuesto simple, sino que se trata de una mezcla formada por saxitoxina con otros análogos suyos conocidos como *goniautoxinas*, cuyas proporciones relativas varían según el tipo de dinoflagelado. Al tratarse de alcaloides termolábiles y apenas solubles en agua, no se eliminan con la depuración o lavado del molusco, ni se afectan por los tratamientos térmicos culinarios.

Estos compuestos son potentes neurotóxicos que inhiben la bomba de sodio-potasio, controladora de la conducción eléctrica. Cuando se trata de una ingestión que ocasiona trastornos leves, los síntomas suelen ser de hormigueo, insensibilidad en labios, cara y nuca, dolor de cabeza, vértigos y náuseas. En los casos de gravedad algo mayor, aparece una rigidez o una parálisis de los miembros, sensación de luminosidad, taquicardia, debilidad general y ligera dificultad respiratoria. Cuando se alcanza el nivel de intoxicación aguda, se produce una parálisis muscular y una dificultad respiratoria pronunciada, que lleva a la muerte en 24 horas. Según se ha podido calcular, los síntomas moderados corresponden a una ingesta de unos 1.000 ng por 100 g de molusco, mientras que un nivel de 10.000 ng/100 g representa ya la dosis letal. Como consecuencia de haber mejorado la sensibilidad de las técnicas analíticas actuales, algunos países han establecido la cantidad de 80 ng por g de molusco como límite de salubridad, por encima del cual debe estar prohibido su consumo.

Compuestos tóxicos intrínsecos de origen vegetal

Son miles las sustancias que toman parte de la composición química de los productos alimenticios de origen vegetal, pero puede afirmarse que no llegan a cien las que tienen el carácter de nutrientes. Por ello, no es de extrañar que entre tantas no nutrientes existan algunas estructuras que, consumidas por el organismo humano, sean capaces de provocar efectos tóxicos bajo determinadas circunstancias. Unas veces, puede tratarse de la ingestión durante un tiempo prolongado de un alimento portador de cantidades reducidas de una sustancia tóxica, mientras que otras veces responde a una toma única de alimento que contiene la estructura nociva a una concentración que alcanza la dosis tóxica.

Representan al grupo más numeroso de tóxicos naturales, aunque muchos de ellos no hayan podido ser todavía caracterizados, ni química ni biológicamente. Algunas sustancias de este amplio grupo presentan un tipo de actividad tóxica aguda, pero la mayoría de ellas no representan un peligro importante para la salud humana, a menos que se consuman en gran cantidad los alimentos que las contienen. En realidad, se desconoce bastante acerca de su peligrosidad para el ser humano cuando son ingeridas a niveles bajos; por tanto, no se puede afirmar que signifiquen un grave problema para la salud de la población, a menos que se disponga de datos más comprometedores.

Es probable que la aplicación de las técnicas analíticas actuales a la valoración de estos compuestos naturales integrados en los productos alimenticios vegetales, permita detectar una presencia más significativa en los alimentos de consumo habitual. Desde luego, la aplicación de los nuevos métodos toxicológicos, y también epidemiológicos, sobre algunas de estas sustancias han facultado en estos últimos años poner de manifiesto diversos efectos, que han resultado nocivos para bajos niveles de concentración.

Las actividades tóxicas provocadas por estos compuestos pueden ser de lo más variado (Tabla 27.2), aunque entre ellas caben distinguir tres tipos de efectos perniciosos diferentes:

a) Efectos deletéreos propiamente tóxicos, que no pueden compensarse con un aporte suplementario de nutrientes: actividad estrogénica, hemotoxicidad, alteraciones del sistema nervioso y cancerogenicidad.

b) Efectos nocivos indirectos, como consecuencia de una actividad antinutritiva consistente en reducir la disponibilidad de un nutriente, o provocar una pérdida suplementaria de algunos esenciales. Normalmente, cuando la alimentación es copiosa, las consecuencias de estos compuestos pueden pasar inadvertidas.

Fueron descubiertas al observarse cierta discordancia entre los índices proteicos obtenidos por análisis de aminoácidos y los valores biológicos encontrados mediante experiencias *in vivo* con animales. Se trataba de estructuras químicas con actividades diversas: inhibidores enzimáticos, que afectan a la utilización digestiva o metabólica de hidratos de carbono y proteínas; sustancias que inactivan vitaminas, o bien aumentan sus necesidades; sustancias que interfieren con la asimilación de elementos minerales.

Tabla 27.2
Principales componentes naturales de alimentos vegetales
con algún efecto tóxico

I. Sustancias de acción deletérea	
— Estrogénicas	Isoflavonas, cumarinas, lactonas del ácido resorcíclico.
— Hematotóxicas	Glucósidos pirimidínicos, lectinas.
— Neurotóxicas	Xantinas, aminoácidos atípicos, glucoalcaloides.
— Tumerogénicas	Hidrazinas, safrol, estragol, quínonas, etc.
II. Sustancias de acción antinutritiva	
— Obstaculiza la absorción digestiva de carbohidratos y de proteínas	Anticarbhidrasas, antiproteasas. taninos.
— Incrementa las pérdidas catabólicas	Derivados fenólicos.
— Interfiere con el uso de vitaminas	Niacinógeno, oxidasa ascórbica.
— Entorpece la absorción de minerales	Oxalatos, ácido fítico, bociógenos.
III. Toxinas sintetizadas por hongos basidiomicetos	
— De acción rápida	Muscarina, psilocibina, muscimol, ácido iboténico, coprina.
— De acción retardada	Hidrazonas, amatoxinas.

c) Efectos dañinos de toxinas sintetizadas por algunos hongos basidiomicetos, cuyo consumo puede dar lugar a intoxicaciones sistémicas: de rápidas consecuencias unas veces, o de acciones retardadas otras.

Sustancias de acción estrogénica

Son sustancias representadas por tres grupos químicos bien definidos: *lactonas del ácido resorcíclico*, *isoflavonas* y *cumarinas*, cuyas estructuras químicas presentan una cierta similitud con la molécula del estradiol. Actualmente, se conocen unas cincuenta especies vegetales capaces de dar una respuesta positiva al test biológico de actividad estrogénica.

Se ha podido comprobar que las actividades tóxicas de estos compuestos se plantean a través de una competición con los receptores citoplásmicos del útero para el 17-beta-estradiol. Incluso se ha sugerido que la metabolización de estas estructuras por las bacterias del intestino las convierte en derivados todavía más activos.

El efecto real de los aportes alimentarios en el caso de los seres humanos no está todavía bien definido. En todo caso, parece poco probable que las dietas normales puedan constituir peligro, desde el punto de vista del equilibrio hormonal, debido a los bajos niveles que representa su ingesta por lo reducido de sus concentraciones en los alimentos vegetales. Como caso singular se considera el producido en

Holanda durante la Guerra Mundial, cuando una gran escasez de alimentos hizo que la población se alimentara de bulbos de tulipanes, que produjeron en mujeres trastornos relacionados con la reproducción. Tales anomalías patológicas han sido atribuidas al contenido de los bulbos de tulipanes en este tipo de estructuras.

Sustancias hematotóxicas

Dentro de este grupo, destacan dos tipos de compuestos, que difieren en su estructuras químicas: dos pirimidinas contenidas en las habas, que producen «favismo» en algunas personas del área mediterránea y unas proteínas existentes en muchas leguminosas, conocidas bajo el nombre de lectinas.

Aquellos individuos que tienen una deficiencia congénita en la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G-6-PDH) presentan una crisis hemolítica cuando comen las semillas de *vicia jaba* (habas), patología característica del «favismo» que ya era conocida en el mundo helénico. En época reciente han podido ser identificados los agentes causales de esta enfermedad: dos pirimidinas, que integran el 2 % de la composición química de las habas secas bajo forma de glucósidos, la *convicina* y la *vicina*.

Una vez liberadas las pirimidinas por la actividad de las enzimas beta-glucosidasas, se oxidan fácilmente a quinonas al encontrarse en un medio oxigenado como la sangre, produciendo en la reacción peróxido de hidrógeno, que en las personas normales se destruye [1] con la intervención del glutatión (GSH).



La acumulación del glutatión oxidado (GS-SG) en los glóbulos rojos se evita mediante el sistema NADPH-GSSG reductasa, cuya actividad regenera el GSH, cuya ausencia en los eritrocitos los convierte en frágiles y se hemolizan fácilmente. En estas células sanguíneas no existe otra vía metabólica para la síntesis de NADPH, que la de las pentosas-fosfato, por lo que resulta clave la presencia de la enzima G-6-PDH. Cuando una persona carece de esta enzima, desarrolla una crisis de favismo después del consumo de habas.

Asimismo, hace un siglo que se conoce la existencia en los vegetales de proteínas con una actividad aglutinante sobre los eritrocitos. En la actualidad, tales fitohemoaglutininas se conocen con el nombre de *lectinas* (del latín *legere*, leer) por la afinidad que presentan frente a determinados restos glucídicos, como ocurre en la superficie de los glóbulos rojos o con los enterocitos de la membrana de borde en cepillo del intestino, que conlleva una pérdida de actividad enzimática.

Aunque todavía se discute acerca de la magnitud de su incidencia patológica en el ser humano, sin embargo se ha comprobado que muchas lectinas, identificadas a partir de legumbres y de cereales, son proteínas que pueden alcanzar el tracto intestinal, al ser resistentes a los tratamientos térmicos culinarios y a las enzimas digestivas, donde desarrollan una actividad tóxica inflamatoria.

Sustancias de actividad sobre el sistema nervioso

En las patatas existen numerosos glucoalcaloides, entre los que destaca la solanina, cuya concentraciones varían con la variedad del tubérculo y con las condi-

ciones del medio ambiente, la luminosidad y las infecciones parasitarias. Son compuestos que poseen actividad anticolinesterasa y pueden provocar trastornos gastrointestinales y neurológicos.

Diversas plantas poseen en sus semillas aminoácidos no proteicos que, una vez dentro de nuestro organismo, pueden actuar como antimetabolitos, debido a su analogía estructural con los aminoácidos proteicos. Entre los que destacan por sus efectos tóxicos sobre la población humana están los *latirógenos* de las semillas de almortas (planta del género *Lathyrus*), que provoca el latirismo frecuente en la India y en otras regiones pobres, una enfermedad caracterizada por la aparición de dolores musculares y parálisis de los miembros inferiores, que a veces lleva a la muerte. Los trastornos neurológicos se deben a la actividad del ácido 3-*N-oxalil-L-2,3-diaminopropiónico*.

También en aquellas partes del mundo donde los suelos son ricos en selenio, abundan las intoxicaciones provocadas por selenoaminoácidos en los que este elemento ocupa el lugar del azufre, con una sintomatología de fatiga, vértigos, dermatitis y caída de cabellos.

Diversos alimentos estimulantes de origen vegetal, tales como café, té y cacao contienen xantinas, capaces de estimular al sistema nervioso. *Cafeína*, *teobromina* y *teofilina*, son alcaloides que actúan sobre las zonas cerebrales controladoras de la actividad psíquica, facilitan el trabajo intelectual y reducen la fatiga mediante una acción sobre las zonas motrices. Sin embargo, una dosis diaria elevada de estas xantinas origina, a la larga, reacciones cerebrales poco satisfactorias. Asimismo, en las personas no habituadas a su consumo provocan un incremento en plasma de los niveles de adrenalina y noradrenalina, que se suele acompañar de palpitaciones cardíacas.

Sustancias cancerígenas

Todavía existe una gran confusión acerca de la evaluación e importancia de los riesgos de cancerogénesis vinculados a los componentes químicos de alimentos vegetales. Aunque muchos de ellos han puesto de manifiesto efectos protectores frente al desarrollo de tumores, sin embargo unos pocos se consideran bastante sospechosos de provocarlos: hidrazinas, safrol, estragol y polifenoles.

Algunas *hidrazinas* pueden estar presentes en diversas setas comestibles, como *Giromitra esculenta* y *Agaricus bisporus*, que llegan a nuestro organismo cuando tales setas se consumen crudas o cuando no se elimina el agua de su cocción. Aparte de los dolores abdominales, náuseas, vómitos y diarreas, pueden llevar a graves complicaciones hepáticas tumorales.

El *safrol*, 4-*alil*-1,2-metilenodioxibenceno, es un componente principal de los aceites esenciales del azafrán, aunque también se encuentra en los de nuez moscada y canela. Fue usado durante algún tiempo como agente saborizante de bebidas hasta que fue prohibido su uso como aditivo, al descubrirse su responsabilidad en la incidencia de lesiones hepáticas y tumores malignos. Según parece, la estructura activa es un metabolito suyo, capaz de reaccionar con algunos componentes celulares nucleofílicos; de hecho, se han aislado compuestos de adición con la guanina y la adenina. No obstante, hay que señalar que la dosis cancerígena es bastante elevada (1g/kg de safrol) y muy lejos del normal uso culinario del azafrán.

También el *estragol*, 1-alil-4-metoxibenceno, aislado a partir de los aceites esenciales del estragón, anís e hinojo, presenta efectos cancerígenos a dosis elevadas. Al igual que el safrol, uno de sus metabolitos manifiesta una actividad hepatocancerígena bastante más potente que su precursor.

Muchos productos vegetales contienen polifenoles, entre los que destacan aquellos de estructuras derivadas del flavonol, que son conocidos como flavonoides. Algunos como *quercetina*, *miricetina* y *camferol*, han dado resultados positivos de mutagenicidad con el test de Ames (desarrollado sobre la *Salmonella typhimurium*). Para esta actividad mutagénica, parece esencial que el flavonoide disponga en su estructura de un doble enlace en posición 2,3 y un hidroxilo en la posición 3.

En cambio, para la actividad cancerígena se han implicados sus intermediarios quinónicos, capaces de formar aductos con el ADN. Por su carácter electrofílico, estas quinonas son muy reactivas y pueden participar en el ciclo de producción de radicales superóxidos y peróxido de hidrógeno, lo que explicaría sus propiedades mutagénicas y cancerígenas. No obstante, la fuerte incidencia de tumores digestivos que ha sido relacionada con estos compuestos, parece implicar también a la actividad de la población microbiana digestiva, muy activa en la metabolización de los flavonoides.

Sustancias que obstaculizan la absorción digestiva de carbohidratos y proteínas

Se trata, en su mayor parte, de compuestos muy repartidos entre los alimentos de consumo humano, que tienen capacidad para inhibir algunas enzimas digestivas. Suelen estar presentes, de modo particular, en leguminosas, cereales y tubérculos, donde desempeñan funciones tanto reguladora del metabolismo de la planta como protectora frente a los ataques de insectos y microorganismos.

Las patatas y el maíz contienen *inhibidores* de las invertasas, que desempeñan un papel regulador del contenido de la planta en polisacáridos durante el almacenamiento. Leguminosas y trigo poseen inhibidores de amilasas muy activos sobre los enzimas digestivos. Por lo general, actúan de un modo no competitivo, por lo que buscándole una aplicación positiva se les ha preconizado como muy adecuadas para los tratamientos de la diabetes y de la obesidad. No obstante, se ha sobrevalorado la eficacia real de su actividad antinutritiva, entre otras cosas, porque su pH óptimo resulta ser más bajo que el del intestino y sus moléculas son destruidas de modo parcial por las enzimas gástricas.

Hace año que ha sido puesto de manifiesto la existencia en varias leguminosas, como soja, alubias, guisantes, lentejas, habas, etc. de una globulina, cuyo consumo crudo actúa en el intestino como *factor antitripsina*. Además de impedir la absorción de los aminoácidos contenidos en las proteínas de la dieta, también se ha comprobado que su ingestión estimula la secreción pancreática y tiene un efecto reductor del crecimiento corporal. Toda esta actividad antinutritiva desaparece cuando la leguminosa se somete a tratamiento térmico.

Otros compuestos frecuentes en algunos productos vegetales, tales como habas, plátanos, cacao, etc., son los taninos, que se caracterizan por su propiedad de combinarse con las proteínas e interferir con su utilización digestiva, sobre todo cuando se oxidan y pasan de estructuras polifenólicas a las de quinonas.

Sustancias que incrementan las pérdidas catabólicas

Cuando los *polifenoles* aportados por los alimentos de origen vegetal son ingeridos y absorbidos después a través de la mucosa intestinal, el organismo pone en marcha procesos destoxificantes con el fin de eliminar una estructura que considera xenobiótica. Este comportamiento, por otra parte normal, implica unos gastos metabólicos de dos tipos:

- Energéticos, relacionados con las activaciones de las moléculas que son necesarias para llevar a cabo las reacciones de conjugación que permitan eliminar la nueva estructuras. En este sentido, la glucosa ha de ser transformada mediante una oxidación en el ácido UDP-glucurónico, para lo que exige un mol de ATP, un mol de UTP y dos moles de NAD⁺. Por lo general, son gastos de escasa importancia.
- Plásticos, siempre de mayor relevancia al tener que disponer de moléculas, que son esenciales para la vida celular: glucosa, glicina, cisterna, metionina, glutamina o sulfato. Cuando la alimentación no las suministra en cantidades suficientes, el organismo se ve obligado a tomarlas de sus propias estructuras. De modo paralelo, se incrementan las necesidades en algunas vitaminas, como la A.

Desgraciadamente, no se dispone de datos suficientes que permitan juzgar acerca de lo que representa el consumo de los polifenoles sobre las pérdidas catabólicas en el ser humano. No obstante, se ha observado que el retraso en el crecimiento provocado por la ingestión de ácido gálico (un polifenol), puede ser compensada mediante el aporte suplementario de sustancias donadoras de grupos metilos, como la metionina o la colina.

Desde luego, la O-metilación y la formación de derivados mercaptúricos son dos procesos con efectos muy perjudiciales para el organismo humano, no sólo por lo que representa de pérdida en compuestos nobles, sino también porque puede originar una cierta insuficiencia de glutatión con desvío del metabolismo normal de algunas sustancias hacia la formación de radicales muy reactivos y, por supuesto, tóxicos.

Sustancias que interfieren con el uso de vitaminas

Entre las sustancias con actividad antinutritiva contenidas en los alimentos de origen vegetal, destacan dos por sus relaciones con la función de las vitaminas: el niacinógeno y la ascorbasa.

El *niacinógeno* es un precursor del ácido nicotínico, que se encuentra en los granos de maíz bajo la forma química de complejo resistente. La liberación de la estructura vitamínica sólo puede ser conseguida mediante una hidrólisis alcalina, aunque en este proceso también destruyen otros nutrientes, que han de ser compensados con los aportados por otros alimentos. Por esta razón, el empleo de maíz sin tratar como materia base de la dieta de los indios americanos conducía al desarrollo de la pelagra.

Muchos productos vegetales, tales como coles, zanahorias, calabazas, melones, tomates, etc., poseen la enzima *ascorbasa*, que cataliza la oxidación del ácido

ascórbico a dehidroascórbico. Por consiguiente, la actividad de esta enzima elimina del alimento su capacidad para contribuir al contenido de vitamina C de la dieta. No obstante, su carácter termosensible permite que se le destruya con el escaldado, proceso térmico que se suele aplicar en la industria alimentaria antes de proceder al enlatado de algunos de estos productos.

Sustancias que entorpecen la utilización de los elementos minerales aportados por la dieta

En los productos vegetales existen dos grupos diferentes de sustancias capaces de interferir con la utilización de los elementos minerales aportados por la dieta:

- Los que actúan a nivel del tracto intestinal, como los oxalatos, el ácido fítico y la fibra dietética.
- Los que, una vez dentro del organismo, interfieren con el metabolismo de algún elemento mineral, como ocurre con los bociógenos para el caso del yodo.

Las sales sódica, potásica y cálcica del *ácido oxálico*, así como su forma libre, se encuentran ampliamente distribuidas en algunos productos vegetales: espinacas, hojas de remolacha, cacao, té, ruibarbo, etc. Desde un punto de vista nutricional, el principal problema que se plantea es el de la disponibilidad del calcio dietario. Teniendo en cuenta que 2,25 g del ácido libre precipitan un gramo de catión calcio, se puede utilizar la relación entre ambos compuestos para juzgar si un alimento puede ser una buena fuente de calcio, o incluso es capaz de actuar como un agente descalcificante; tal acontecería con todo alimento que presentara valores superiores a 2,25 para esta relación [2].

$$\text{Ácido oxálico (g/kg)} / \text{Ca}^{2+} \text{ (g/kg)} \quad [2]$$

Siguiendo un orden decreciente, los alimentos con valores más representativos son los que siguen: ruibarbo (1,00/0,04), espinacas (1,00/0,10), patatas (0,15/0,03), cacao (0,80/0,12), té (1,30/0,50).

Aunque se han descrito intoxicaciones agudas por oxalatos bajo la forma de efectos corrosivos en el tracto gastrointestinal, a veces con graves hemorragias, e incluso lesiones renales, no parece que el oxalato de origen alimentario represente un riesgo importante para la salud humana.

El *ácido fítico* es el éster hexafosfórico del ciclohexanol, que suele estar presente en cereales, leguminosas y semillas oleaginosas a concentraciones de 2-5 g/kg y localizado de modo particular en el pericarpio. Los alimentos ricos en este ácido, también contienen una fosfatasa, denominada fitasa, capaz de hidrolizarle a inositol y ácido fosfórico. Por consiguiente, la presencia de este compuesto en la dieta puede impedir que el calcio y otros oligoelementos esenciales (cobre, zinc, magnesio e hierro) puedan ser absorbidos con normalidad por la mucosa intestinal y aparezcan en las heces.

En esta misma línea, también la fibra dietética puede originar complejos estables con cationes di y trivalentes, con reducción de sus disponibilidades digestivas y el correspondiente efecto indeseable.

Entre los compuestos bociógenos están los *glucosinolatos* de las plantas de la

familia *Cruciferae*, como la mostaza, nabos, rábanos, etc., que son la causa de la enfermedad del bocio, endémica de algunas regiones, al interferir con la utilización del yodo de la dieta. La hidrólisis de estos glucósidos por las isoenzimas mirosinasa, deja en libertad varias agluconas con actividades antitiroideas, entre las que destacan tres:

- *Tiocianatos*, responsables del 20-30 % de la actividad bociógena de las coles.
- *Isotiocianatos*, principales compuestos antitiroideos aislados de la mostaza.
- *Tiooxazolidinas*, que abundan en las semillas de *Brassica napus*, empleadas para obtener el aceite de colza.

Aunque el mecanismo de acción no es idéntico para todos ellos, sin embargo suelen provocar, en un primer tiempo, una caída en los niveles de la hormona tiroidea circulante al reducir la actividad de la glándula tiroidea, mientras que, en una segunda etapa, activan la secreción de tireotropina, dando origen a la hipertrofia de la glándula, detalle que suele tipificar a la patología de esta enfermedad.

Toxinas de hongos basidiomicetos

Algunas especies de setas sintetizan estructuras químicas que ingeridas por el ser humano pueden dar lugar a efectos nocivos, que oscilan entre trastornos digestivos leves hasta diversas perturbaciones graves, que por lo general afectan al hígado o al riñón, y pueden desembocar en la muerte.

De acuerdo con la duración del tiempo de latencia, desde el consumo de la seta hasta que aparecen los primeros síntomas, es posible agrupar las intoxicaciones sistémicas en dos grupos bien diferenciados:

1) Las que provocan unos efectos rápidos, siempre dentro de las tres primeras horas desde su consumo, y suelen afectar al sistema nervioso y al tracto gastrointestinal. En principio, es bastante raro que lleguen a tener consecuencias importantes y solamente requieren un tratamiento sintomático. Por lo general, corresponden a varias especies de *Amanita*, *Inocybe*, *Clitocybe*, *Psilocybe* y *Coprinus*.

Aunque existe abundante bibliografía acerca de la incidencia de gastroenteritis, debidas al consumo de algunas especies de setas, se conoce bastante poco acerca de la química y toxicología de sus componentes. Por otra parte, las respuestas registradas presentan una gran diversidad, ocasionada por diversos factores: lugar de origen de las setas, sensibilidad de las personas afectadas o los modos de preparación, porque los procesos culinarios pueden reducir, e incluso evitar, las acciones irritantes gastroentéricas.

El consumo de muchas especies de hongos *Psilocybe* induce una serie de alucinaciones y delirios, provocados por dos principios activos, derivados del indol, que afectan al sistema nervioso central: la *psilocibina* y la *psilocina*, esta última siempre a menor concentración. Sus efectos clínicos se pueden anular con diazepam.

También la intoxicación con *Amanita pantherina* perturba al sistema nervioso central y cursa con una sintomatología de embriaguez, comportamiento maniaco, delirio y sueño profundo. Estos efectos se deben a las actividades de potentes derivados del isoxazol, como el *ácido iboténico*, que dentro del organismo se descarboxila para convertirse en la forma activa: el *muscimol*.

Diversas especies de los géneros *Amanita*, *Clitocybe*, *Inocybe* y *Boletas*, sintetizan compuestos cuyo consumo provocan síntomas de estimulación del parasimpático, típicos de la intoxicación muscarínica: sudoración profunda, salivación, lacrimeo, espasmos musculares, bradicardia, hipotensión, etc. Entre estas toxinas destacan algunos derivados del ciclofurano, la *muscarina* y sus análogos, que actúan sobre los receptores de los músculos lisos y de las células glandulares, al igual que la acetilcolina. La respuesta tóxica al consumo de estas setas no se ve afectada por los tratamientos culinarios.

Desde el punto de vista clínico, se trata del único caso de intoxicación por setas para el que está indicado administrar dosis de atropina, que suele hacerse en cantidad suficiente hasta que se induzca sequedad en la boca. Por lo general, los síntomas suelen desaparecer, o al menos se atenúan, en un plazo de dos horas, sin requerir ningún tipo de tratamiento.

Un caso particular lo constituye una seta comestible muy apreciada, el *Coprinus atramentarius*, porque puede ocasionar unos síntomas importantes y llamativos en el caso de ingerir alcohol unas 72 horas después del consumo de la seta: rubor, hipotensión, taquicardia, palpitaciones, parestesia, intenso dolor de cabeza, náuseas severas y vómitos. Estos efectos tóxicos se deben a la actividad de una prototoxina, denominada *coprina*, que una vez dentro del organismo humano se transforma primero en 1-amino ciclopropanol, para pasar después a ciclopropanona, que es la forma activa bajo la que inhibe de modo irreversible la actividad hepática acetaldehído deshidrogenasa, con el correspondiente acumulo en sangre del acetaldehído formado durante el metabolismo del etanol.

2) Las de acción retardada, que necesitan unas diez horas para que su actividad tóxica se ponga de manifiesto en la forma de trastornos patológicos en hígado y riñón, en general graves. A este grupo pertenecen algunas *Amanitas* y la *Gyromitra escalenta*.

En la sociedad occidental, las muertes por consumo de setas se deben principalmente a ejemplares de dos géneros capaces de sintetizar ciclopéptidos de potentes actividades tóxicas sobre el hígado: *Amanita (phalloides, verna y virosa)* y *Galerina (autumnalis, marginata y venenata)*.

La especie *A. phalloides* contiene dos clases de toxinas termoestables:

- Las *falatoxinas*, heptapéptidos cíclicos de escasa significación clínica.
- Las *amatoxinas*, octapéptidos cíclicos responsables de todos los efectos clínicos observables.

Sus intoxicaciones suelen tener un periodo de latencia prolongado antes de que aparezcan los primeros síntomas en forma de náuseas, cólico abdominal y vómitos persistentes, junto a profusa diarrea acuosa. Después de una fase de tranquilidad, que puede durar unos 3-5 días, surge una grave hepatitis, algunas veces fatal. Se ha comprobado que las amatoxinas actúan mediante enlace con la ARN-polimerasa, inhibiendo con ello su actividad e interrumpiendo, de este modo, la síntesis de proteínas con grave daño en las células hepáticas y renales. Además aparecen cambios neurológicos y mentales, que reflejan el grado de una encefalopatía hepática.

La *Gyromitra escalenta* contiene varias hidrazinas, entre la que destaca la *gyromitrina*, una prototoxina que cuando se hidroliza en el organismo se convierte en monometilhidrazina, considerada como su forma activa, sospechosa de ser cancerígena. Las diversas hidrazinas son volátiles y se eliminan con la cocción de la

seta en agua hirviendo, agua que también debe ser excluida al terminar la operación culinaria.

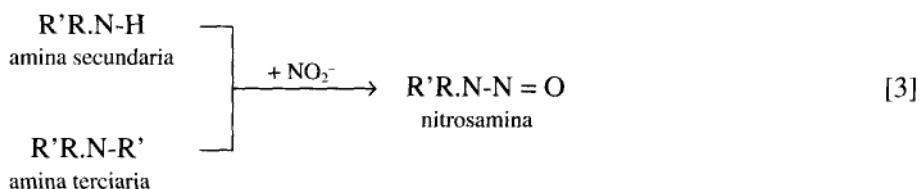
Precisamente, su gran volatilidad puede ocasionar graves intoxicaciones en los operarios que preparan setas desecadas comerciales, a través de la inhalación de los vapores. Como las hidrazinas interfieren con la acción de la piridoxina, se recomienda administrar diariamente por vía intravenosa dosis de vitamina B₆ a las personas afectadas.

Sustancias formadas en las operaciones tecnológicas

Tanto en las operaciones tecnológicas de elaboración, como en los procesos culinarios, los alimentos reciben tratamientos térmicos que implican reacciones entre sus componentes dando lugar a la formación de nuevas estructuras químicas, muchas de las cuales poseen actividades tóxicas. Igualmente, en el ahumado de los alimentos usado hoy día para aportar unas determinadas cualidades organolépticas, se puede proporcionar compuestos cancerígenos potentes contenidos en el humo, como resultado de una deficiente combustión de la madera.

Entre las diversas sustancias que dentro de este grupo pueden ser responsables de importantes consecuencias, hay que destacar nitrosaminas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, aminas aromáticas y estructuras aminoácidas no convencionales, como la lisinoalanina.

Las *nitrosaminas* han sido detectadas en quesos, pescados y, sobre todo, en los productos cárnicos curados, de modo particular en el bacon. Parece que su síntesis química se debe a un proceso de nitrosación entre alguna amina secundaria, o terciaria, con el anión nitrito, muy reactivo en fase acuosa [3].



El ion nitrito puede sufrir en medio acuoso dos procesos sucesivos de protonización: el primero, le convierte en ácido nitroso (HONO); el segundo, forma el catión H_2ONO^+ , capaz de trasmutarse en tres compuestos diferentes:

- Ion nitrosonio (NO^+), que interviene en las reacciones de nitrosación, siempre que el pH sea fuertemente básico.
- Anhídrido nitroso (N_2O), únicamente capaz de reaccionar con aminas libres, por lo general presentes a bajas concentraciones.
- Halogenuro de nitrosilo ($\text{O}=\text{N}-\text{X}$), el más reactivo para la formación de nitrosaminas, aunque su formación exige la presencia de un haluro (X^-).

Se ha comprobado que algunos aminoácidos con carácter de amina secundaria, como prolina, hidroxiprolina o sarcosina, pueden dar nitrosaminas con cierta facilidad. En el momento actual han sido identificados en los alimentos numerosos compuestos N-nitrosados, que corresponden a tres grupos de estructuras nitrosamínicas: simétricas, asimétricas y cíclicas.

En relación con sus actividades tóxicas, parece que las nitrosaminas simétricas dañan fundamentalmente el hígado, mientras que las asimétricas afectan al esófago. No obstante, resulta muy aventurado sacar conclusiones precisas de los datos disponibles, porque la respuesta experimental depende de muchos factores: estructura del compuesto, ruta de administración, dosis, especie animal, edad de los animales, dieta aplicada, etc.

Por consiguiente, es muy difícil emitir una opinión acerca del impacto cancerígeno real de la ingestión de las nitrosaminas de origen alimentario en el ser humano. En principio, solamente cabe establecer las afirmaciones siguientes:

- Aunque muchos alimentos puedan contener nitrosaminas, sólo están presentes a niveles vestigiales, es decir, en cantidades que corresponde a partes por billón (1-20 µg/kg).
- Los alimentos más implicados son aquellas salazones cárnicas curadas con salmueras nitritadas, así como algunos tipos de quesos y bebidas alcohólicas fermentadas, como las cervezas.
- Los derivados nitrosamínicos más frecuentes en estos alimentos son tres: dimetilnitrosamina, N-nitroso-pirrolidina y N-nitroso-piperidina.
- Se sabe que unas 75 nitrosaminas de síntesis, administradas con la alimentación, inducen la aparición de tumores en animales.
- Se ha calculado en unos 7 µg de nitrosaminas la ingesta diaria media tomada por el ser humano con la dieta. No obstante, ha sido prácticamente imposible establecer la responsabilidad de estos compuestos en la epidemiología de la cancerogénesis humana.

Los *hidrocarburos aromáticos policíclicos* (HAP) constituyen una familia de varios cientos de compuestos orgánicos, cuyas estructuras químicas se caracterizan por la unión de varios anillos bencénicos (de tres a seis), enlazados de modos muy diversos: lineales, angulares, etc. De modo eventual, tales estructuras pueden llevar como sustituyentes grupos metilos, o bien grupos alquilos. La mayoría de estos compuestos están formados solamente por átomos de carbono e hidrógeno, pero algunos pueden también incorporar átomos de otros elementos, como nitrógeno, oxígeno o azufre. Entre los numerosos HAP que han podido ser identificados en los alimentos, destacan, por sus efectos cancerígenos comprobados, el benzo(a)pireno y el dibenzo(a,h)antraceno; en cambio, algunos otros han demostrado fuerte mutagenicidad con los test correspondientes, pero se ignora su acción sobre los seres humanos.

Estos compuestos orgánicos suelen aparecer como consecuencia de tratamientos térmicos, más o menos drásticos, durante el transcurso de una pirólisis seguida de condensaciones de cortos fragmentos moleculares, del tipo del acetileno naciente, muy reactivos. La exposición de la materia orgánica propia de productos leñosos a temperaturas elevadas para obtener humos, da lugar a la formación de diversos HAP a partir de azúcares, almidones, aminoácidos, ácidos grasos, colesterol, betacaroteno, etc.

La conservación de carnes y pescados por medio del humo es una práctica ancestral y, aunque las técnicas actuales de ahumado han evolucionado con gran perfección, siempre se basan en una impregnación progresiva del alimento con las sustancias que se producen en la pirólisis de la madera. Como el humo obtenido puede contener y transportar cantidades apreciables de HAP, se suele proceder a la purificación del mismo antes de su contacto con el alimento, mediante aplicación de tratamientos diversos: filtración, lavado, campos electrostáticos, etc. Por lo general, se suele separar la cámara del ahumado de la zona de producción de humos, o bien se aplican extractos acuosos de humo, conocido con el nombre de «humo líquido». En este sentido, las preparaciones comerciales suelen contener benzo(a)pireno en cantidades inferiores a 1 p.p.b. (1 µg/kg).

Por otra parte, la industria alimentaria aplica tratamientos térmicos severos, a veces superiores a los 500 °C, para efectuar diversas operaciones de transformación de las materias primas: atomización, hidrogenación de aceites poliinsaturados, torrefacción del café, etc. También en los procesos culinarios, tanto industriales como del hogar, se aplican técnicas de cocción bastante drásticas, a menudo en condiciones mal controladas: parrilla, plancha, horno, barbacoa, etc.

Se ha comprobado que, bajo estas condiciones, carbohidratos, proteínas, lípidos, etc., producen HAP, aunque la naturaleza del compuesto obtenido como la magnitud producida pueden variar con diversos factores: la fuente de energía aplicada, el control del tratamiento térmico o el contacto más o menos directo de la fuente de calor con el alimento. Así, por ejemplo, el contacto de los alimentos ricos en grasa con la llama puede ser motivo para que se formen cantidades tan importantes como 50-60 p.p.b.

Por todo ello, se deben limitar al máximo las causas que en la producción industrial o culinaria de los alimentos dan lugar a la formación de HAP, así como proceder con una actitud de verdadera prudencia en lo que hace referencia a su presencia en la dieta, por el riesgo de que actúen como agentes cancerígenos eficaces, o bien tener algún tipo de actividad cocancerígena.

La existencia de *aminas heterocíclicas* (AH), de potente actividad mutagénica, en carnes y pescados asados en parrilla fue puesta de manifiesto por investigadores japoneses en 1977. Hoy día se sabe que estos tipos de alimentos originan AH de la familia de las alfa- y beta-carbolinas, cuando se someten a los tratamientos térmicos propios de parrilla, plancha, ebullición con agua, fritura, etc.

El número de sustancias formadas en estos procesos a partir de la conversión directa de proteínas y aminoácidos, o de los productos de reacción entre creatina y creatinina con azúcares, puede ser bastante elevado. Entre ellas abundan las que poseen estructuras de AH, consideradas hoy día como las de mayor poder mutagénico, con el riesgo potencial de un futuro desarrollo de tumores cuando se consumen.

Se ha observado la existencia de una temperatura óptima de formación de AH vinculada a la naturaleza del alimento y que las cantidades de sustancias mutagénicas aparecidas aumentan con la duración del tratamiento térmico, así como con el contenido en agua del producto, sin que se conozca todavía cuáles son los mecanismos fisicoquímicos implicados en la génesis de las AH.

Algunos estudios han puesto de manifiesto que los microsomas del hígado humano pueden activar estas AH de origen alimentario mediante una hidroxilación en la función amina, cuyos derivados N-hidroxi poseen una gran capacidad mutagénica.

nica. Sin embargo, otras muchas sustancias formadas en el proceso térmico que no presentan poder mutágeno, parece que pueden desempeñar una cierta actividad comutagénica frente a sustancias no mutágenas.

Por último, la industria alimentaria también trata por el calor en medio alcalino algunas materias primas proteicas con finalidades diversas: preparación de análogos de carne, obtención de concentrados proteicos, pelado de frutas, etc. Se ha comprobado que tales operaciones pueden conducir a una racemización de los L-aminoácidos o a la formación de enlaces cruzados entre las cadenas polipéptidas de las proteínas. De este modo, aparecen nuevas estructuras aminoacídicas que no son usuales en los medios biológicos: *lisinoalanina*, *ornitinoalanina* y *lantionina*.

El consumo de dietas que contenían estas estructuras ha puesto de relieve la existencia de ciertas perturbaciones de los túbulos renales proximales en los animales de experimentación: cambios en las células del tejido renal, aumento de las nucleoproteínas, alteraciones en el ADN, etc. Por otra parte, algunas diferencias en el tratamiento térmico alcalino de los alimentos ensayados pueden dar lugar a respuestas tóxicas diferentes, tal vez por variar el tipo de estructuras aminoacídicas que se producen. No resulta extraño que preocupe la posibilidad que aparezcan tales estructuras en aquellos alimentos que exigen, como una etapa imprescindible, la acción del calor en medio alcalino, así como exista un notable interés por aclarar sus efectos citotóxicos.

En consecuencia, han sido estudiados tanto los mecanismos capaces de formar esas estructuras, como los factores que rigen dicha formación, con el fin de aplicar las condiciones más convenientes para minimizar su aparición en los alimentos. En consecuencia, se piensa que el mecanismo de formación de lisinoalanina transcurre en dos etapas sucesivas:

- Una primera, catalizada por los iones hidroxilos, en la que están implicadas serina, treonina y cistina para originar como sustancia intermedia una estructura de dehidroalanina.
- Una segunda, en la que el doble enlace de la dehidroalanina reacciona con el grupo amino épsilon de cualquier Usina localizada en la cadena proteica para producir el enlace cruzado lisinoalanina.

Los factores que regulan estas reacciones son el pH (óptimo de 12,5), el tiempo de calefacción, la temperatura dentro de un amplio margen (entre 25 y 85 °C) y el tipo de carbohidrato.

Contaminantes químicos ambientales

Entre los numerosos compuestos con carácter tóxico a los que el ser humano está expuesto a través del consumo de alimentos, la principal amenaza potencial para la salud se deba con toda posibilidad a los que integran el grupo de los contaminantes ambientales. Una evidente prueba de ello, la proporcionan los brotes atribuidos a la ingestión de productos alimenticios contaminados con algunas sustancias químicas de origen ambiental, y que han afectado a conjuntos muy numerosos de personas.

Aunque en el grupo se incluyen sustancias con estructuras químicas muy diversas, sin embargo todas ellas suelen responder a unas líneas de comportamientos bastante similares, basadas en ciertas propiedades físicas comunes:

- Sus estructuras químicas resisten bien cualquier proceso degradativo, por lo que resultan bastante estables y persistentes en el medio ambiente.
- La lentitud de los procesos biológicos que conducen a su metabolización y/o eliminación, hace que muestren facilidad para ser acumuladas a través de la cadena alimentaria, con preferencia en los pescados marinos. Esta propiedad particular hace que se incremente su riesgo potencial.
- Pueden sufrir procesos de biotransformación, que en ocasiones les convierten en estructuras químicas con mayor actividad tóxica.

Cualquier sustancia química liberada en el medio ambiente, que posea alguna de estas propiedades, presenta una vez consumida con los alimentos, cierta probabilidad de perjudicar la salud humana a través de efectos tóxicos agudos, o mediante alteraciones patológicas manifestadas a largo plazo. Por consiguiente, cuando se les detecta en el ámbito de la alimentación, deben ser tenidas como sospechosas, aunque la magnitud y gravedad de sus efectos tóxicos varían de acuerdo con la persistencia y el alcance de la exposición a la que esté sometida el organismo humano.

Por regla general, su presencia en los alimentos se debe a una contaminación inadvertida del medio ambiente a través de productos químicos manufacturados, que son vertidos a las cuencas de los ríos y mares. Unas veces se trata de sustancias orgánicas complejas, y otras simplemente de impurezas que acompañan al producto acabado. Entre todas ellas, caben destacar compuestos difenilos polihalogenados, dioxinas, pesticidas, compuestos organomercuriales y algunos metales pesados, como Cd, Hg y Pb. Sus vinculaciones con los grupos de alimentos más frecuentes se indican en la Tabla 27.3.

Entre los numerosos contaminantes ambientales destacan por su especial relevancia los derivados clorados, no sólo por los efectos tóxicos potenciales a que pueden dar lugar, sino también porque se degradan con dificultad y se acumulan en el medio ambiente.

Tabla 27.3
Principales contaminantes de origen ambiental vinculados
a los alimentos más frecuentes

Alimento	Contaminantes
Productos cárnicos	Cadmio.
Pescados	Difenilos polihalogenados, dioxinas, pesticidas, organomercuriales.
Leches y derivados	Difenilos polihalogenados, dioxinas, pesticidas.
Cereales	Organomercuriales, cadmio.
Grasas comestibles	Dioxinas, hexaclorobenceno.
Verduras y frutas	Pesticidas, cadmio.
Conservas enlatadas	Plomo.

En primer lugar figuran los *bifenilos policlorados* (PCBs), que corresponden a mezclas complejas de isómeros, en los que un mismo número de átomos de halógeno ocupan lugares diferentes en los anillos bifenilos. Se trata de compuestos orgánicos que han tenido una amplia aplicación industrial: transformadores eléctricos, condensadores, sistemas de conversión del calor, etc. Su contaminación a los alimentos puede ocurrir por los medios más diversos: destrucción de aparatos en desuso, roturas accidentales en las industrias, vertidos de materiales de desecho, material de envase fabricado a partir de papel reciclado que contiene PCB, etc.

Parece que los sedimentos de las alcantarillas y los fondos de aguas estancadas constituyen un importante reservorio de estos contaminantes. Tal vez por ello, los niveles de PCB contenidos en los peces de agua dulce siga representando un grave problema de sanidad alimentaria, por el riesgo potencial para las poblaciones humanas que los consumen. En tal sentido, se han comprobado niveles superiores de contaminación cuando se trata de especies depredadoras, con cierta dependencia del tamaño y la edad del pez.

También son de preocupar los derivados *polibromurados* de los bifenilos (PBBs) usados en la manufactura de aparatos de radio, máquinas de escribir, calculadoras, televisores, etc. En cuanto contaminante, su presencia ha sido confirmada en varios alimentos: carne de vaca, cerdo, leche, pollo y huevos.

Se sospecha que sus actividades tóxicas se traducen en cambios en la función hepática, una reducción de la función inmune y una mayor sensibilidad frente a las infecciones. Debido a su amplia distribución y elevada persistencia en el medio ambiente, es del todo necesario ejercer un control de estos compuestos para que, en ciertas zonas, no continúe el incremento de su nivel ambiental.

También han sido detectados en las cenizas suspendidas en el aire procedentes de incineradores municipales unos contaminantes capaces de incorporarse a los alimentos, que cada vez adquieren más importancia sanitaria: las *dibenzodioxinas policloradas* (PCDD) y los *dibenzofuranos policlorados* (PCDF), compuestos muy relacionados entre sí.

Aunque existen más de doscientos homólogos, solamente unos pocos han demostrado ser tóxicos. Entre otros orígenes, se suelen formar en la combustión de aquellas sustancias orgánicas que contienen cloro, tales como cartones y papeles blanqueados con el halógeno, maderas impregnadas de pentaclorofenol, aceites viejos que contienen PCB, aceites procedentes de transformadores, etc. Entre todas, existe una que ha sido señalada como extremadamente tóxica: la 2,3,7,8-tetracloro-dibenceno-p-dioxina, conocida como la toxina de Seveso (Italia). Pescados, carnes y leche de vacuno, son ejemplos de alimentos en los que se han encontrado varios de estos compuestos, que en algunos casos han representado niveles importantes. Entre las alteraciones clínicas que se les atribuye se pueden citar entumecimiento de músculos, perturbaciones en la visión, dolores de cabeza, hepatotoxicidad, etc.

Otro grupo significativo de contaminantes está constituido por un conjunto de compuestos, tan amplio como heterogéneo, que suelen ser conocido bajo la denominación *depesticidas*. Se conoce con este nombre a todas las sustancias usadas en agricultura para controlar cualquier tipo de acción nociva, a excepción de los productos de uso veterinario. El término *pesticida* deriva de la palabra inglesa *pest* con la que se designa a todo agente vivo que sea susceptible de perjudicar al ser humano y a su medio ambiente. De acuerdo con sus actividades, se distinguen entre

insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematodocidas, rodenticidas, etc. Su amplio uso ha implicado grandes beneficios para los rendimientos agrícolas, pero también ha dado lugar a una fuente de contaminación alimentaria muy importante. No es raro encontrarlos, aunque sea en cantidades de vestigios, en alimentos derivados de materias primas agropecuarias. Su liposolubilidad hace que se acumulen en los tejidos grasos de los organismos que los ingieren con la alimentación.

Ante la gran variedad química de sus estructuras no es de extrañar que presenten actividades tóxicas muy diversas:

- Aunque el mecanismo de acción de los insecticidas organoclorados no está muy aclarado se ha demostrado que, además de ser neurotóxicos, pueden provocar hepatomegalia e inducir la actividad de enzimas microsómicas, que les transforma en derivados epóxidos muy reactivos frente a las macromoléculas proteicas y ácidos nucleicos.
- Desde hace bastante tiempo se conoce el efecto inhibitor de los insecticidas organofosforado y de los carbamatos sobre las enzimas acetilcolinesterasas, que tiene como consecuencia una acumulación de acetilcolina y modificaciones en los procesos metabólicos celulares.
- Algunos fungicidas son análogos estructurales de las bases púricas, adenina y guanina, por lo que pueden ocupar sus lugares respectivos en los ácidos nucleicos, provocando anomalías en la información genética e impidiendo las divisiones celulares.
- La mayor parte de los rodenticidas son sustancias con una actividad anticoagulante por bloqueo de la vitamina K e impiden la síntesis de protombina.

Desde un punto de vista sanitario, los principales problemas relacionados con los pesticidas como contaminantes de los alimentos hacen referencia a sus efectos a largo plazo, capaces de concernir a sus posibles acciones mutagénicas y cancerígenas. De aquí, la importancia de manejar datos fiables acerca de los niveles contenidos en aquellos alimentos de mayor consumo y disponer la obligación de realizar, con cierta periodicidad, unos análisis sistemáticos en todos aquellos que hayan presentado unos niveles de contaminación importantes. La contaminación alimentaria suele proceder de dos fuentes principales: la polución del ambiente por los productos de fabricación industrial y los residuos de las operaciones de tratamientos de los cultivos.

Los metales pesados, componentes naturales de la corteza terrestre, pueden en diversos casos ser esenciales para el organismo humano en cantidades reducidas, pero también pueden significar un riesgo para la salud cuando superan ciertos niveles. La polución del medio ambiente con elementos como Cd, Hg o Pb llega hasta el ser humano a través de la cadena alimentaria y no faltan casos en los que se han registrado importantes intoxicaciones, como consecuencia de su ingestión.

La contaminación con estos metales pesados se suele deber en la mayoría de las ocasiones a los efluentes industriales, que primero afectan a las aguas superficiales de las zonas terrestres y después a las aguas marinas. Los alimentos que, por lo general, son más susceptibles de servir de vehículo estos contaminantes son los productos de la pesca, sobre todo cuando se trata de peces depredadores. La larga vida alcanzada por estos elementos inorgánicos dentro de cualquier organismo hace que en la vida marina acontezca un fenómeno de magnificación biológica a través de la cadena trófica.

Son muy diversas las fuentes de contaminación de *cadmio* que han sido recogidas en la bibliografía: residuos de talleres de galvanoplastia, fosfatos usados como fertilizantes, lodos industriales empleados como abono, materiales plásticos, accesorios de automóviles, etc. Aunque el cadmio tiene gran facilidad para pasar desde el suelo hasta los vegetales de cultivo, sin embargo, son sus sales disueltas las que ofrecen mayor capacidad de difusión y pueden alcanzar el mar a través de las aguas residuales que vierten a los ríos. Por ello, las especies de pescados con mayor riesgo son aquellas que desenvuelven su vida en los fondos de los ríos o de las costas marinas y pueden ingerir el cadmio acumulado en los fangos del fondo.

Una vez que ha penetrado en el organismo humano se fija a los tejidos hepáticos y renales a través de una proteína de bajo peso molecular y rica en grupos tioles, conocida como metalotioneína. Sintetizada en el hígado, el complejo cádmico se desplaza hasta el riñón donde se almacena, para dar lugar posteriormente a una nefropatía de los túbulos proximales, que permite el paso a la orina de proteínas de bajo peso molecular.

El *mercurio* es otro metal pesado que se puede acumular en el organismo humano como consecuencia del consumo de alimentos contaminados. Ha sido puesto de manifiesto el extraordinario poder de acumulación de este metal a través de las cadenas alimentarias en medio acuático, debido a su transformación en estructuras organomercuriales, muchos más acumulativa por su liposolubilidad. A largo plazo desarrolla en el organismo una actividad tóxica, de modo principal a nivel de sistema nervioso y renal.

Por último hay que señalar, con respecto al plomo, que los alimentos actuales se encuentran, por lo general, muy poco contaminados, a diferencia de tiempos anteriores, donde la hojalata de calidad inferior aportaba niveles importantes de plomo a las conservas ácidas. Se trata de un metal omnipresente, que resulta indispensable para el crecimiento humano y, hoy día, no suele plantear problemas de salud pública, aunque cualquier ingestión a concentraciones tóxicas puede ocasionar graves trastornos.

Una vez que en el organismo ha alcanzado cierto nivel, el plomo actúa sobre dos enzimas esenciales para la biosíntesis de la hemoglobina, a través de su capacidad bloqueadora de los grupos tioles: la delta-aminolevulínico deshidratasa y la hemosintetasa. Con ello da lugar a la enfermedad conocida como saturnismo, que en algunos casos ha tenido fatales consecuencias.

PARTE VII



Murillo, Niños comiendo frutas (detalle), Madrid

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Adams MR, Moss MO. *Microbiología de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1997.
- Alais C, Linden G. *Bioquímica de los alimentos*. Barcelona: Masson, 1990.
- Anzaldúa-Morales A. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza: Acribia, 1994.
- Belitz HD, Grosch W. *Química de los alimentos*. 2.^a ed. Zaragoza: Acribia, 1997.
- Bourgeois CM, Mésele JF, Zueca J (coordinadores). *Microbiología alimentaria*. Vol. 1: *Aspectos microbiológicos de la seguridad y calidad alimentaria*. Zaragoza: Acribia, 1994.
- Cheftel JC, Cheftel H. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos* Vols. 1 y 2, 3.^a ed. Zaragoza: Acribia, 1999.
- Coulatare TP. *Manual de química y bioquímica de los alimentos*. 2.^a ed. Zaragoza: Acribia, 1998.
- Derache J (coordinador). *Toxicología y seguridad de los alimentos*. Barcelona: Omega, 1990.
- Dupin H, Cuq JL, Malewiak MI, Leynaud-Rouaud C, Berthier A-M.^a. *La alimentación humana*. Barcelona: Bellaterra, 1997.
- Eley R. *Intoxicaciones alimentarias de etiología alimentaria*. Zaragoza: Acribia, 1994.
- Fennema OR. *Química de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1993.
- Hanssen M, Marsden, J. *Epara aditivos*. Guía completa de números «E». Madrid: Edaf, 1984.
- Hernández M, Sastre A. *Tratado de nutrición*. Madrid: Díaz de Santos, 1999.
- ICMSI. *El sistema de análisis de riesgos y puntos críticos. Su aplicación a las industrias de alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1991.
- Jay JM. *Microbiología moderna de los alimentos*. 3.^a ed. Zaragoza: Acribia, 1994.
- Linden G, Lorient D. *Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Zaragoza: Acribia, 1996.
- Madrid A. *Manual de utilización de los aditivos en alimentos y bebidas*. Madrid: A.M.V., 1987.
- Mortimore S, Wallace C. *HACCP. Enfoque práctico*. Zaragoza: Acribia, 1996.
- Multon JL. *Aditivos auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias*. Zaragoza: Acribia, 1988.
- Potter NN, Hotchkiss JH. *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1999.
- Primo Yúfera E. *Química de los alimentos*. Madrid: Síntesis, 1998.
- Roberts HR. *Sanidad alimentaria*. Zaragoza: Acribia, 1986.
- Robinson DS. *Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1991.
- Serra LI, Aranceta J, Mataix J. *Nutrición y salud pública*. Barcelona: Masson, 1995.
- Shibamoto T, Bjeldanes LF. *Introducción a la toxicología de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, 1996.
- Vázquez C, Cos AI, López-Nomdedeu C. *Alimentación y nutrición. Manual teórico-práctico*. Madrid: Díaz de Santos, 1988.
- Wong DWS. *Química de los alimentos. Mecanismos y teoría*. Zaragoza: Acribia, 1995.

* El autor ha considerado más adecuado incluir solamente libros editados en lengua castellana, traducidos muchos de ellos de originales en inglés.

booksmedicos.org

- Aceites comestibles,
 - reversión del favor, 317
- Ácido ascórbico, oxidación del, 345
- Ácidos grasos,
 - derivados,
 - propiedades, 177
 - funciones nutricionales, 166
 - insaturados,
 - efectos saludables, 233
 - libres,
 - estructura esquemática, 111
 - propiedades, 109
 - poliinsaturados,
 - efectos biológicos saludables, 235
 - reacciones metabólicas, 169
- Acilglicerol, propiedades, 112
- Aditivos químicos, 127
 - auxiliares, 130
 - clasificación, 128
 - coadyuvantes tecnológicos, 130
 - concepto, 128
 - directivas comunitarias y uso legal, 140
 - justificación de su uso, 133
 - riesgos sanitarios vinculados a su uso, 136
 - riesgos tóxicos consecuentes de su uso, 138
- Adobos, 470
- Agentes probióticos, 230
 - criterios de selección aplicables a los, 231
 - microorganismos usados como, 232
 - relación de diversos efectos beneficiosos, 232
- Agua,
 - aplicaciones bromatológicas, 47
 - aspectos nutricionales, 155
 - estructura bipolar de la molécula del, 43
 - propiedades de interés bromatológico, 44
 - incidencia sobre la estabilidad del alimento, 53
 - isotermas de adsorción y desorción, 49
 - pérdida de, 293
 - relación entre retención y composición de
 - alimentos, 52
- Ahumados, 467
- Alimentación humana,
 - problemas actuales, 10
 - derechos alimentarios del hombre, 11,12
- Alimentos,
 - alteración(es),
 - de origen microbiano, 353
 - consecuencias químicas, 371
 - contenido de nutrientes, 363
 - enzimáticas, 284
 - factores reguladores intrínsecos, 356
 - factores reguladores extrínsecos, 365
 - físicas, 289
 - de los lípidos, 295
 - medidas de prevención, 380
 - parámetros implícitos, 368
 - presencia de sustancias, 364
 - químicas, 284
 - calidad de los, 249
 - calificación legal de los, 25
 - composición,
 - especies químicas, 23
 - concepto de vida útil aplicado a los, 284
 - conservación de los, 385
 - mediante aplicación de calor, 419
 - por métodos químicos, 461
 - por reducción del contenido acuoso, 433
 - de origen vegetal, fuentes de antioxidantes, 243
 - desarrollo conceptual del término, 21
 - el color de los, 179
 - el olor de los, 193
 - el sabor de los, 186
 - emergentes, 458
 - emulsiones, 199
 - enfermedades de origen biótico transmitidas por,
 - 509
 - estabilidad, 279
 - incidencia de la actividad del agua, 53
 - favor de los, 200
 - geles para, 198
 - irradiación de los, 450
 - liofilización, 441
 - nuevas tecnologías de conservación, 449
 - objetivos de la ciencia de los, 12
 - predicción de la vida útil, 286
 - presurización de los, 457

- principales tipos comercializados, 26
 - alimentos cómodos, 36
 - alimentos con fines o característica peculiares, 3, 6
 - platos preparados, 35
 - productos frescos, 29
 - productos appertizados, 30
 - productos congelados, 30
 - productos envasados bajo vacío, 31
 - productos en atmósfera modificadas, 31
 - productos envasados en atmósferas modificadas, 31
 - productos tratados con calor y con vacío, 32
 - productos texturizados, 34
- propiedades saludables, 223
 - actividad potencial, 224
- propiedades tecnológicas, 205
 - de asociación, 211
 - de estructuración, 211
 - de hidratación, 206
 - de superficies interfaciales, 215
- refrigerados, control de calidad en los, 403
- seguridad de los, 493
- textura de los, 195
- tipos de proteínas presentes en los, 62
- toxicología de algunos componentes, 545
- Almidón de arroz, 237
- Alteración hidrolítica, 296
- Aminoácidos,
 - esenciales,
 - patrón de, 160
 - estructuras,
 - propiedades de interés bromatológico vinculado a las, 65
 - funcionalidad saludable, 227
 - no polares, 58
 - polares
 - con cargas positivas, 59
 - con cargas negativas, 59
 - sin carga, 58
 - polares, sin carga, 58
- Antioxidantes,
 - alimentos de origen vegetal, fuentes de, 243
- Autooxidación,
 - lípidos, 298
- Azúcares,
 - caramelización de los, 343
 - uso de polioles derivados de, 103
- Betalainas,
 - estructura química, 185
- Bromatología,
 - concepto, 3
 - historia, 4
 - etapa naturalista, 5
 - etapa químico-analítica, 7
 - etapa tecnológico-legal, 8
- Calidad de los alimentos, 249
 - el análisis como elemento auxiliar del, 267
 - enzimático, 270
 - físico-químico, 268
 - microbiológico, 272
 - sensorial, 272
 - fases de aplicación del sistema, 261
 - generación de la, 261
 - identificación y control de puntos críticos, 264
 - implantación de un sistema de análisis de riesgos, 264
 - principales aspectos de la, 251
 - nutricionales, 251
 - sanitarios, 256
 - sensoriales, 253
 - programación de la, 257
 - aseguramiento, 257
 - control, 257
 - gestión, 257
 - tipos de, 250
- Calificación legal de alimentos, 25
- Carbohidratos,
 - estructuras de bajo peso molecular, 78
 - funciones,
 - dietéticas, 164
 - nutricionales, 164
 - propiedades saludables de algunos, 237
 - almidón de arroz, 237
 - fibra dietética, 240
 - oligosacáridos hipoenérgicos, 239
 - polisacáridos no almidones, 240
 - sustancias prebióticas, 238
- Carragenatos,
 - estructuras básicas de los diferentes tipos, 101
- Catión flavilio,
 - estructura, 184
- Clorofila,
 - estructura química, 182
- Código Alimentario Español, 14
 - contenido del, 15
- Color de los alimentos, 179
- Composición de alimentos,
 - funciones vinculadas a las especies químicas, 23
 - relación entre retención de agua, 52

- Compuestos eicosanoides,
 - efectos saludables, 236
 - formación de, 236
- Congelación,
 - cambios durante el proceso de, 417
 - conservación de alimentos, 406
 - equipos de, 412
- Conservación de alimentos, 385
 - mediante aplicación de calor, 419
 - efectos sobre enzimas y microorganismos, 422
 - efectos sobre los componentes químicos, 424
 - métodos, 425
 - por aplicación de bajas temperaturas, 395
 - principales tecnologías, 390
 - principios generales de, 388
 - producción de frío, 397
 - refrigeración como sistema de, 399
 - sistemas de enfriamiento, 397
 - transferencia de calor, 420
 - nuevas tecnologías con fundamentos físicos, 449
 - emergentes, 458
 - irradiación, 450
 - presurización, 457
 - por métodos químicos, 461
 - adobos, marinadas y escabeches, 470
 - ahumados, 467
 - conservadores químicos, 476
 - encurtidos, 469
 - fermentaciones, 472
 - glaseados, 471
 - grageados, 471
 - salazones y curados, 464
 - por reducción del contenido acuoso, 433
 - concentración, procesos de, 446
 - liofilización, 441
 - mecanismos, 435
 - procesos, 438
 - ultracongelación como sistema de, 406
- Conservadores químicos, 476
- Control de calidad,
 - en alimentos refrigerados, 403
- Denominación de origen,
 - normas sobre, 18
- Derechos
 - alimentarios del hombre, 10-13
- Desecación, La, 289
- Emulsiones alimenticias, 199
- Encurtidos, 469
- Enfermedades transmitidas por alimentos, de
 - origen biótico, 509
 - bacilos gram-negativos no esporulados, 511, 520
 - bacilos gram-positivos esporulados, 522
 - cocos gram-positivos no esporulados, 527
 - encefalopatías espongiiformes, 544
 - micotoxicosis, 530
 - parasitosis, 535
 - virosis, 540
- Enranciamiento oxidativo,
 - lípidos, 298
- Enzimas,
 - lipoxidadas,
 - reacciones implicadas en el enranciamiento, 315
 - lipoxigenasas,
 - oxidación por, 314
- Escabeches, 470
- Estabilidad de los alimentos, 279
 - concepto de vida útil, 284
 - predicción de la vida útil, 286
 - tipo de alteraciones, 280
 - principales causas, 281
- Esteroles,
 - estructura, 121
 - propiedades, 120
- Etiquetado,
 - información obligatoria, 17
- Fermentaciones, 472
 - aplicaciones industriales, 475
- Fibra dietética, 240
- Flavor de los alimentos, 200
- Fosfoglicéridos,
 - propiedades, 119
- Frío,
 - producción de, 397
 - sistemas de, 397
- Geles alimenticios, 198
- Glaseados, 471
- Gomas, 94
- Grageados, 471
- Hidratación,
 - propiedades de, 206
 - sistemas alimentarios líquidos, 209
 - sistemas alimentarios sólidos, 208
- Hidratos de carbono,
 - origen de los, 105
- Hidroperóxidos,
 - procesos secundarios de la degradación, 313

- Irradiación de los alimentos, 450
- Isotermas,
 de adsorción, 49
 de desorción, 49
 de sorción,
 fenómeno de histerésis, 49
 y temperatura, 51
- Legislación alimentaria, 13
- Liofilización, 441
- Lípidos, 107
 alteraciones de los, 295
 antioxidantes, 307
 autooxidación, 298
 enranciadados,
 productos responsables del flavor, 311
 enranciamiento cetónico, 316
 enranciamiento oxidativo, 298
 funciones nutricionales, 166
 modificados no absorbibles, 123
 estructura, 124
 polimerizaciones provocadas por el calor, 319
 posibles mecanismos de oxidación, 297
- Lipolisis, 296
- Maillard, reacción de, 336
- Marinadas, 470
- Micronutrientes,
 aspectos nutricionales, 170
- Minerales
 esenciales,
 aspectos nutricionales, 175
 recomendaciones de ingesta diaria, 171
- Mioglobina
 estructura química, 182
- Mucilagos, 94
- Normas de calidad, 14, 17
- Nutrientes,
 ácidos grasos, 166
 agua, 156
 energéticos, interrelación metabólica, 149
 funciones fisiológicas y bioquímicas, 147
 guías alimentarias, 150
 ingestas recomendadas, 150
 lípidos, 166
 minerales esenciales, 175
 proteínas, 157
 vitaminas con importancia dietética, 172
- Oligosacáridos hipoenérgicos, 239
- Olor de los alimentos, 193
- Pardeamiento,
 enzimático,
 mecanismos de reacción, 326
 modos de prevenir la alteración, 329
 sistemas responsables, 324
 sustratos del, 323
 principales, 325
 no enzimático, 335
 caramelización de los azúcares, 343
 factores que condicionan el desarrollo, 347
 medidas de prevención, 350
 oxidación del ácido ascórbico, 345
 reacción de Maillard, 336
- Péptidos,
 estructuras de los, 66
 propiedades de interés bromatológico vinculadas
 a, 66
 funcionalidad saludable, 227
- Pigmentos carotenoides,
 estructura química, 184
- Poliolos,
 estructura de los, 104
 usos derivados de azúcares, 103
- Polisacáridos
 de reserva, 85
 estructurales, 90
 gomas, 94
 mucilagos, 94
 no almidones, 240
 propiedades vinculadas a la estructura de los, 93
- Presurización de los alimentos, 457
- Propiedades
 nutricionales, 145
 saludables de los alimentos, 223
 sensoriales, 177
 principales atributos, 178
 tecnológicas de los alimentos, 205
- Proteínas, 55
 clasificación de las, 61
 estabilización de la estructura molecular, 60
 estructuras de las,
 modificaciones, 73
 propiedades de interés bromatológico
 vinculadas a, 67
 función plástica de las, 157
 funcionalidad saludable, 227
 patrón de aminoácidos esenciales, 160
 principales propiedades tecnofuncionales, 71
 reactividad de la molécula, 61

- tipos presentes en los alimentos, 62
- Puntos críticos,
 - control, 264
 - identificación, 264
- Reacción de Maillard, 336
- Recomendaciones
 - de ingesta diaria,
 - de minerales, 171
 - de vitaminas, 171
- Refrigeración,
 - aplicaciones del almacenado bajo, 404
 - conservación de alimentos, 399
 - control de calidad, 403
- Reglamentaciones,
 - técnico-sanitarias,
 - de carácter general, 16
 - de carácter particular, 16
 - técnico-sanitarias y normas de calidad, 14
- Sabor de los alimentos, 186
 - modificaciones, 189
- Salazones y curados, 464
- Seguridad de los alimentos, 493
 - aspectos higiénicos, 498
 - aspectos toxicológicos, 496
 - clasificación de los riesgos, 506
- Sistemas alimentarios,
 - líquidos, 209
 - sólidos, 208
- Sol alimenticio, 199
- Sustancias,
 - con actividad antioxidante,
 - beneficios saludables, 242
 - con sabor umami,
 - estructuras químicas, 193
 - edulcorantes,
 - relación de, 191
 - fitoquímicas,
 - propiedades saludables, 244
 - prebióticas, 238
- Textura de los alimentos, 195
 - características mecánicas, 197
- Tipos de alimentos comercializados, principales, 26
 - cómodos, 36
 - con fines o características peculiares, 36
 - platos preparados, 35
 - productos,
 - apertizados, 30
 - congelados, 30
 - envasados bajo vacío, 31
 - envasados bajo atmósferas modificadas, 31
 - frescos, 29
 - texturizados, 34
 - tratados con calor y con vacío, 32
- Toxicología,
 - de algunos componentes alimentarios, 545
 - de origen animal, 547
 - de origen vegetal, 552
 - químicos ambientales, 564
 - sustancias formadas en operaciones tecnológicas, 561
- Ultracongelación,
 - aplicaciones de la, 413
 - conservación de alimentos, 406
- Vitaminas,
 - recomendaciones de ingesta diaria, 171
- Xantofilas,
 - estructura química, 184