



## QUÍMICA GENERAL 2019

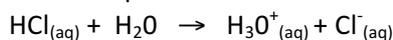
### TRABAJO PRÁCTICO DE AULA N° 9: EQUILIBRIO IÓNICO

#### I- INTRODUCCIÓN

##### ÁCIDOS Y BASES:

##### **Arrhenius (1883)**

Ácido: Sustancia que en disolución acuosa libera protones ( $H^+$ ) o iones hidronios ( $H_3O^+$ ).



Base: Sustancia que en disolución acuosa libera o genera o disocia hidroxilos u oxhidrilos ( $OH^-$ ).



##### **Brönsted-Lowry (1923)**

Ácido: Especie que tiende a ceder un ión  $H^+$  o  $H_3O^+$

Base: Especie que tiende a aceptar un ión  $H^+$

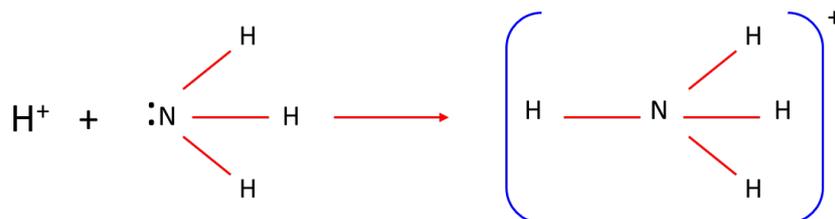


Par ácido-base conjugada:  $CH_3COOH/CH_3COO^-$

##### **Lewis (1923)**

Ácido: Especie que puede aceptar pares de electrones.

Base: Especie que puede aportar pares de electrones. **Ejemplo:  $NH_3$**



Las sustancias que tornan (viran) al rojo el papel de tornasol (indicador ácido-base) se llaman ácidos. Las sustancias que tornan al azul el papel de tornasol se llaman bases.

##### POLARIDAD Y PUENTES DE HIDRÓGENO

El  $H_2O$  es una molécula neutra. De los elementos que la componen el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno. Al encontrarse bastante separados en la tabla periódica la diferencia de electronegatividad entre ellos es amplia. Esto provoca que el oxígeno atraiga con más fuerza los electrones compartidos hacia él, lo que genera una distribución asimétrica de densidad de carga eléctrica. En torno al átomo de oxígeno queda una densidad de carga eléctrica negativa y en torno a los hidrógenos queda una densidad de carga positiva. Esta diferencia de carga permanente en las respectivas densidades de la molécula es lo que se denomina dipolo. Una molécula es polar cuando sus dipolos son permanentes.

El  $H_2O$  es un dipolo, por lo tanto tiene polaridad. Al formarse los dipolos, los hidrógenos quedan desprovistos de sus electrones. Entonces, el átomo de hidrógeno busca una compensación con



el oxígeno de otra molécula cercana. Entre ellos se produce una interacción electrostática. Se forma el llamado “**enlace o puente de hidrógeno**” que es un tipo de interacción intermolecular donde los oxígenos se comportan como donantes de electrones y los hidrógenos como aceptores.

La estructura del agua muestra que por cada molécula existen 2 hidrógenos y 2 pares aislados de electrones, por lo tanto cada hidrógeno podrá establecer una interacción del tipo “puente de hidrógeno” con un par de electrones aislados de otro oxígeno y cada par de electrones aislados podrá interactuar con otro hidrógeno.

### GRADO DE IONIZACIÓN

La ionización del agua también es conocida como hidrólisis o como proceso de autoionización. El agua como disolvente también se ioniza o disocia (separa en partículas con carga) pero lo hace en un porcentaje muy bajo. Sólo unas cuantas moléculas se disocian en iones hidrogeniones ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ), simplificados en protones ( $\text{H}^+$ ), y en iones oxhidrilos o hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ), resultado de la reacción química:



De aproximadamente 500.000.000 de moléculas de agua sólo una se disocia. El agua es un electrolito débil.

La concentración de protones en el agua es igual a  $10^{-7}$  M y el pH es igual a 7.  
 $\text{pH} = -\log [10^{-7}] = 7$ .

Como en la hidrólisis del agua por cada mol de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  se produce un mol de  $\text{OH}^-$ , la concentración de hidroxilos también es igual a  $10^{-7}$  M y el pOH también será igual a 7.

Cuando el pH y el pOH son iguales la disolución es neutra.

La hidrólisis del agua es una reacción que alcanza el equilibrio químico. Por lo tanto se puede plantear la constante para este equilibrio. Esta constante se llama constante de ionización del agua o producto iónico del agua y se representa como  $K_w$  (K water).

### PRODUCTO IÓNICO DEL AGUA:

Existe una variable que relaciona la fuerza con la que un compuesto químico se ioniza. De forma general dicha variable es llamada K (constante), pero en el caso del agua es  $K_w$ . Ésta es constante para una determinada temperatura. Según la ecuación química de ionización de agua:



$K_w$  está definida de la siguiente manera (25 °C):

$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = 3,24 \times 10^{-18}$$

$[\text{H}_3\text{O}^+]$  = Concentración Molar de hidrogeniones o  $[\text{H}^+]$  = Concentración Molar de protones

$[\text{OH}^-]$  = Concentración Molar de hidroxilos u oxhidrilos.

$[\text{H}_2\text{O}]$  = Concentración del agua (elevada al cuadrado porque en la reacción ajustada el coeficiente estequiométrico es 2).

El valor de  $K_c$  para el proceso de autoionización del agua es relativamente pequeño, lo cual indica que el equilibrio está desplazado hacia reactivos.



Si se cuenta con 1 litro de agua y considerando que su densidad es 1Kg/l, la concentración es de 55,5 mol/l:

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1\text{Kg} / 1\text{l} \times 1000\text{g} / 1\text{Kg} \times 1 \text{ mol} / 18 \text{ g} = 55,5 \text{ M}$$

Dado que la concentración del agua permanece prácticamente constante, es posible reordenar matemáticamente la expresión de Kc:

$$K_c \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-] = 3,24 \times 10^{-18}$$

$$K_c \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = 3,24 \times 10^{-18} \cdot [55,5]^2 = 1 \times 10^{-14} = K_w$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HO}^-] = 1 \times 10^{-14}$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{HO}^-] = 1 \times 10^{-14}$$

Si se aplica la función -log a Kw:

$$-\log K_w = (-\log[\text{H}_3\text{O}^+]) + (-\log[\text{HO}^-]) = 14$$

Por lo tanto, haciendo extensiva la función, se obtiene:

$$\mathbf{pK_w = pH + pOH = 14}$$

El agua es una sustancia anfótera, en ocasiones se comporta como un ácido por lo tanto cede sus hidrogeniones y en otras ocasiones como una base aceptándolos, esto la hace muy útil en aquellas disoluciones en las que se produce intercambio de protones.

El bajo grado de ionización del agua se demuestra, por ejemplo, en la conductividad eléctrica. Dicha propiedad se trasmite a través de iones, el agua pura al estar tan poco disociada no tiene suficientes iones capaces de transportar electricidad, haciendo que se comporte como una sustancia con escasa capacidad para conducir la electricidad. No obstante, si se tiene una solución acuosa en la cual se encuentran disueltas sales, al haber mayor número de iones disueltos, se conducirá la electricidad.

La Kw establece una relación entre  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  y  $[\text{HO}^-]$  lo cual nos permite definir una escala de pH o pOH.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ ó}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \text{ ó}$$

$$\text{pH} = \log 1 / [\text{H}^+]$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{HO}^-] \text{ ó}$$

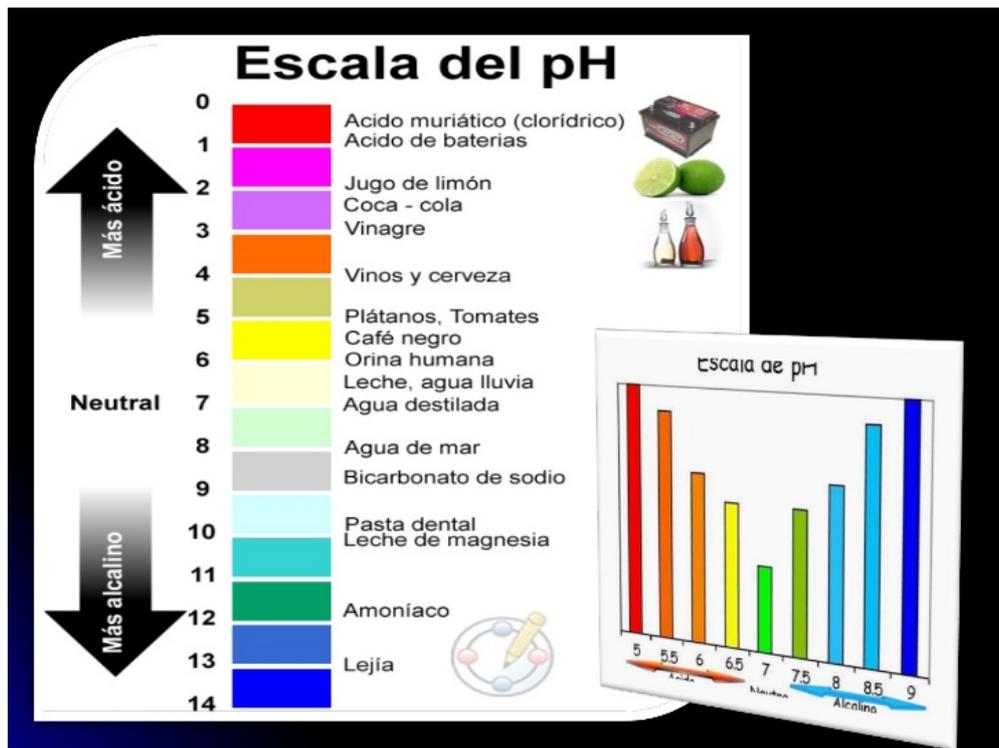
$$\text{pOH} = \log 1 / [\text{OH}^-]$$

Siendo las concentraciones de  $[\text{H}^+]$  o de  $[\text{OH}^-]$  molares, es decir con unidades mol/l.

#### CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE pH

El pH es un método sencillo determinar el grado de acidez o basicidad de una solución. Su escala se establece desde el 0 al 14.

## ESCALA DE pH



## EQUILIBRIO IÓNICO

Los equilibrios químicos en los cuales algunas de las especies que reaccionan son iones, se llaman equilibrios iónicos. El disolvente más común de los electrolitos es el agua y es el disolvente usual en la naturaleza (disolvente universal). La mayoría de las reacciones químicas tienen agua como disolvente. En lo sucesivo se trabajará principalmente con reacciones ácido-base, que involucran disoluciones acuosas de baja concentración molar de soluto, (menos de 1 mol/l) debido a que las leyes del equilibrio se cumplen mejor cuanto más diluidas son las disoluciones.

Es importante recordar el concepto de **electrolito**. Son sustancias que al disolverse en agua se disocian en sus iones. La fortaleza de un electrolito depende del número de iones que existen en la disolución, que a su vez depende del soluto y del disolvente, así como de sus concentraciones y de la temperatura. Los electrolitos se clasifican en:

- **Electrolitos fuertes:** cuando el compuesto en solución se encuentra completamente ionizado, es decir, disociado en sus iones positivos (cationes) y negativos (aniones) y la conductividad eléctrica de la disolución acuosa resultante es alta.
- **Electrolitos débiles:** Cuando el compuesto en disolución acuosa se encuentra parcialmente ionizado. Es decir, que se establece un equilibrio entre las moléculas neutras (forma molecular) y los iones producto de la disociación iónica. Los electrolitos débiles producen disoluciones acuosas de baja conductividad eléctrica.



### EQUILIBRIO IÓNICO

En numerosos casos, el proceso de disolución de las sustancias implica la disociación de las moléculas con formación de iones.

Los procesos de disociación electrolítica son reversibles y la expresión de la composición del sistema en equilibrio puede representarse de manera semejante a los de cualquier situación de equilibrio químico.

Los electrolitos débiles sufren procesos de disociación reversibles. Por ejemplo, el equilibrio de disociación del ácido acético en agua, representado de forma simplificada es:



$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{AcH}][\text{H}_2\text{O}]}$$

Reordenando la expresión matemática de la constante de equilibrio ( $K_c$ ) se obtiene la constante de disociación del ácido ( $K_a$ ):

$$K_c \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{AcH}]}$$

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{AcH}]}$$

***El valor de  $K_a$  indica el grado de disociación del electrolito que es una medida de la extensión con que ocurre el proceso de disociación.***

Para representar los equilibrios de disociación se convendrá lo siguiente:

Para electrolitos **Fuertes y Solubles** se representarán los iones y se considerará que se ionizan totalmente:



Para electrolitos **Débiles y Solubles** se representarán las moléculas en equilibrio con sus iones. Se considerará que los electrolitos débiles se ionizan parcialmente estableciendo el equilibrio iónico y se planteará la constante de equilibrio en cada caso:



### TITULACIONES ÁCIDO-BASE

Se utilizan para determinar la concentración de un ácido o de una base en una disolución.

Una disolución que contiene una concentración conocida de base (o ácido) se hace reaccionar con una disolución de ácido (o de base) de concentración desconocida, hasta alcanzar el punto de equivalencia donde se cumple que  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ .

### INDICADORES:

Son sustancias orgánicas con propiedades ácido-base de carácter débil y cuyas formas ionizadas (par conjugado) presentan coloraciones distintas o diferenciadas pudiendo existir una gama amplia de colores en la transición. El mejor indicador es el potenciométrico (electrodo de vidrio) que se utiliza para determinar el pH pero se usan con frecuencia indicadores químicos.



## II- GUÍA DE ESTUDIO

1. Defina ácido base de acuerdo a los distintos criterios expuestos en la bibliografía.
2. Mencione las características que diferencian a los ácidos de las bases.
3. Complete:
  - a. Escriba las reacciones de disociación de los siguientes ácidos fuertes: ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido perclórico.
  - b. Escriba las reacciones de disociación de los siguientes álcalis o bases solubles fuertes: hidróxido de litio, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio e hidróxido de calcio.
4. Indique en qué se diferencia un ácido fuerte de un ácido débil.
5. Defina una solución electrolítica.
6. Escriba la constante del producto iónico del agua. Indique cuál es su valor a 25 °C.
7. Explique brevemente cómo surge la escala de pH y qué representa.
8. Escriba las expresiones que permiten determinar el pH de un ácido fuerte y de un ácido débil.
9. Realice las deducciones para obtener las expresiones de las constantes de acidez y de basicidad.
10. Explique brevemente qué entiende por titulación o valoración.
11. Represente una curva de titulación entre un ácido fuerte y una base fuerte e indique en la misma donde se ubicarían el punto final y el punto de equivalencia.
12. Mencione en qué difieren el punto de equivalencia y el punto final.
13. Defina indicadores. Indique qué función cumplen.

## III- RESOLVER

1. Una solución de ácido clorhídrico tiene un  $\text{pH} = 1$ . Calcule la concentración de protones.
2. Una solución de ácido perclórico tiene una concentración 0,02 M. Calcule su pH.
3. Una solución de ácido sulfúrico se prepara disolviendo 25 g del mismo en 250 mL de solución. Calcule la concentración de protones de dicha solución. Si la solución inicial se diluye 5 veces, indique cuál será el pH de la nueva solución.
4. Una solución de soda cáustica, NaOH, resulta tener un  $\text{pH} = 13$ . Calcule la  $[\text{OH}^-]$  de la misma.
5. Se prepara una solución de potasa cáustica, KOH, de concentración 0,01 N. Calcule el pH y pOH de dicha solución.



6. Se prepara una solución de hidróxido de litio disolviendo 20 g de soluto en 500 mL de solución. Calcule su pH.
7. Determine la concentración de oxhidrilos de una solución 0,02 M de hidróxido de calcio.
8. Se disponen de los siguientes ácidos débiles en agua a 25 °C:  
Ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )  $K_a: 1,8 \times 10^{-5}$ , ácido cianhídrico ( $\text{HCN}$ )  $K_a: 4,9 \times 10^{-10}$  y ácido fluorhídrico ( $\text{HF}$ )  $K_a: 6,8 \times 10^{-4}$ .
- Ordene los valores de  $K_a$  de mayor a menor.
  - Mencione cuál de los tres ácidos débiles citados generará mayor concentración de protones en solución acuosa.
  - Prediga cuál de ellos generará la solución de menor valor de pH.
  - Determine cuál será el pH de una solución de ácido acético  $1 \times 10^{-3}$  M.
9. A 5 mL de ácido clorhídrico (densidad 1,19 g/mL y concentración 37 %m/m) se le adiciona agua hasta lograr un volumen de solución de 200 mL. Calcular el pH de la solución de ácido resultante.
10. Se disponen de las siguientes bases débiles en agua a 25 °C:  
Piridina ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ )  $K_b: 1,7 \times 10^{-9}$ , ión bisulfuro ( $\text{HS}^-$ )  $K_b: 1,8 \times 10^{-7}$ , ión carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )  $K_b: 1,8 \times 10^{-4}$ , amoníaco ( $\text{NH}_3$ )  $k_b: 1,8 \times 10^{-5}$  y ión hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ )  $K_b: 3,3 \times 10^{-7}$ .
- Ordene los valores de  $K_b$  de mayor a menor.
  - Mencione cuál de las bases débiles citadas generará mayor concentración de oxhidrilos en solución acuosa.
  - Prediga cuál de ellas generará la solución de mayor valor de pH.
11. Ordene en orden creciente de pH las siguientes soluciones:
- $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-6}$  M
  - $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-10}$  M
  - pH = 2
  - $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-3}$  M
  - pH = 7
  - pOH = 5
  - pOH = 1
12. Calcule la concentración de protones  $[\text{H}^+]$  para cada una de las siguientes soluciones e indique si la solución es ácida, básica o neutra:
- $[\text{H}^+] = 0,0005$  M
  - $[\text{OH}^-] = 2,5 \times 10^{-5}$  M
  - $[\text{OH}^-] = 2 \times 10^{-10}$  M
  - $[\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7}$  M
  - $[\text{H}^+] = 0,01$  M
  - $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-7}$  M