

## Objetivos

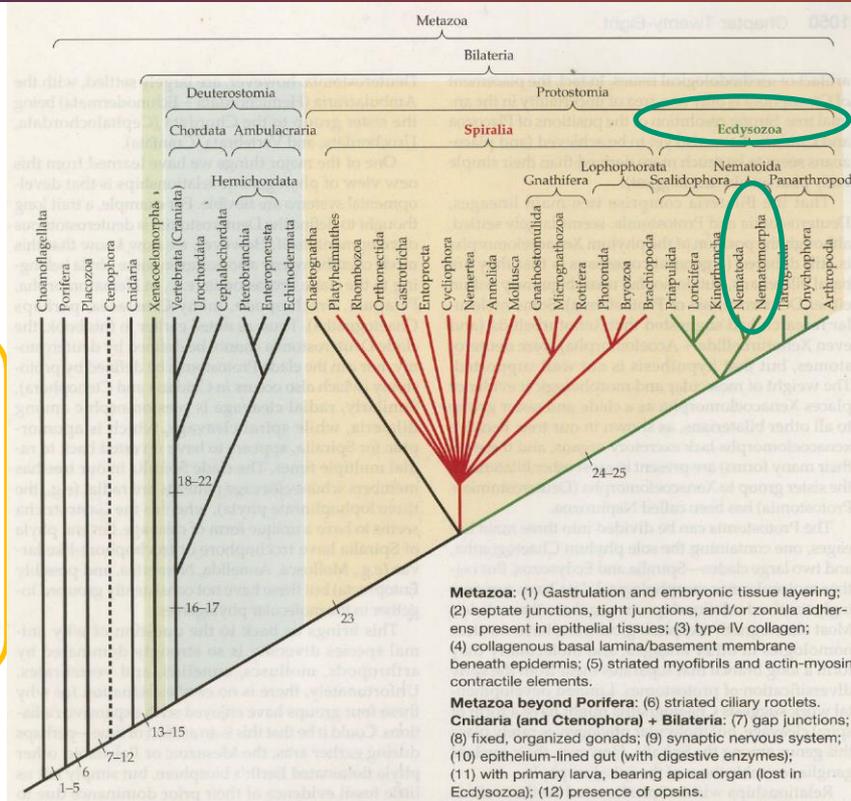
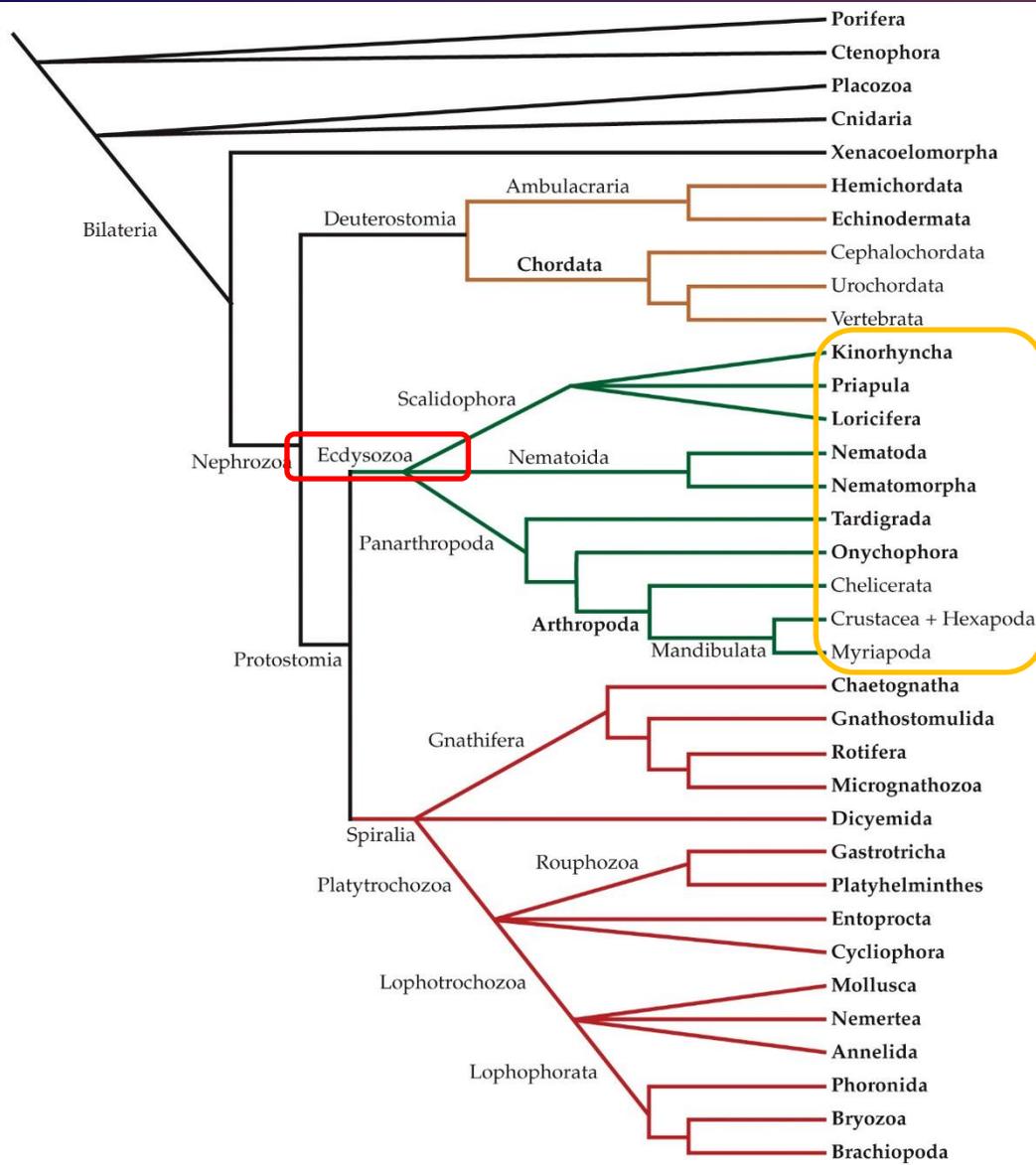
### CONOCER:

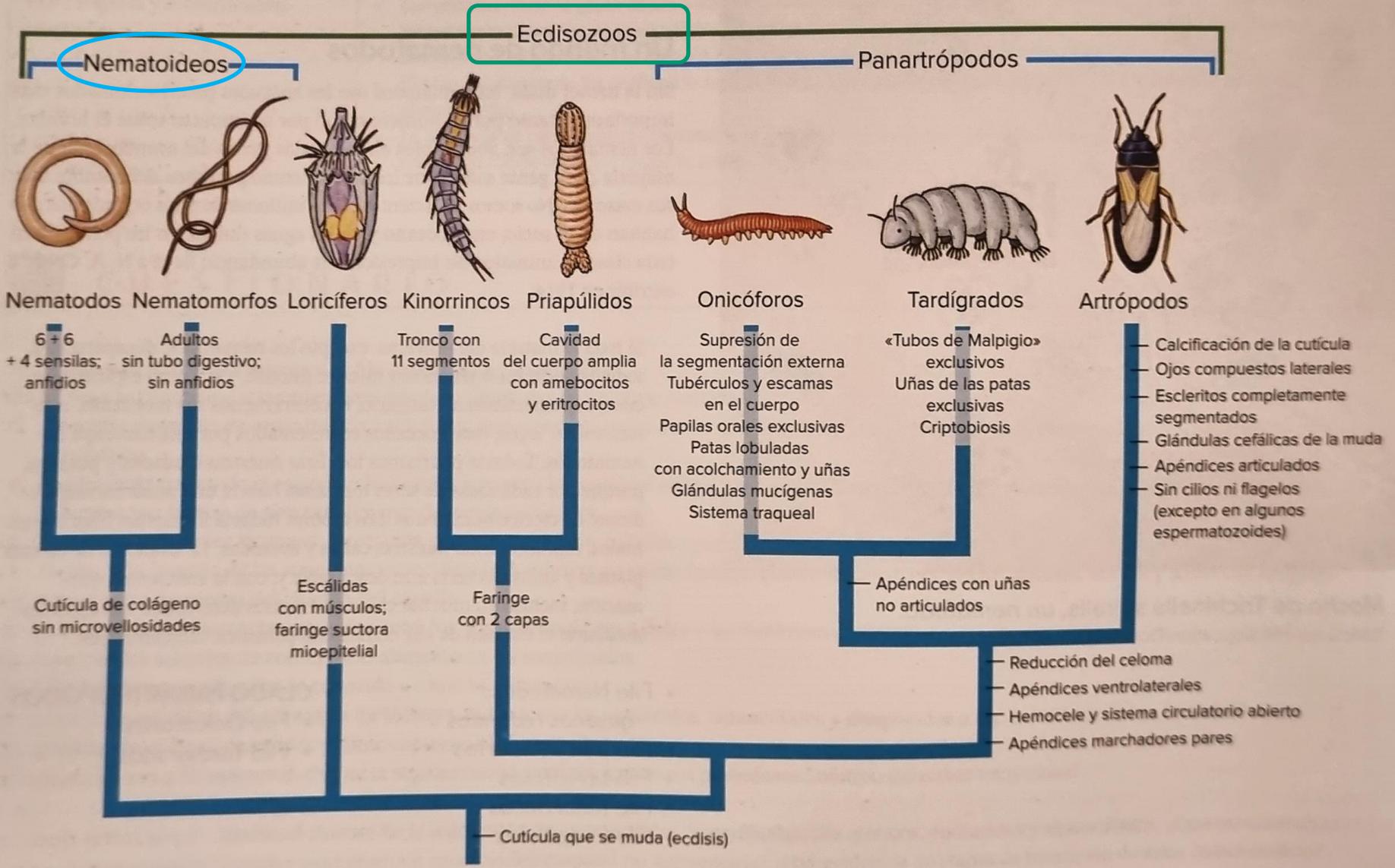
- la posición del filo (phyla) en el Reino Animal
- las características biológicas
- la clasificación del filo
- la importancia ecosistémica y sanitaria

[Nematodes: The Worm That Sculpted The World \(youtube.com\)](#)



# A phylogeny of Metazoa





**Figura 18.1** Cladograma que representa una hipótesis de las relaciones entre los filos de ecdisozoos. Los caracteres mostrados aquí son un subconjunto de los de Nielsen (1995), Neuhaus y Higgins (2002) y Brusca y Brusca (2003); el carácter de los nematodos de «6 + 6 + 4 sensilas» se refiere a los anillos de papilas sensoriales (sensilas) del extremo anterior.

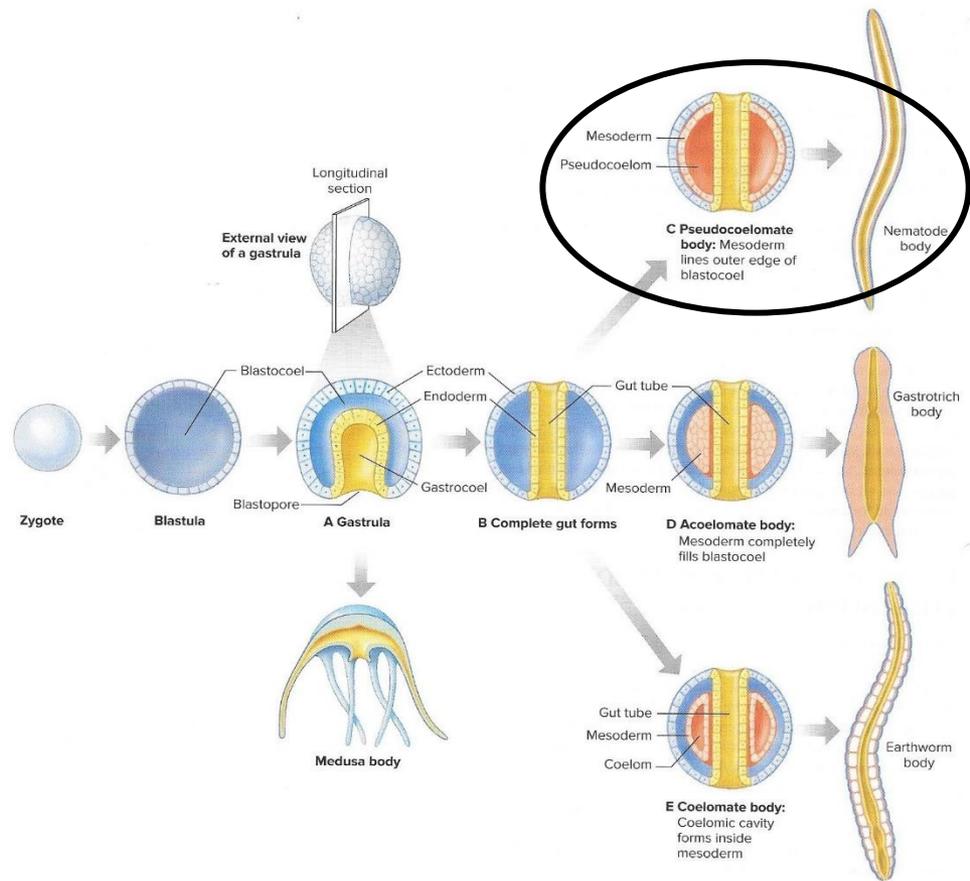


Figure 8.11 A generalized developmental sequence beginning with a zygote. All animals develop to a blastula stage; arrows between stages A and E illustrate possible later developmental sequences. Stages A, C, D, and E are paired with generalized examples of adult animals resulting from each developmental sequence.

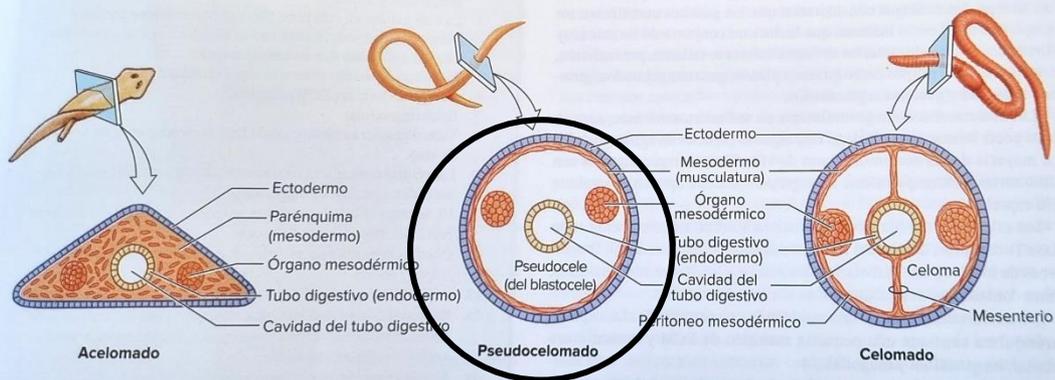
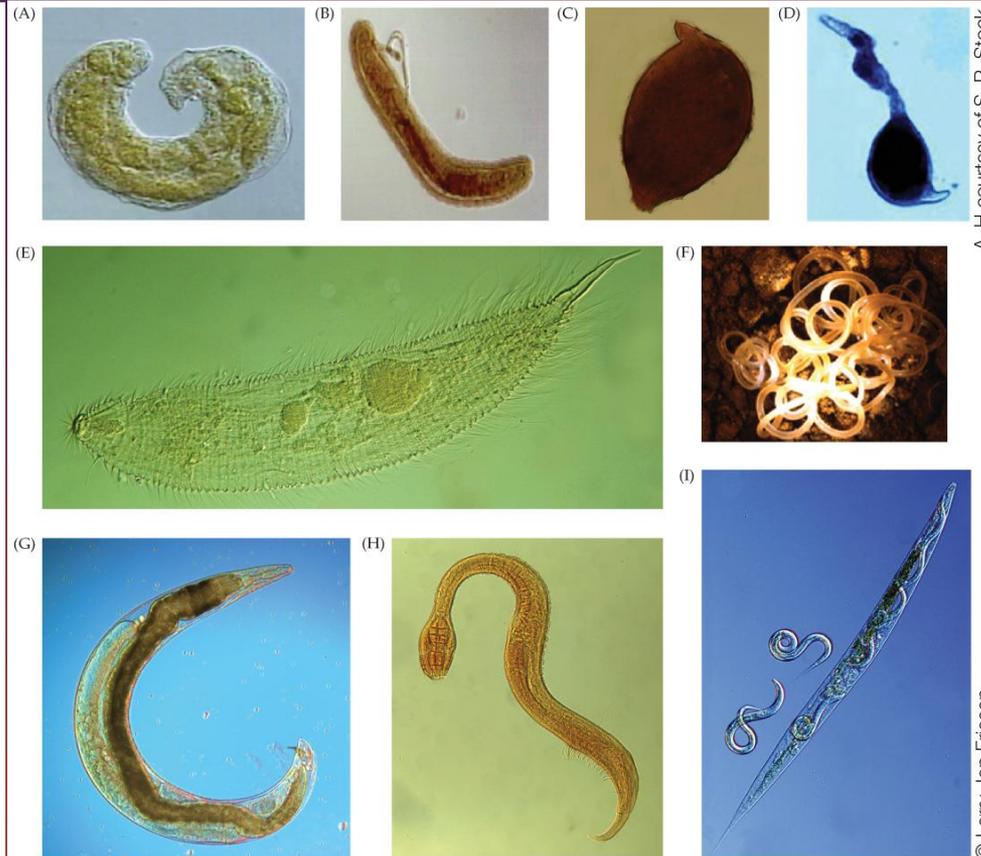


Figura 14.1 Modelos estructurales de acelomados, pseudocelomados y celomados.

## BOX 19A Characteristics of the Phylum Nematoda

1. Triploblastic, bilateral, vermiform, unsegmented, and blastocoelic (or acoelic)
2. Body round in cross section and covered by a layered cuticle (chitin present in the pharyngeal cuticle of some species); growth in juveniles accompanied by cuticular molting until reaching the adult form; generally with four juvenile stages
3. Body wall with only longitudinal muscles (no circular muscles), with muscle arms
4. With unique cephalic sense organs (amphids); some with unique caudal sense organs (phasmids)
5. Complete digestive system; various oral structures arranged in radially symmetrical pattern
6. Most with unique secretory-excretory system, composed of one or two renette cells or a set of collecting tubules
7. Without special circulatory or gas-exchange structures
8. Epidermis cellular or syncytial, forming longitudinal cords housing nerve cords
9. Gonochoristic; wide range of reproductive modes
10. With unique cleavage pattern; not radial or spiral
11. Eutely present in at least some species (or some organs)
12. Found in marine, freshwater, and terrestrial environments, free-living and parasitic, sometimes with complex life cycles



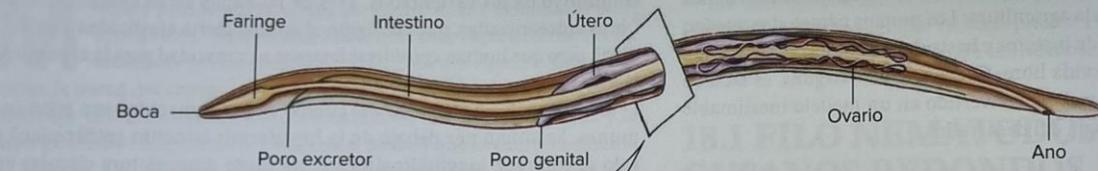
INVERTEBRATES 4e, Figure 19.1  
© 2023 Oxford University Press

A-H courtesy of S. P. Stock

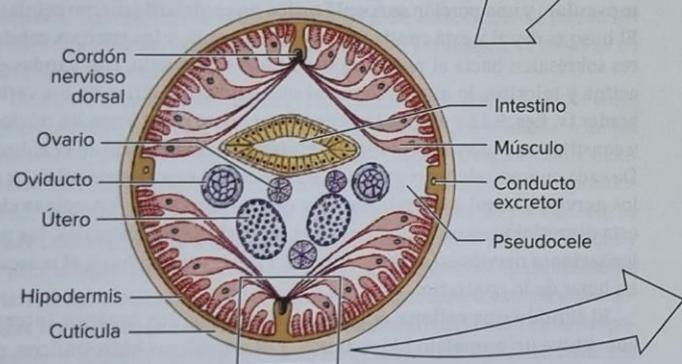
© Larry Jon Friesen



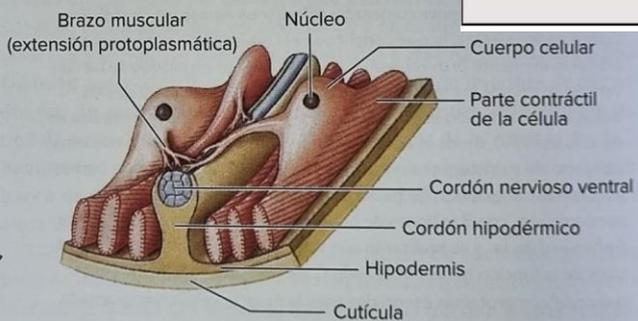
MakeAGIF.com



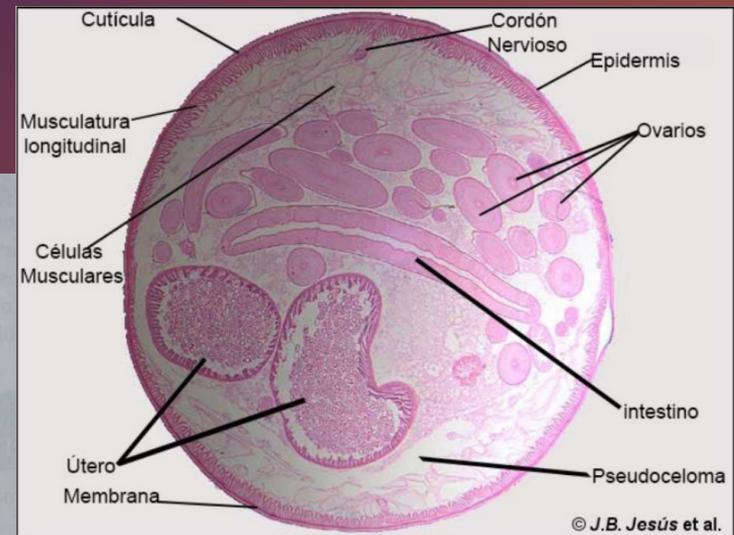
**A Anatomía del nematodo *Ascaris***



**B Sección transversal de *Ascaris***



**C Vista ampliada de las células musculares y del cordón nervioso ventral**



© J.B. Jesús et al.

**Figura 18.2** **A**, Estructura de un nematodo representada por una hembra de *Ascaris*, que tiene dos ovarios y dos úteros que desembocan hacia el exterior mediante un único poro genital. **B**, Sección transversal. **C**, Célula muscular, el huso sobresale de la hipodermis y la prolongación o brazo se extiende hasta el nervio dorsal o el ventral.



*Caenorhabditis elegans*

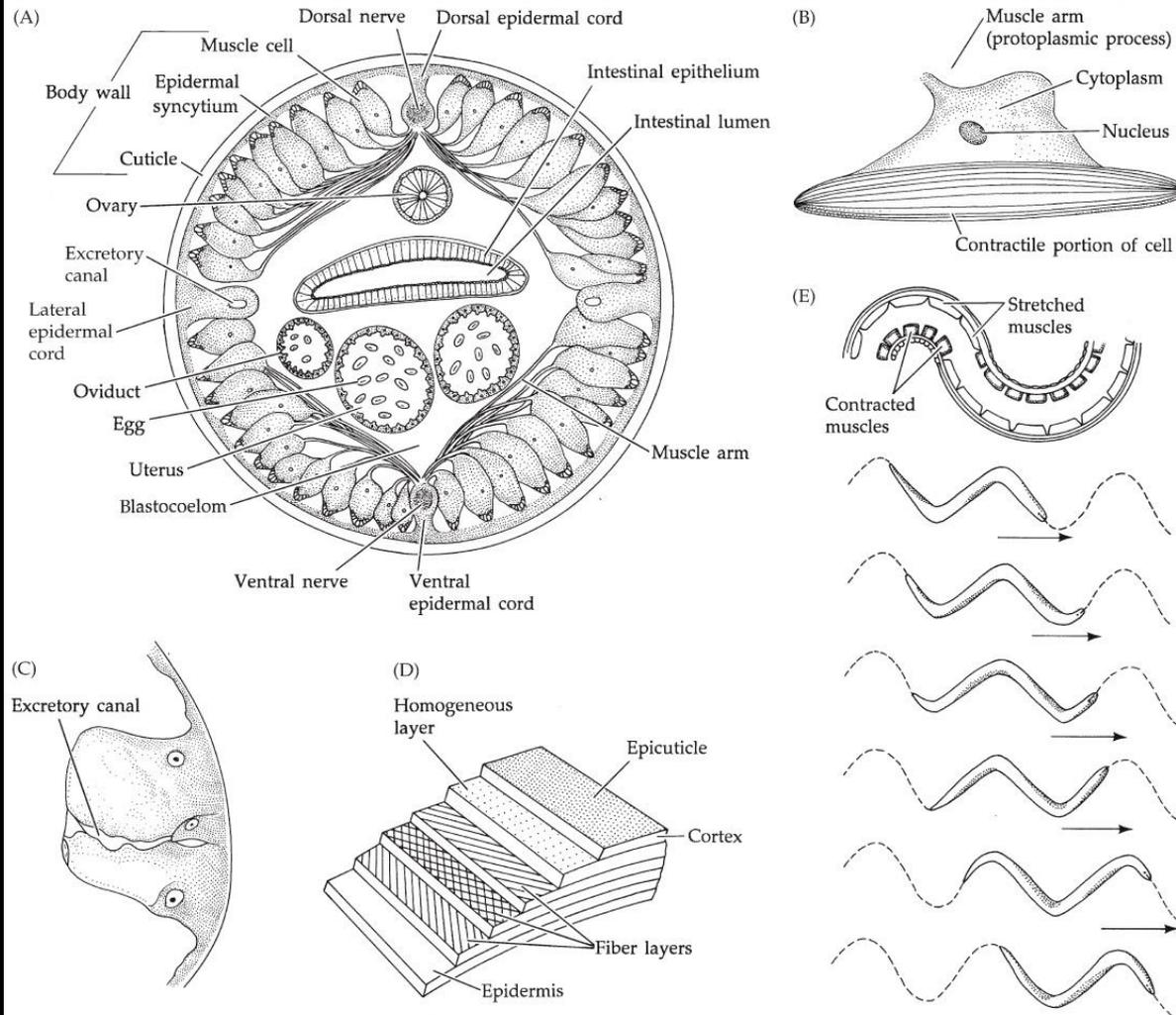
**Tema clave 18.1**

**CIENCIA EXPLICADA**

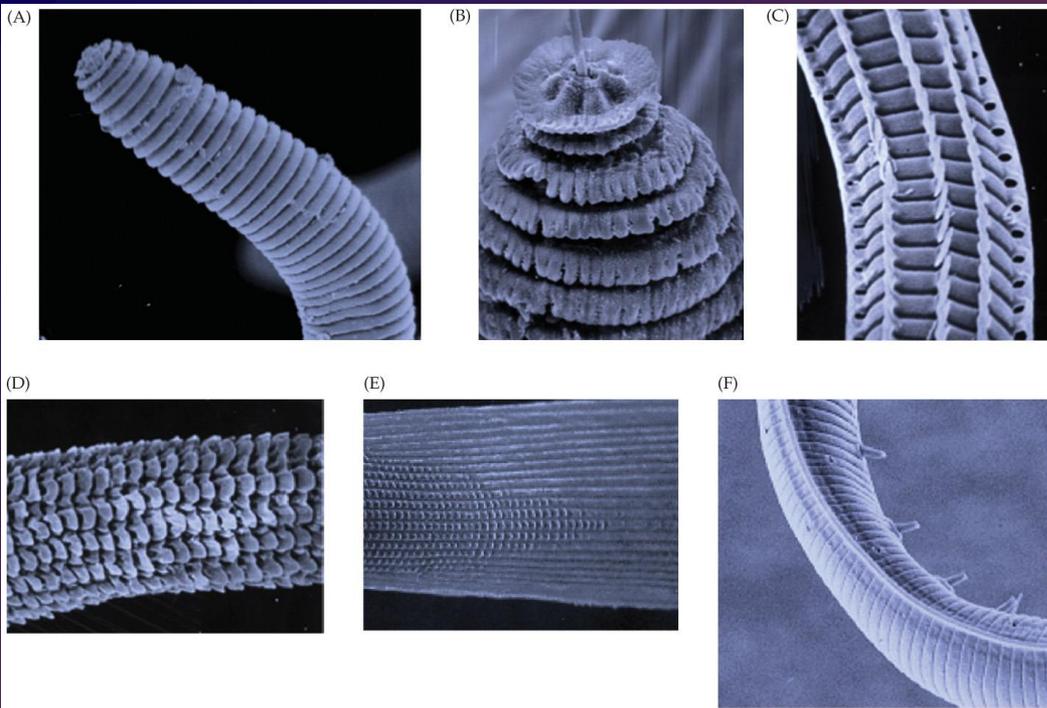
***C. elegans*, un sistema modelo espectacular**

En 1963, Sydney Brenner comenzó a estudiar un nematodo de vida libre, *Caenorhabditis elegans*, lo que constituyó el comienzo de una investigación enormemente provechosa. Actualmente este nematodo se ha convertido en uno de los más importantes modelos experimentales en biología. Se ha podido seguir el origen y destino de todas y cada una de sus células (959), desde el cigoto hasta el adulto, y se conoce el esquema completo de su sistema nervioso, con todas sus neuronas y sus correspondientes conexiones. Se ha mapeado y secuenciado su genoma por completo, con 3 millones de bases que comprenden 19.820 genes. Se han realizado, y se realizarán aún más, muchos descubrimientos básicos de la función génica utilizando *C. elegans*, como el de los genes que codifican proteínas esenciales para la muerte celular programada.

# Selected anatomical and locomotory features of nematodes



## Patrones cuticulares de algunos nematodos y muda...

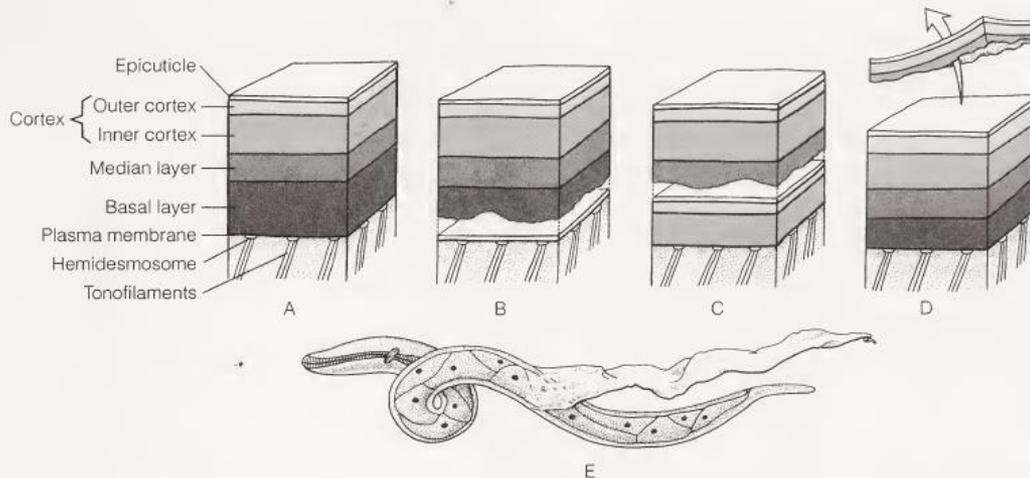


A-F courtesy of S. P. Stock

Todos los nematodos experimentan cuatro mudas durante su desarrollo. La serie de mudas se puede expresar del siguiente modo:  
 HUEVO → L1/J1 + M1 → L2/J2 + M2 → L3/J3 + M3 → L4/J4 + M4 → ADULTO

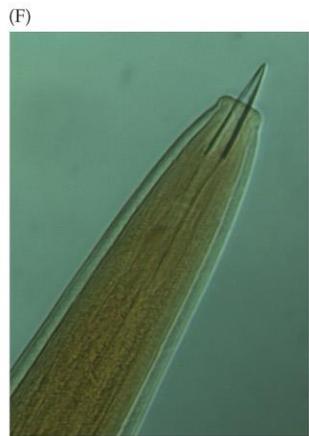
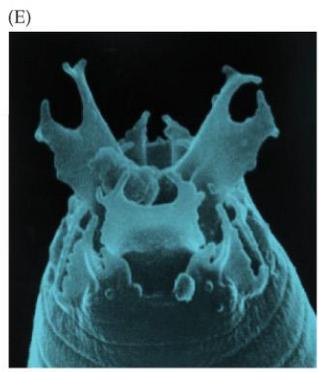
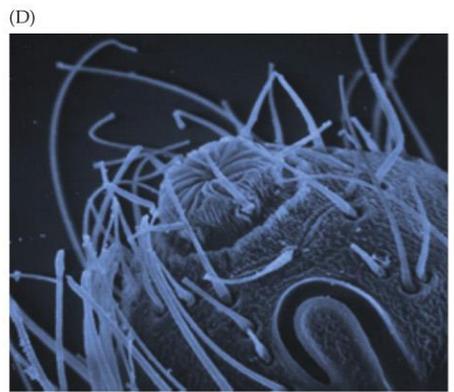
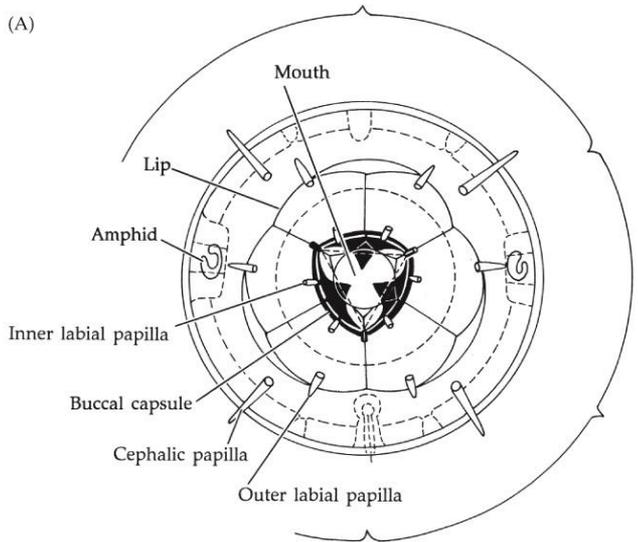
En general, la L1 y L2 se nutren de materia orgánica y bacterias (son saprófagos o bacteriófagos). La L3 no se alimenta y consume las reservas (sobre todo en formas parásitas).

INVERTEBRATES 4e, Figure 19.4  
 © 2023 Oxford University Press



**FIGURE 22-9** Nematoda ecdysis: Although details vary with species, molting often occurs in the sequence shown. **A**, Intact cuticle. **B**, Separation of the old cuticle from the epidermis, digestion of the old basal layer, and secretion of a new epicuticle. **C**, Secretion of new outer and inner cortex and digestion of old median layer. **D**, Secretion of new basal layer to complete the new cuticle. The remaining old cuticle is shed (**D** and **E**).

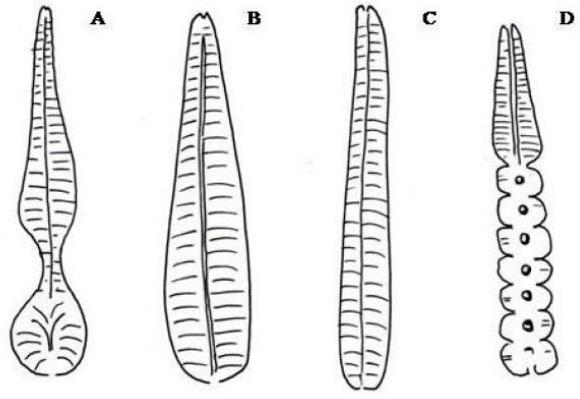
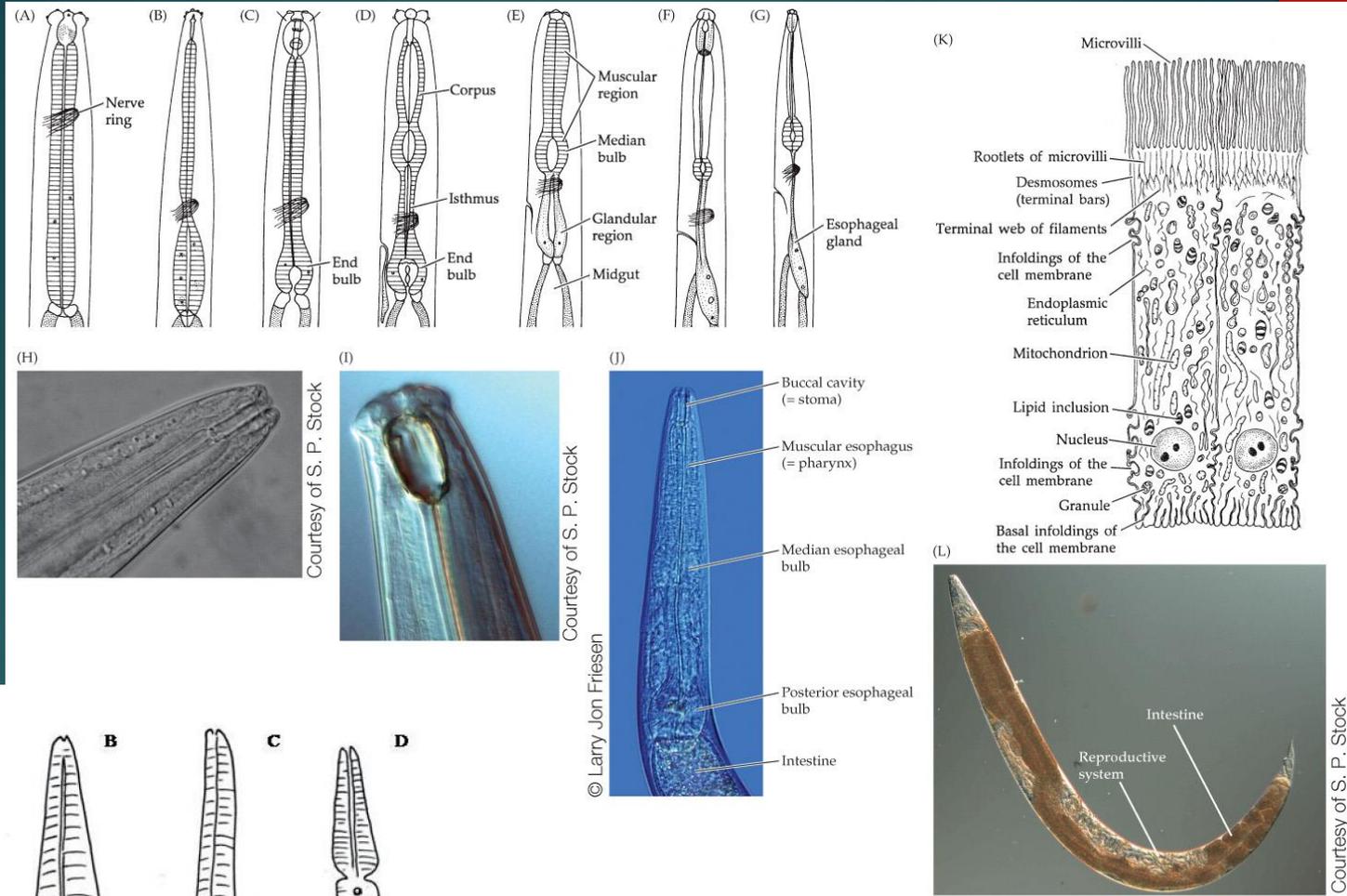
# Modifications of anterior end among selected nematodes



INVERTEBRATES 4e, Figure 19.5  
© 2023 Oxford University Press

B-H courtesy of S. P. Stock

# Nematode anatomy



Tipos de esófagos. A. rhabditoide; B. ascaroide; C. strongiloide; D. mermitoide.

Courtesy of S. P. Stock

© Larry Jon Friesen

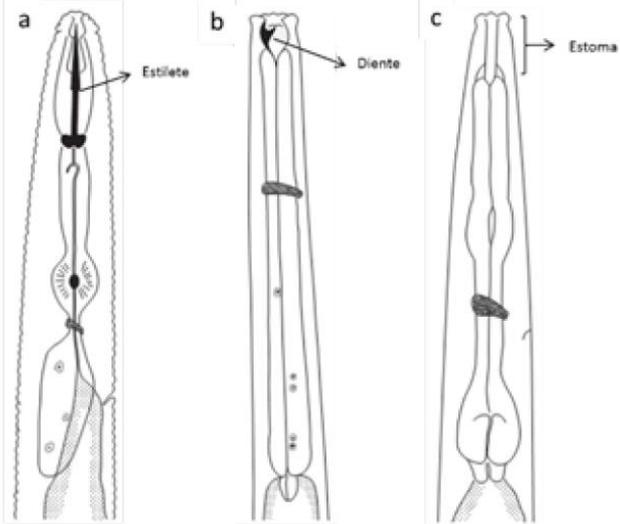


Figura 2. Región del estoma (boca) y esófago de tres nematodos encontrados en el suelo. A) Fitoparásito (afecta plantas). B) depredador (se alimenta de otros nematodos). C) Parásitos de insectos y bacteriófagos (aquí están los que matan insectos). Modificado de Wilson y Kakouli-Duarte (2009, p. 3).

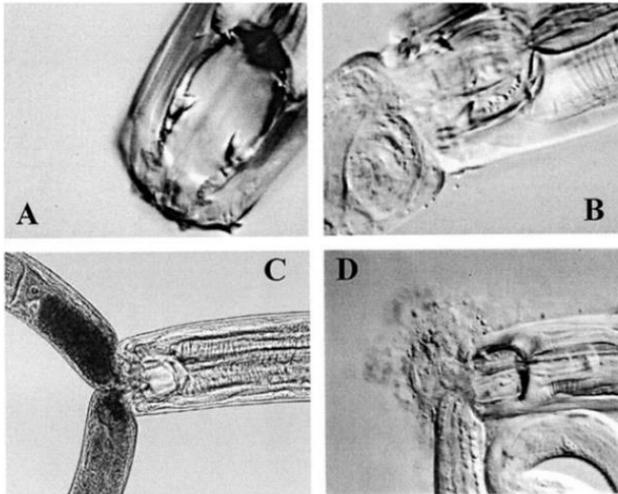
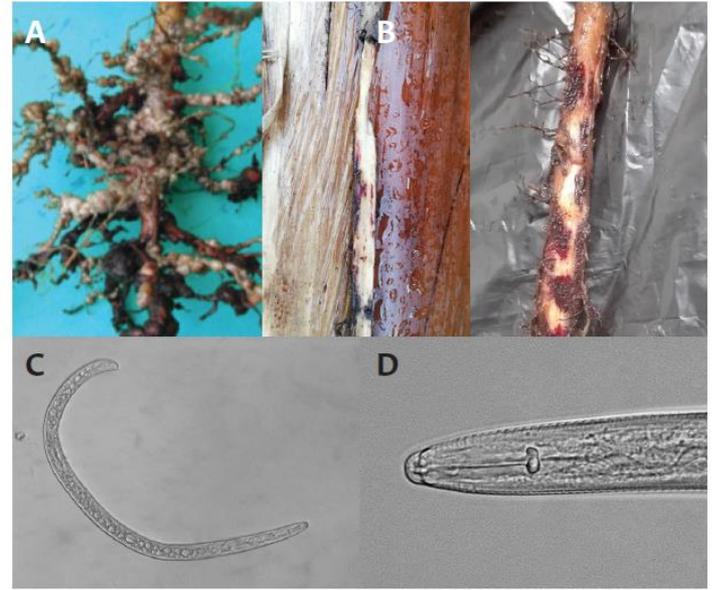


Figura 4. A) Aparato bucal de nematodos depredadores. B), C) y D) Nematodo depredador alimentándose de otro nematodo. Fuente: Bilgrami y Gaugler (2004, p. 93).

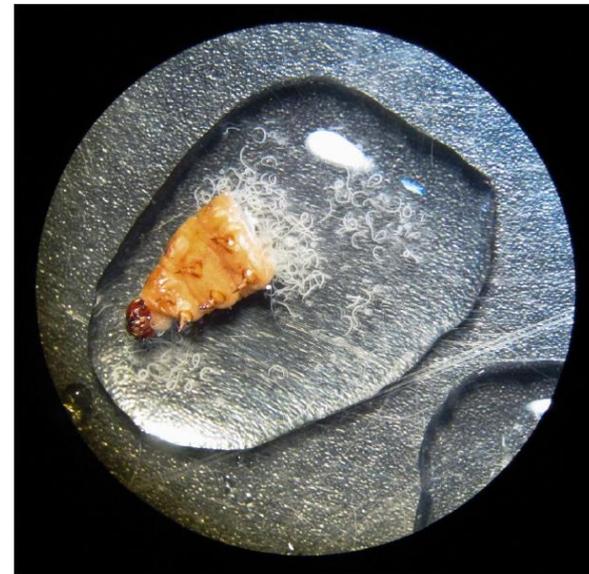
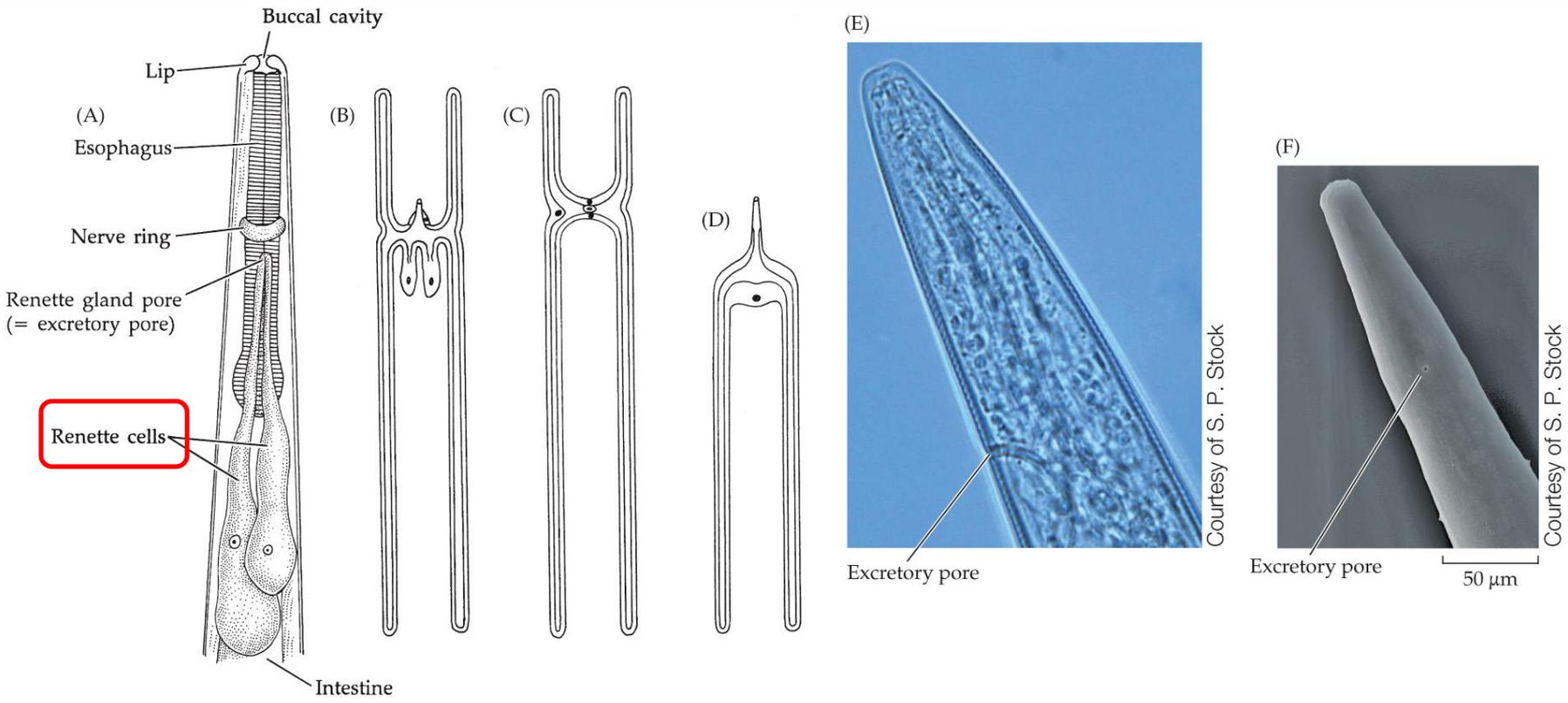


Figura 6. Corte de una larva de *Galleria mellonella* infectada por nematodos, se ven las hembras de los nematodos que son de mayor tamaño.

# Nematode excretory systems



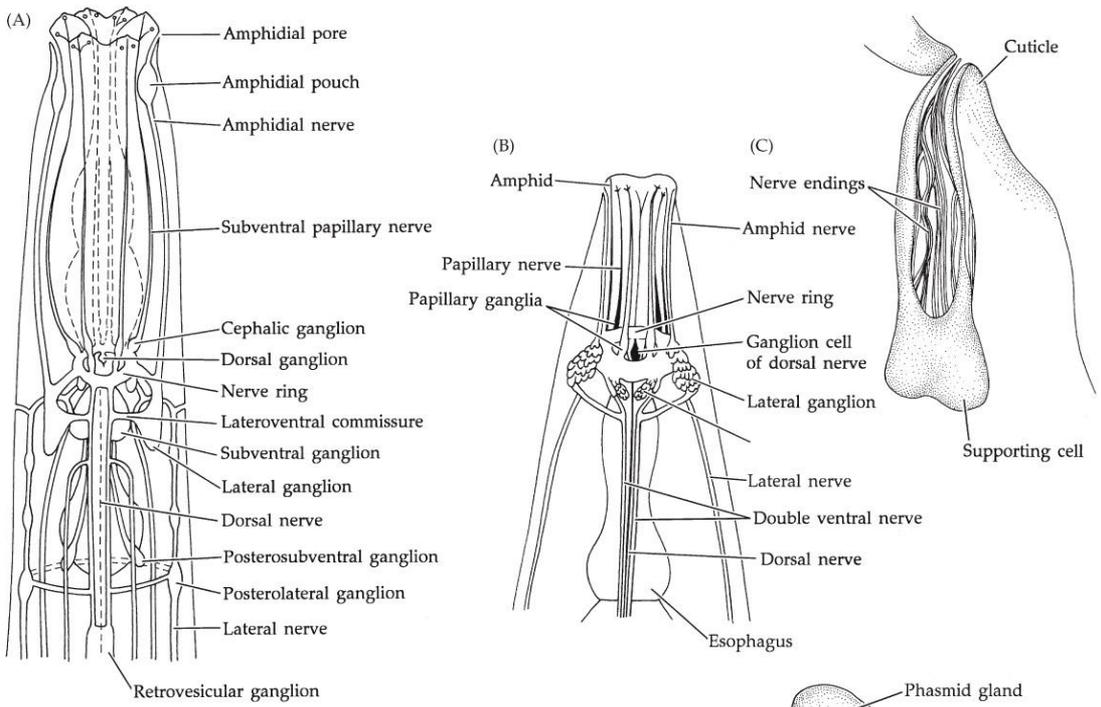
INVERTEBRATES 4e, Figure 19.7  
© 2023 Oxford University Press

Courtesy of S. P. Stock

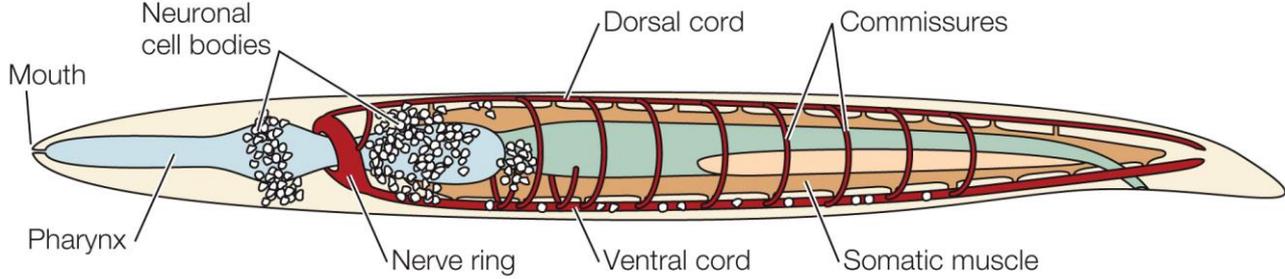
Courtesy of S. P. Stock

# Nematode nervous system, details

A after P. A. Meglitsch. 1972. *Invertebrate Zoology*. Oxford University Press, London.



INVERTEBRATES 4e, Figure 19.9  
© 2023 Oxford University Press



INVERTEBRATES 4e, Figure 19.8  
© 2023 Oxford University Press

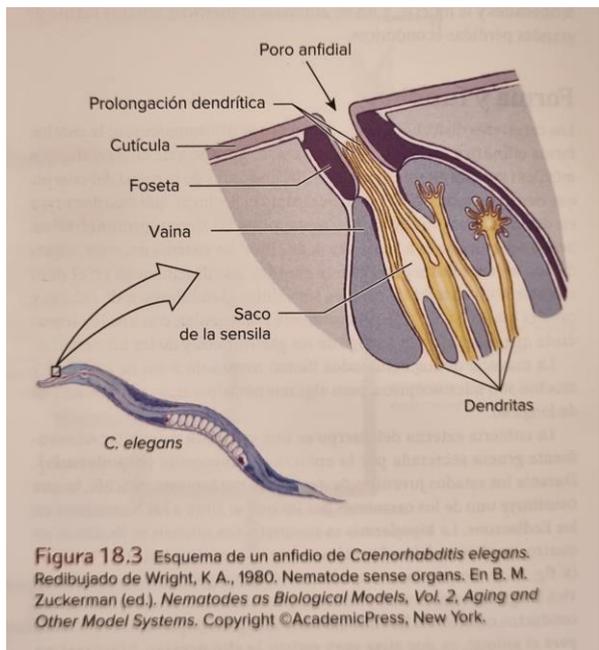
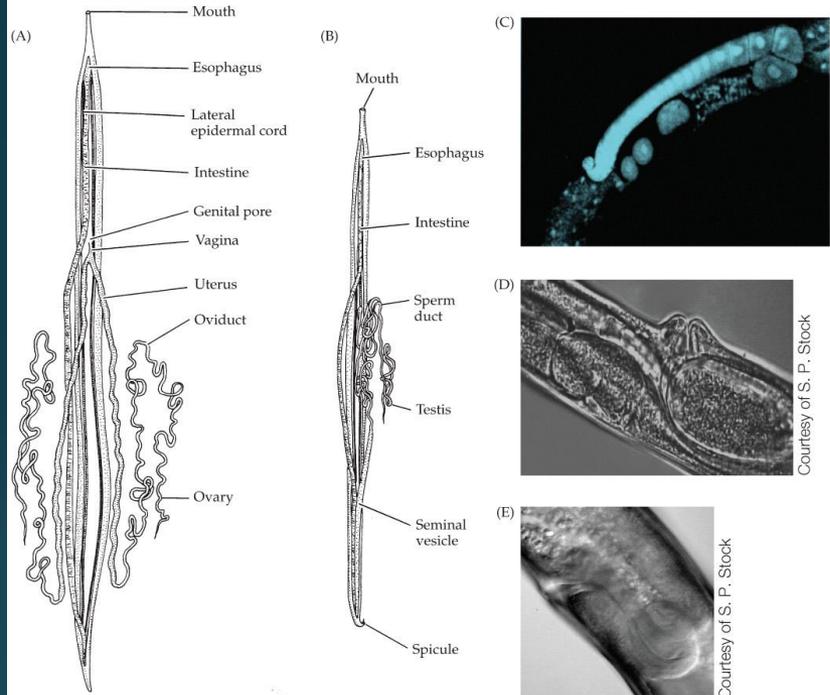


Figura 18.3 Esquema de un anfido de *Caenorhabditis elegans*. Redibujado de Wright, K A., 1980. Nematode sense organs. En B. M. Zuckerman (ed.), *Nematodes as Biological Models*, Vol. 2. Aging and Other Model Systems. Copyright ©Academic Press, New York.

# Nematode reproductive systems



Courtesy of S. P. Stock

Courtesy of S. P. Stock

Courtesy of S. P. Stock

Courtesy of M. Mundo-Ocampo

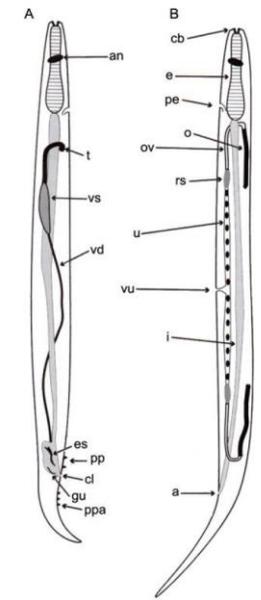


Figura 9.1. Esquema de la morfología general de un nematode macho (A) y de una hembra (B) (modificado de Bush y otros, 2001). Abreviaturas: a, ano; an, anillo nervioso; cb, cavidad bucal; cl, cloaca; e, esófago; es, espicula; gu, gubernáculo; i, intestino; o, ovario; ov, oviducto; pe, poro excretor; pp, papila preanal; ppa, papila postanal; rs, receptáculo seminal; t, testículo; u, útero; vd, vaso deferente; vs, vesícula seminal; vu, vulva.

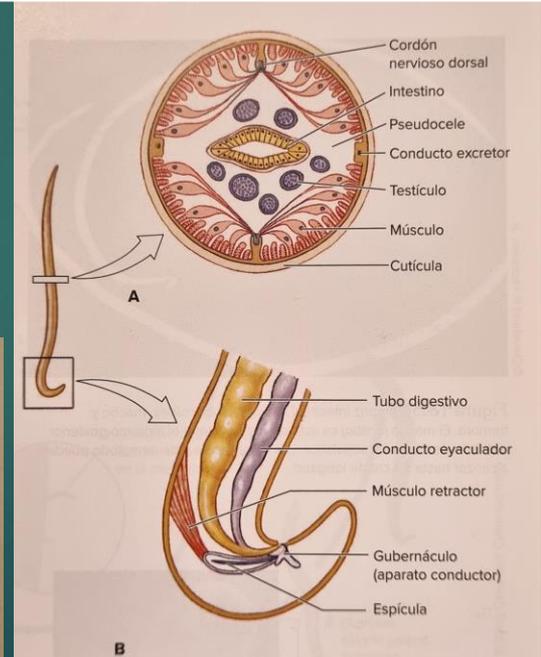
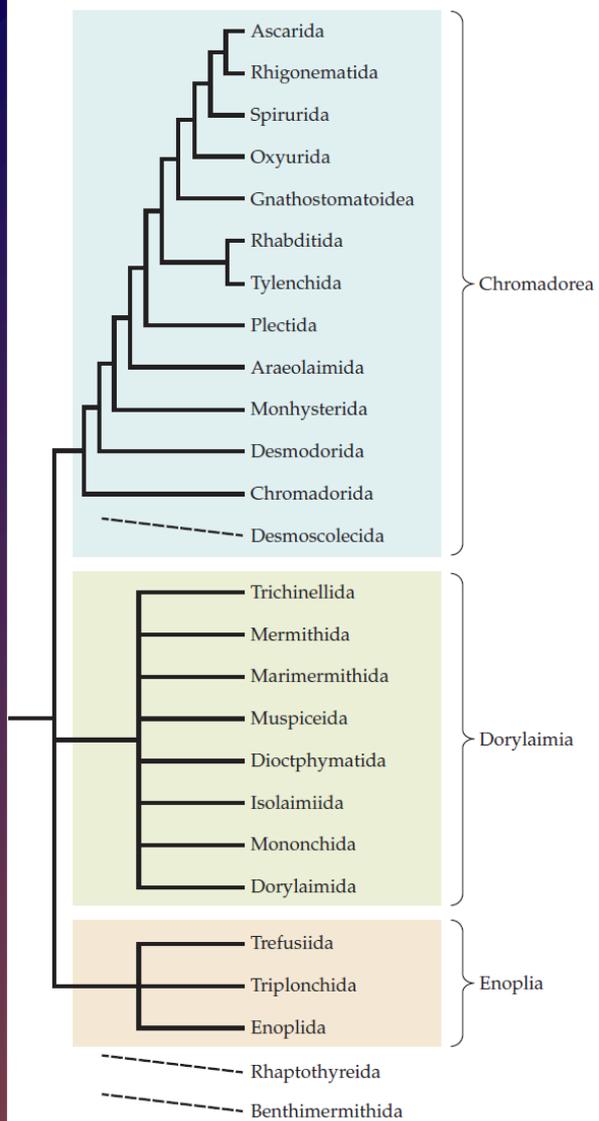


Figura 18.4 A, Sección transversal de un nematode macho. B, Extremo posterior de un nematode macho.

## Tema clave 18.2 ADAPTACIÓN Y FISIOLÓGÍA

### Apareamiento bajo presión

Las espinas copuladoras de los nematodos machos no son verdaderos órganos de penetración, ya que no conducen el esperma, sino que son otra adaptación frente a la alta presión hidrostática interna. Las espiculas deben mantener abierta la vulva de la hembra mientras los músculos eyaculadores superan la presión hidrostática de esta e inyectan rápidamente esperma en su conducto reproductor. Además, los espermatozoides de los nematodos son los únicos, entre los estudiados en el reino animal, que carecen de flagelo y acrosoma. En el interior del tracto reproductor femenino, el espermatozoide se vuelve ameboide y se desplaza mediante pseudópodos. ¿Podría ser esto otra adaptación a la elevada presión hidrostática del pseudocele?



La clasificación que se ofrece aquí es una tradicional que se basa en el trabajo de Kampfer y otros.

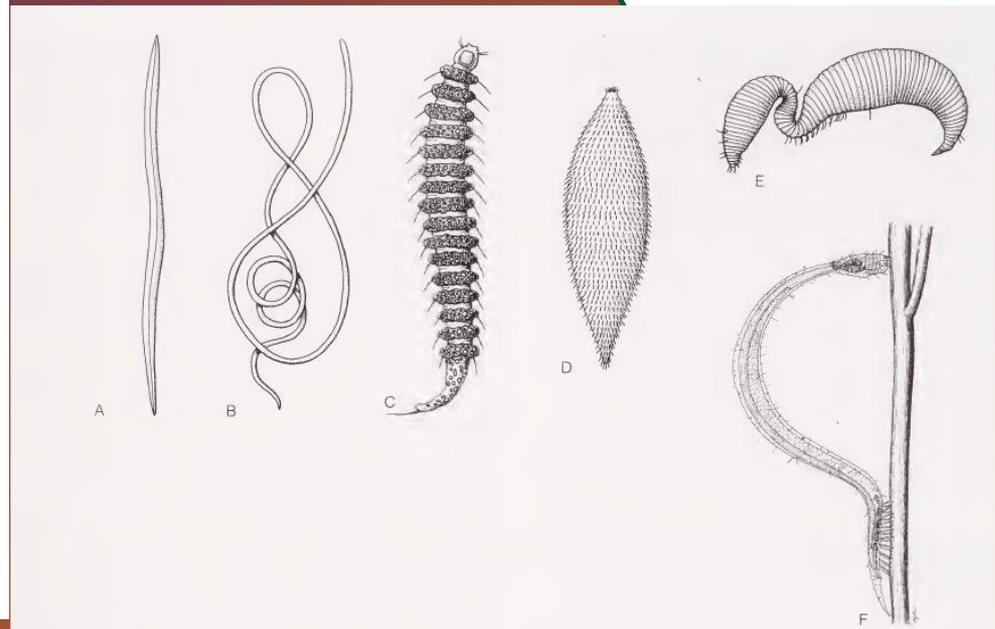
**Clase Secernentea** (=Phasmida). Con anfidios enrollados ventralmente o derivados de ellos; tres glándulas esofágicas; algunos con fasmidios; tanto formas libres como parásitas. Ejemplos: *Caenorhabditis*, *Ascaris*, *Enterobius*, *Necator* y *Wuchereria*.

**Clase Adenophorea** (=Aphasmida). Con anfidios generalmente bien desarrollados, en forma de saco. Cinco o más glándulas esofágicas; sin fasmidios; sistema excretor sin canales laterales y formado por una célula glandular ventral, o completamente ausente; la mayoría de vida libre, aunque incluyen algunos parásitos. Ejemplos: *Dioctophyme*, *Trichinella* y *Trichuris*.

La clasificación de los nematodos es algo más satisfactoria en los niveles de orden y de superfamilia; la división en clases se basa en características que no son llamativas y que resultan difíciles de distinguir para un principiante. Existen argumentos sobre la monofilia de los nematodos, pero recientes trabajos moleculares respaldan las clases tradicionales. Una filogenia molecular reciente divide a los nematodos en 12 clados<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Holtermann, T., et al., 2006. *Mol. Biol. Evol.* **23**: 1792-1800.

**FIGURE 19.2 Nematoda molecular phylogenetic framework.** Consensus phylogenetic view of Nematoda, combined from De Ley and Blaxter (2002), Sudhaus (2011), and Schmidt-Rhaesa (2014).



**FIGURE 22-7 Nematode diversity.** A, The marine *Echinotheristus*. B, A parasitic mermithid nematode. C, The marine interstitial *Desmoscolex*. D, The marine *Greeffiella*. E, The marine interstitial *Epsilonema*. F, The marine *Draconema*. (A, C, and D, Redrawn from Riemann, F. 1988. *Nematoda*. In Higgins, R. P., and Theil, H. (Eds.): *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington, DC. pp. 293-301; B, Drawn from a photograph in Pearse, V., Pearse, J., Buchsbaum, M., et al. 1987. *Living Invertebrates*. Boxwood Press. Pacific Grove, CA. p. 284.)

Varias revisiones han considerado las características ideales que necesitan los organismos para ser bioindicadores eficaces.

Entre otras características, los organismos ideales deben ser:

- abundantes y fáciles de manipular
- fáciles de muestrear y clasificar
- fáciles de cultivar en el laboratorio
- representativos de su hábitat, ya sea terrestre o acuático conocidos por mostrar respuestas bien definidas a los desafíos ambientales



Soil Biology and Biochemistry 169 (2022) 100640

Contents lists available at ScienceDirect

**Soil Biology and Biochemistry**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/soilbio](http://www.elsevier.com/locate/soilbio)

**Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility, and future directions**

Gerhard Du Preez<sup>a,\*</sup>, Mieke Daneel<sup>b</sup>, Ron De Goede<sup>c,d</sup>, Marié Joey Du Toit<sup>e</sup>, Howard Ferris<sup>f</sup>, Hendrika Fourie<sup>g</sup>, Stefan Gelsen<sup>h</sup>, Thomaïs Kakouli-Duarte<sup>i</sup>, Gerard Korhals<sup>j</sup>, Sara Sánchez-Moreno<sup>k</sup>, Jan Henrik Schmidt<sup>l</sup>

<sup>a</sup>Unit for Environmental Sciences and Management, North West University, Potchefstroom, South Africa  
<sup>b</sup>Agricultural Research Council – Tropical and Subtropical Crops, Nelspruit, South Africa  
<sup>c</sup>Soil Biology Group, Wageningen University and Research, Wageningen, the Netherlands  
<sup>d</sup>Department of Entomology and Nematology, University of California, Davis, CA, USA  
<sup>e</sup>Laboratory of Nematology, Wageningen University and Research, Wageningen, the Netherlands  
<sup>f</sup>Department of Science and Health, Institute of Technology Carlow, Carlow, Ireland  
<sup>g</sup>Wageningen University and Research, Wageningen, the Netherlands  
<sup>h</sup>Department of the Environment and Agronomy, National Center Institute for Agricultural and Food Research and Technology (INGA-CIAT), Madrid, Spain  
<sup>i</sup>Institute for Bioeconomics and Pathogen Diagnostics, Julius Kühn – Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

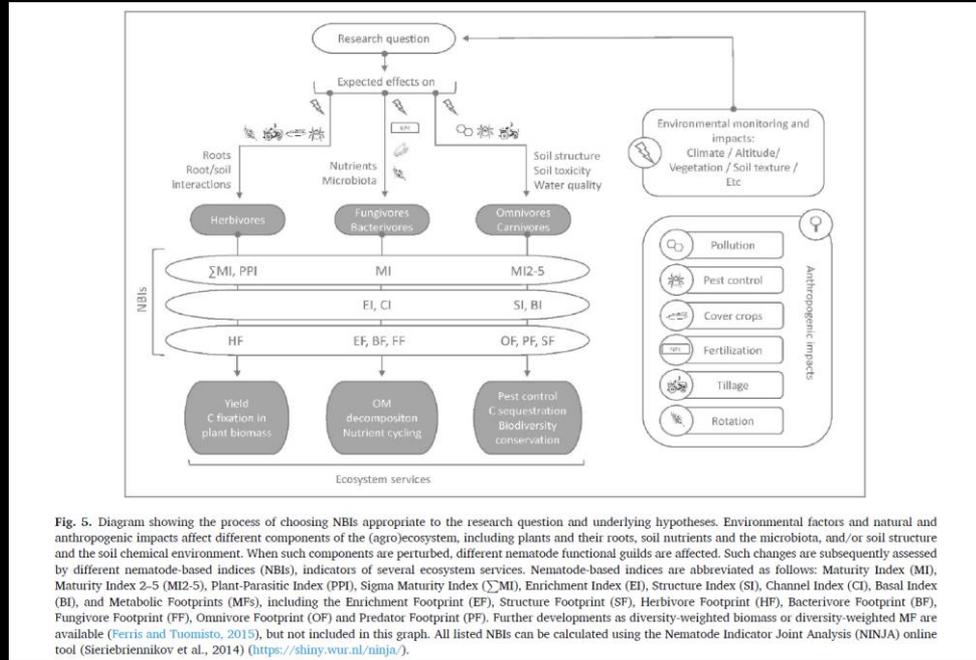
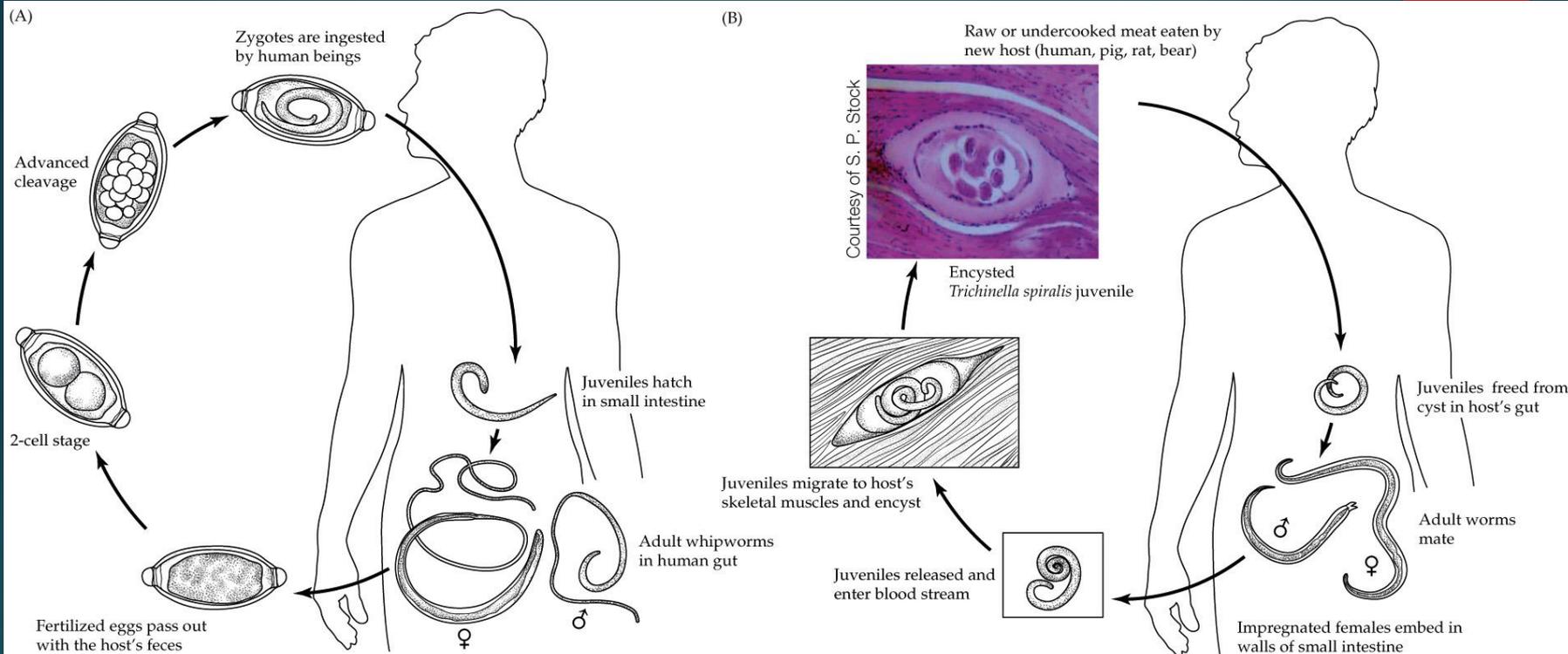


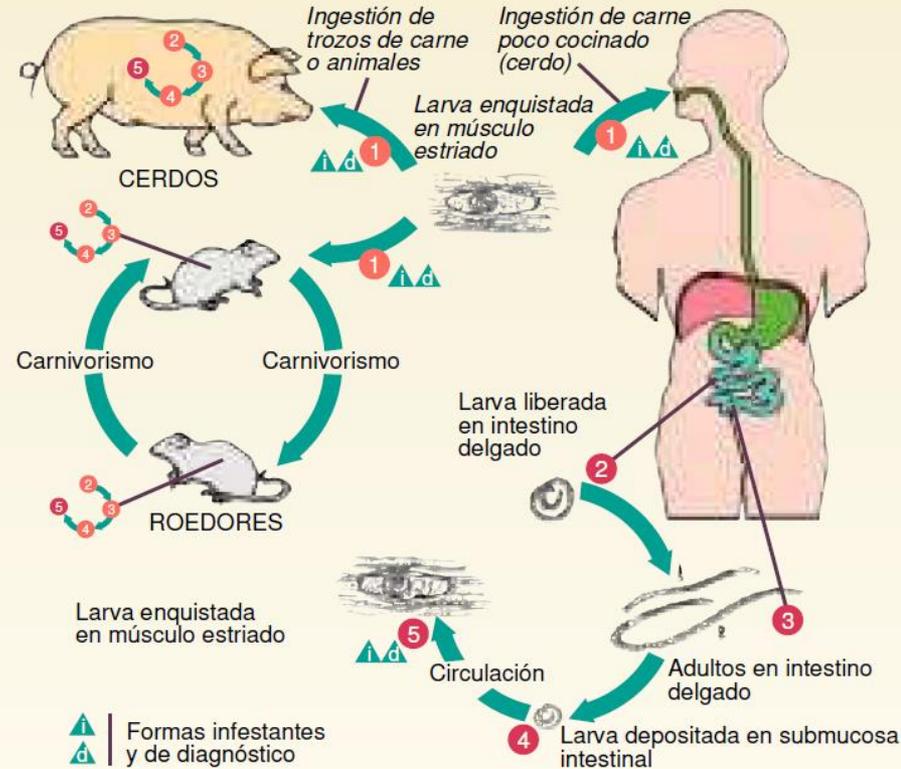
Fig. 5. Diagram showing the process of choosing NBIs appropriate to the research question and underlying hypotheses. Environmental factors and natural and anthropogenic impacts affect different components of the (agro)ecosystem, including plants and their roots, soil nutrients and the microbiota, and/or soil structure and the soil chemical environment. When such components are perturbed, different nematode functional guilds are affected. Such changes are subsequently assessed by different nematode-based indices (NBIs), indicators of several ecosystem services. Nematode-based indices are abbreviated as follows: Maturity Index (MI), Maturity Index 2–5 (MI2-5), Plant-Parasitic Index (PPI), Sigma Maturity Index ( $\Sigma MI$ ), Enrichment Index (EI), Structure Index (SI), Channel Index (CI), Basal Index (BI), and Metabolic Footprints (MFs), including the Enrichment Footprint (EF), Structure Footprint (SF), Herbivore Footprint (HF), Bacterivore Footprint (BF), Fungivore Footprint (FF), Omnivore Footprint (OF) and Predator Footprint (PF). Further developments as diversity-weighted biomass or diversity-weighted MF are available (Ferris and Tuomisto, 2015), but not included in this graph. All listed NBIs can be calculated using the Nematode Indicator Joint Analysis (NINJA) online tool (Sieriebriennikov et al., 2014) (<https://shiny.wur.nl/ninja/>).

# Life cycles of some parasitic roundworms



INVERTEBRATES 4e, Figure 19.12  
© 2023 Oxford University Press

Ciclos de vida de algunos nematodos parásitos. (A) Ciclo de vida del tricocéfalo *Trichuris trichiura* (orden Trichinellida), un parásito intestinal común de los seres humanos en regiones tropicales y subtropicales. Los óvulos fertilizados pueden permanecer viables durante largos períodos de tiempo fuera del huésped. Los tricocéfalos parasitan el intestino del huésped y chupan la sangre del revestimiento intestinal. En las infecciones menores, los síntomas son leves o están ausentes, pero en las infecciones graves puede producirse sangrado intestinal, anemia y dolor abdominal. (B) Ciclo de vida de *Trichinella spiralis* (orden Trichinellida) en humanos; pueden producirse síntomas graves debido a la actividad de excavación de los juveniles a través de la pared intestinal y a los altos niveles de juveniles enquistados en el tejido muscular esquelético.



La triquinosis se adquiere por consumo de carne conteniendo larvas enquistadas **1** de *Trichinella*. Las larvas son liberadas **2** de los quistes e invaden la mucosa del intestino delgado, donde se desarrollan hasta convertirse en adultos **3** (hembra 2,2 mm de longitud, macho 1,2 mm). Después de una semana, las hembras, eliminan larvas **4** que migran hacia el músculo estriado, donde se enquistan **5**. El enquistamiento se completa en 4-5 semanas y las larvas enquistadas pueden permanecer viables durante varios años. La ingestión de larvas enquistadas perpetúa el ciclo. Las ratas y roedores, en general, son los responsables primarios del mantenimiento de la endemidad de esta parasitación. Los animales carnívoros/omnívoros como los cerdos o los osos comen roedores parasitados o carne de otros animales.

Fig. 1. Ciclo biológico de *Trichinella spiralis*.

Filo: Nematoda  
 Clase: Secernentea ??  
 Orden: Oxyurida  
 Familia: Oxyuridae  
 Género: *Enterobius*  
 Especie: *E. vermicularis*

Los huevos son depositados en los pliegues perianales (1). Autoinfección (2). La infección puede ocurrir a través de la manipulación de ropa contaminada o sábanas. A continuación de la ingestión de huevos infectivos, las larvas eclosionan en el intestino delgado (3), y los adultos se establecen en el colon (4). El tiempo que transcurre entre la ingestión de los huevos y la primera ovoposición por parte de las hembras adultas es de alrededor de un mes. La expectativa de vida para un adulto es de aproximadamente dos meses. Las hembras grávidas migran por la noche saliendo por el ano y ponen sus huevos en la piel de la región perianal (5).

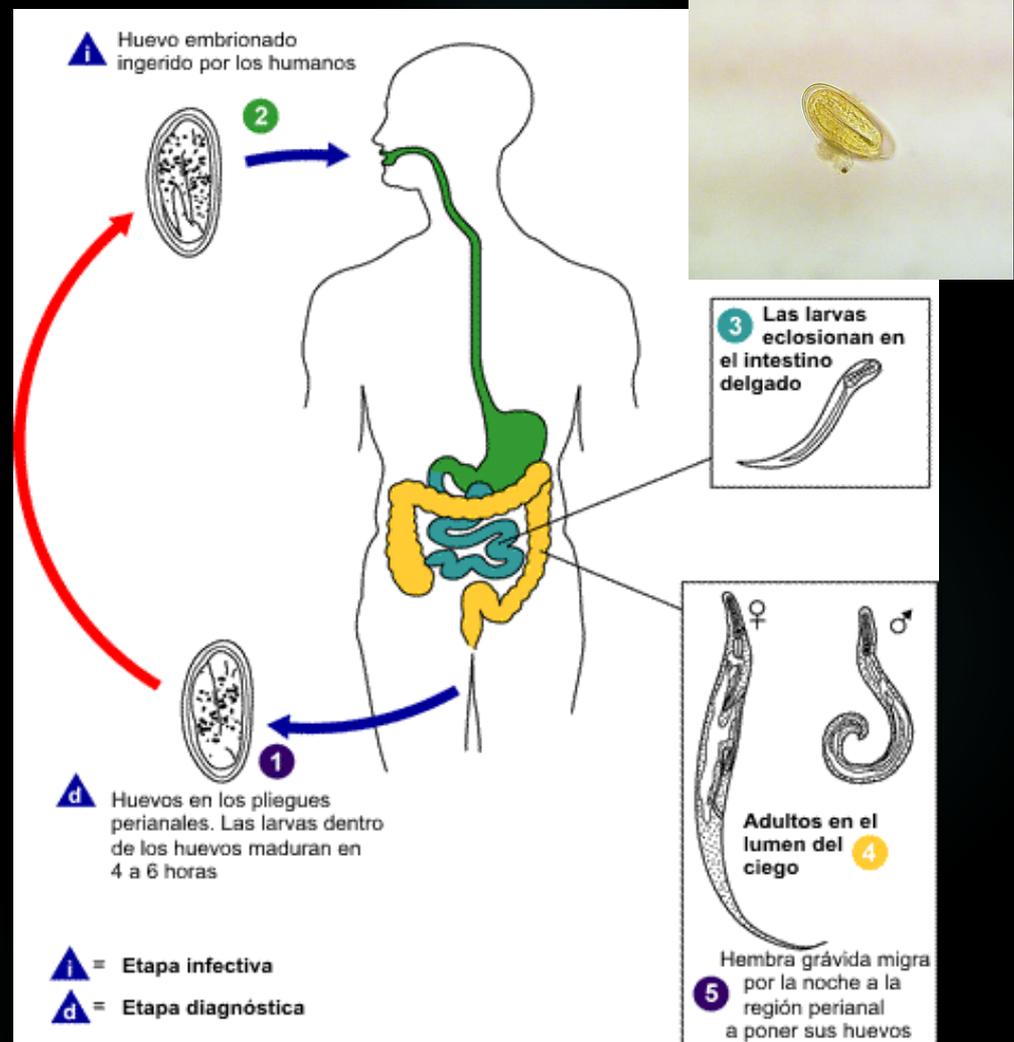
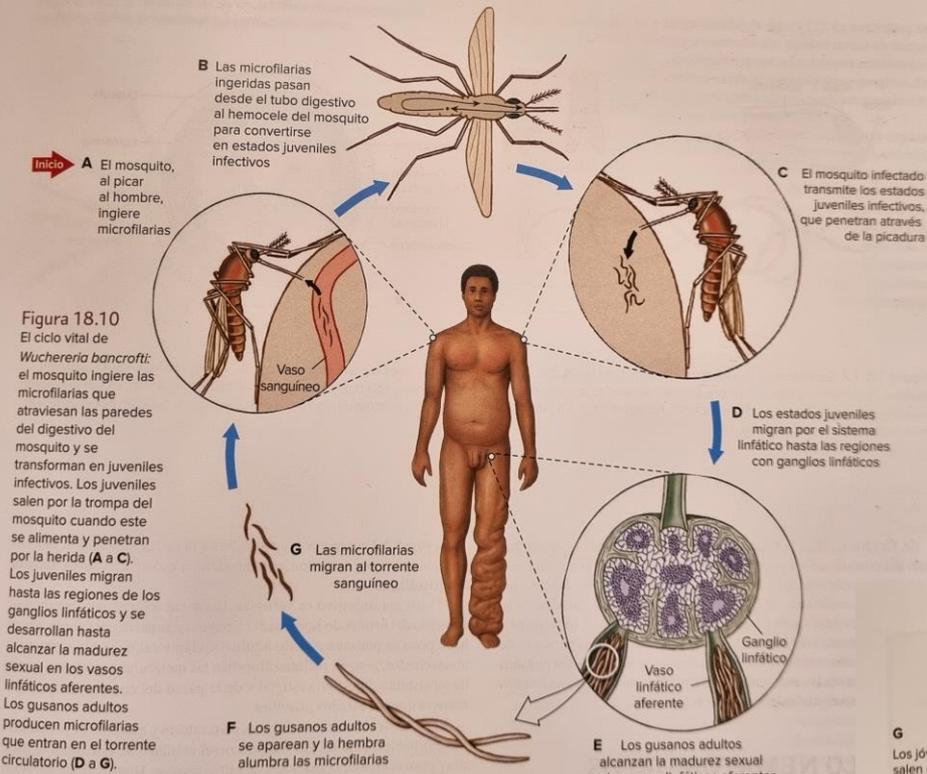


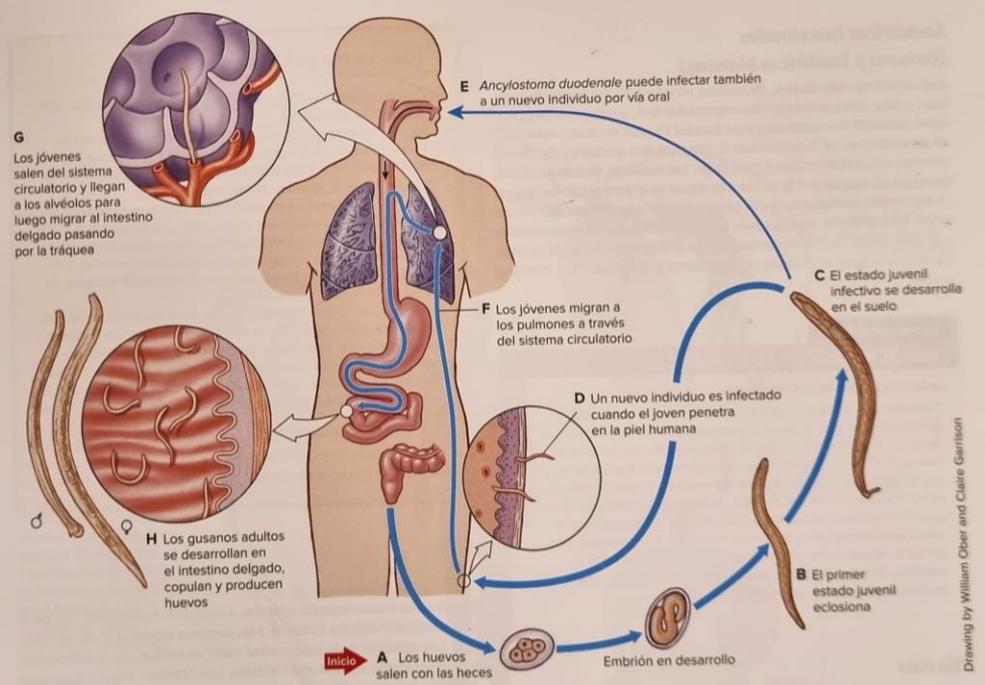
Figura 18.9 Oxiuro, *Enterobius vermicularis*. A, Hembra adulta en el Intestino grueso humano. El recuadro muestra una vista aumentada de la cabeza. B, Ocho huevos de oxiuro. Las hembras normalmente depositan sus huevos por la noche alrededor del ano del hospedador, irritando la piel del hospedador al mismo tiempo. El hospedador, al rascarse, contamina las uñas de los dedos y la ropa.



**Figura 18.11**  
Elefantiasis en la pierna producida por la filaria adulta *Wuchereria bancrofti*, que vive en los conductos linfáticos y bloquea el flujo de la linfa. Los pequeños individuos juveniles, llamados microfilarias, se ingieren cuando un mosquito se alimenta de la sangre de un humano infectado. En el mosquito se desarrollan hasta la etapa infecciosa y pueden ser transmitidos a un nuevo huésped.



© MintZaai/Shutterstock



Drawing by William Ober and Claire Garrison

**Figura 18.7** El ciclo vital del anquilostoma: el embrión dentro de su cáscara se convierte en el primer estado juvenil que sufre dos mudas. El tercer estado juvenil para su desarrollo hasta que alcanza un nuevo hospedador (**A a C**). La infección del hombre puede producirse a través de la piel (**D**) o por vía oral (**E**). Los juveniles migran a través del sistema circulatorio hasta alcanzar los pulmones (**F**), entran en los alvéolos (**G**) y luego alcanzan el intestino delgado, donde copulan (**H**).

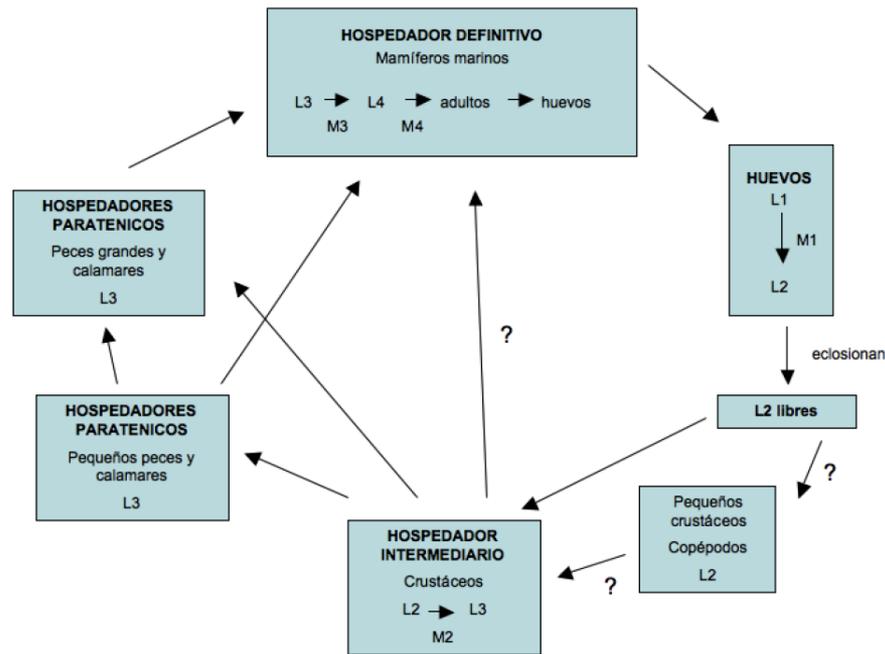
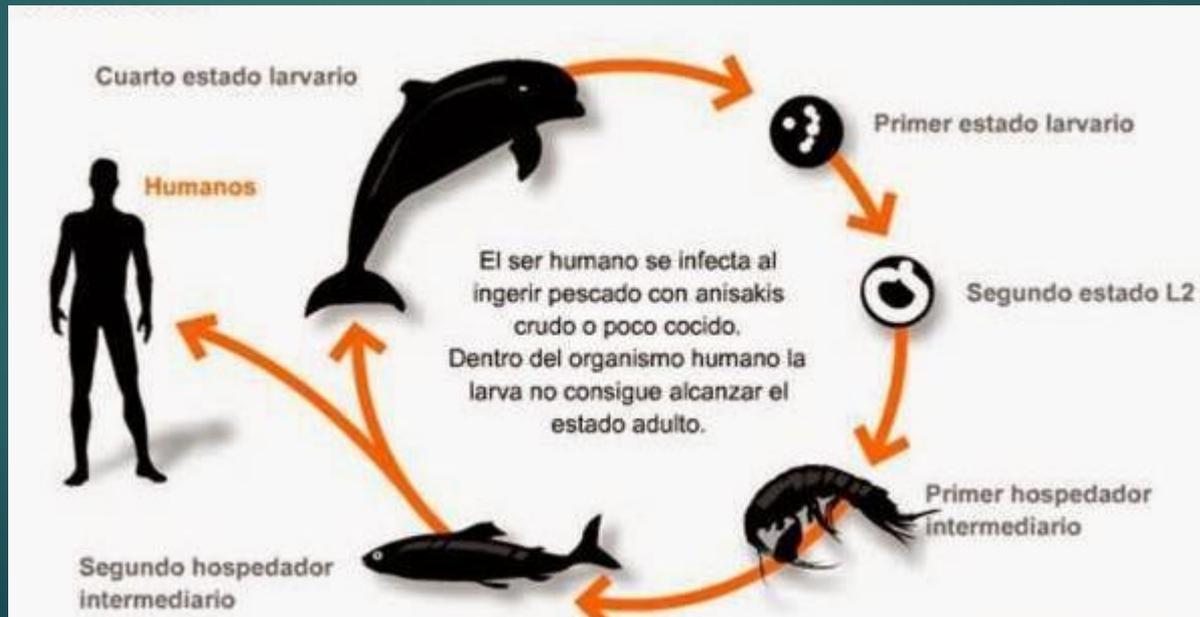
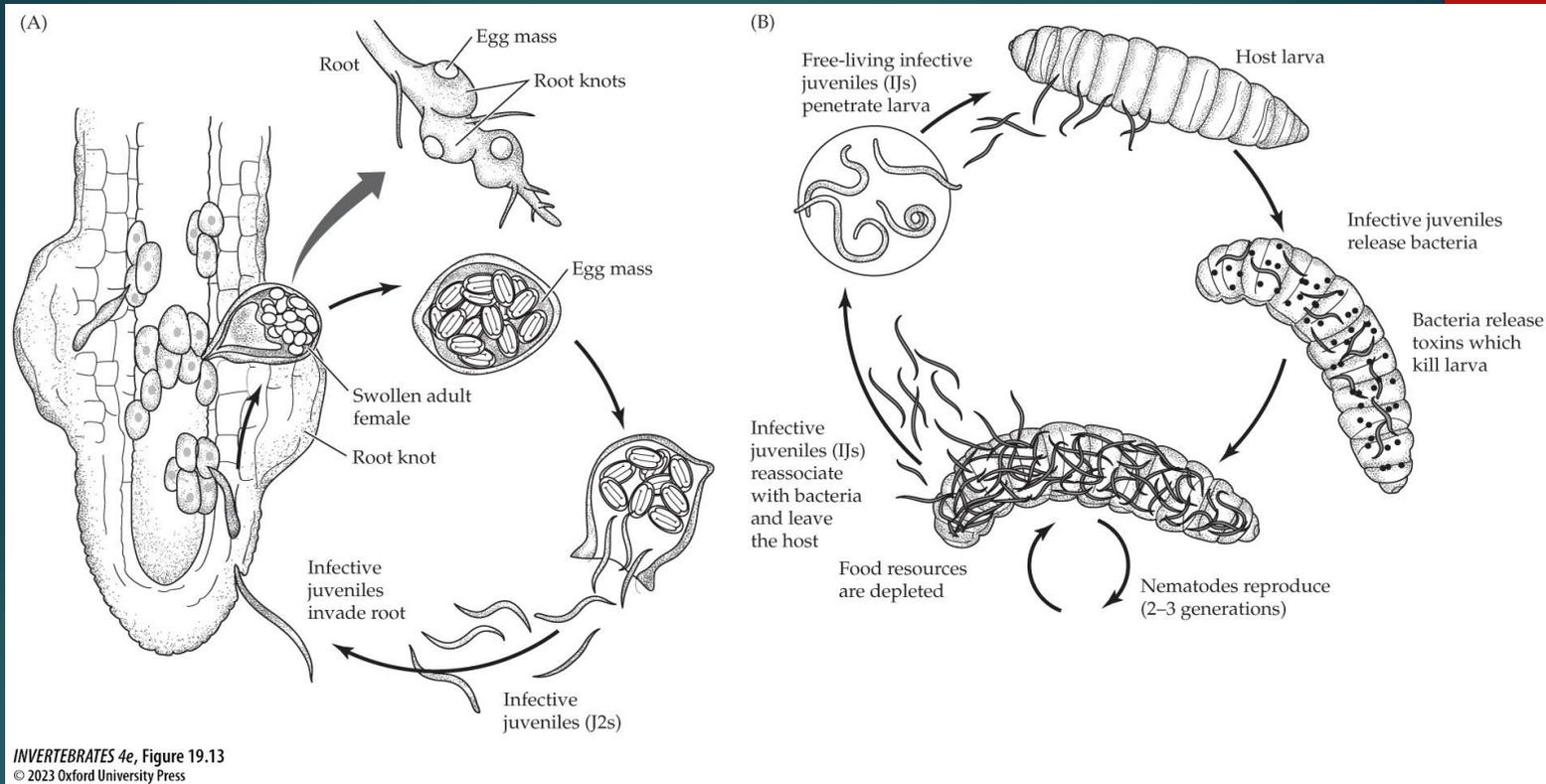


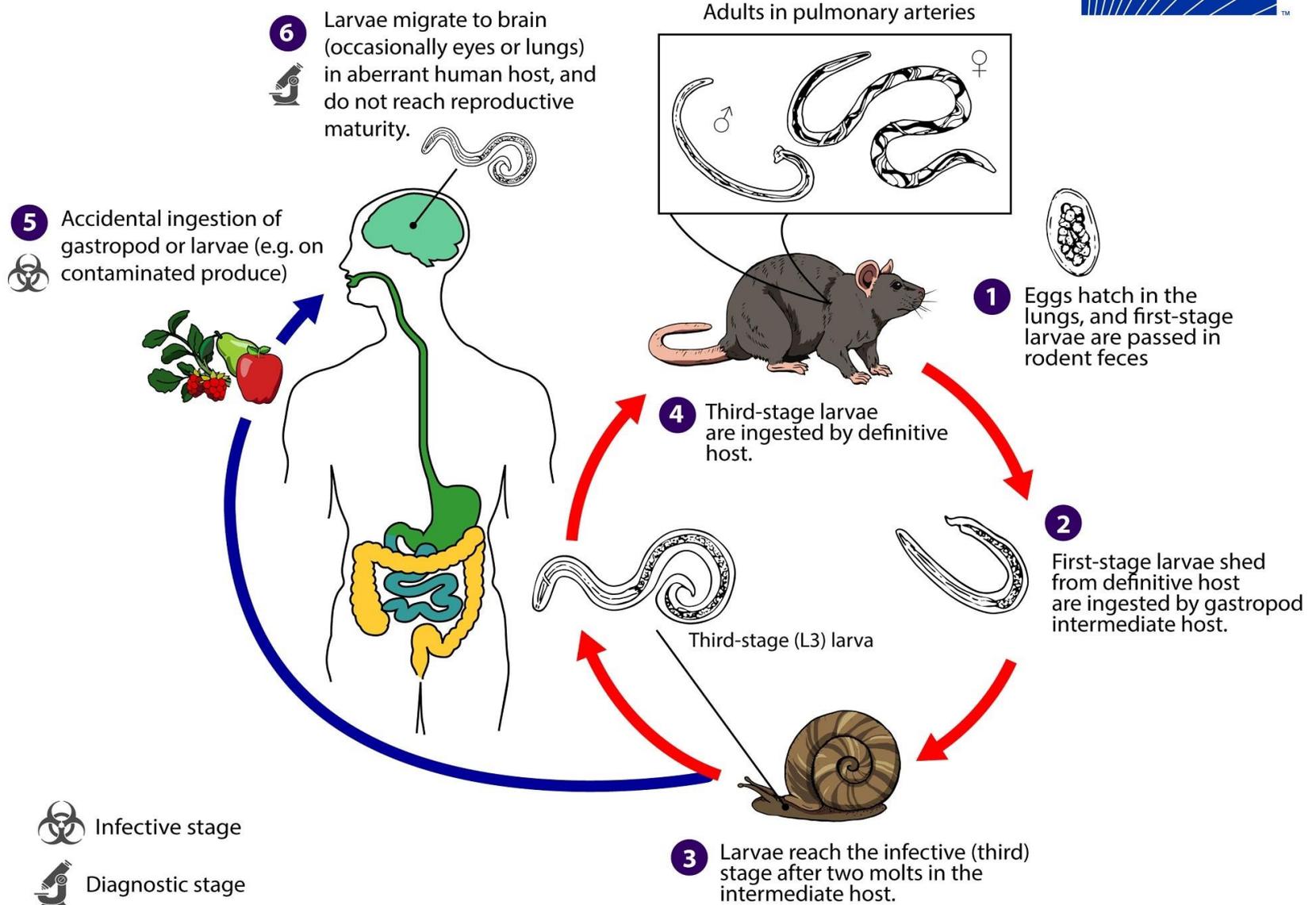
Figura 9.9. Ciclo de vida de *Anisakis simplex*. L1--L4: estadios larvales L1 a L4; M1-M4: primer muda a cuarta muda; los signos de interrogación denotan partes del ciclo que aún no se dilucidaron.



# Life cycles of some parasitic roundworms



Ciclos de vida de algunos nematodos parásitos. (A) Ciclo de vida del nematodo agallador *Meloidogyne incognita* (orden Tylenchida). (B) Ciclo de vida generalizado de un nematodo entomopatógeno, *Steinernema* sp. (orden Rhabditida). Las etapas infecciosas de vida libre (juveniles de tercera etapa, o IJ) viven en el suelo. Una vez que encuentran un huésped adecuado, lo penetran y liberan bacterias simbióticas a medida que llegan a la cavidad corporal del huésped. Las bacterias matan al huésped por septicemia y se reproducen. Luego, los nematodos se alimentan de las bacterias a medida que maduran y se convierten en adultos. Dos o tres generaciones de nematodos pueden desarrollarse dentro del huésped. Una vez que se agotan los recursos alimenticios, los nematodos se convierten en IJ y se vuelven a asociar con las bacterias de manera mutualista hasta que abandonan el cadáver en busca de un nuevo huésped.



## Mecanismos de transmisión

Los nematodos que habitan el canal digestivo u otro órgano del hospedador tienen diferentes modos de transmisión. Estos pueden ser:

- por penetración pasiva: ya sea por ingesta de huevos o larvas infectivas que permanecen en el suelo o están en un hospedador intermediario (*parásitos de vertebrados: Ascaris spp., Trichinella spiralis, Trichostrongylus spp., Enterobius vermicularis; parásitos de invertebrados: Mermis spp., Diploscapter spp., Thelastoma spp., Leydinema spp.*).
- por penetración activa: a través de la pared del cuerpo del hospedador definitivo de las larvas infectivas que se encuentran en el ambiente (*Ancylostoma duodenale, Necator americanus, Strongyloides stercoralis en vertebrados y Heterorhabditidae en invertebrados*).
- por transmisión vectorial: mediante un insecto hematófago que inocula la larva infectante (*Dirofilaria spp., Onchocerca spp.*).

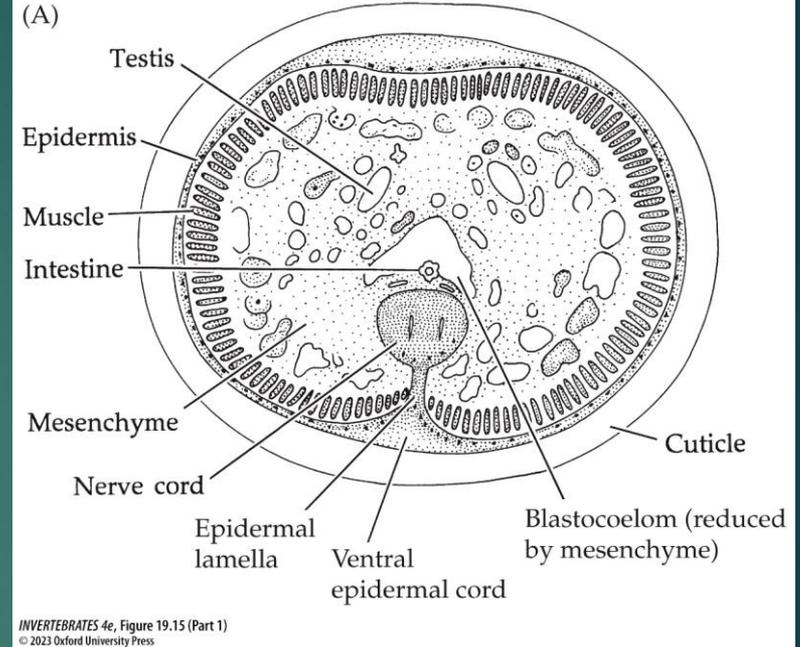
Algunos nematodos pueden realizar migraciones por diferentes órganos vitales del hospedador definitivo para alcanzar su localización definitiva, las cuales van acompañadas de crecimiento y desarrollo alcanzando la maduración del nematode (migración ontogenética).

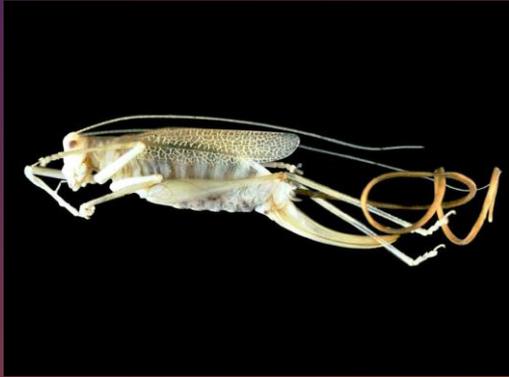
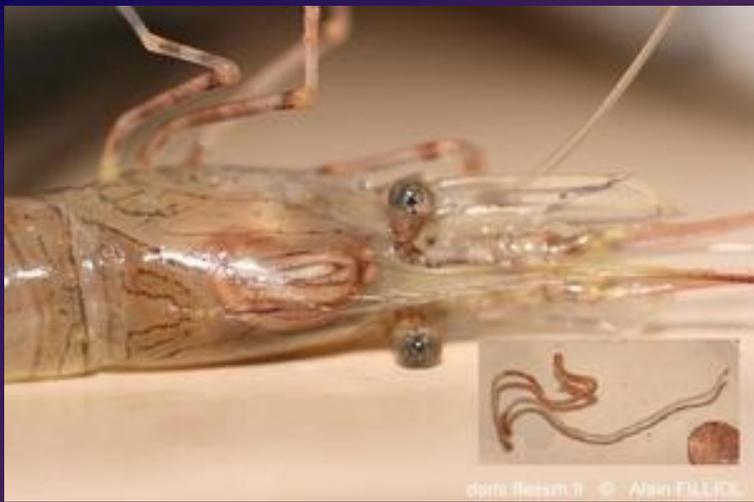
La penetración de una larva en un hospedador no habitual puede producir una reacción cutánea o visceral que se conoce con el nombre de larva migrans (*Ancylostoma caninum, Toxocara canis*).

# Nematomorfos...

## BOX 19B Characteristics of the Phylum Nematomorpha

1. Triploblastic, bilaterally symmetrical, unsegmented, vermiform; body long and very thin
2. Body cavity largely obliterated by mesenchyme and organs
3. Cuticle well developed, with a single cuticular molt reported in some species
4. Body without functional cilia or flagella
5. Body wall containing only longitudinal muscles (no circular muscles)
6. Gut reduced to various degrees
7. With an aquatic larva and a unique juvenile stage that is parasitic in terrestrial arthropods
8. Epidermis forming longitudinal cords housing longitudinal nerves
9. Without special excretory, circulatory, or gas exchange organs
10. Gonochoristic; at least one known parthenogenetic species
11. With unique cleavage pattern
12. Adults mostly found in fresh water and wet terrestrial habitats, with five known marine pelagic species; all parasitic during the juvenile phase but free-living as adults





**ORDEN NECTONEMATOIDEA** Marinos, pelágicos; con una doble hilera de setas natatorias a cada lado del cuerpo; gónadas simples; la larva parasita crustáceos decápodos. Monogénero: *Nectonema* (5 especies conocidas).

**ORDEN GORDIOIDEA** Sin hileras laterales de setas; cavidad corporal llena de mesénquima; gónadas apareadas. La larva parasita hospedadores intermediarios acuáticos (principalmente artrópodos y moluscos), mientras que los hospedadores finales son principalmente artrópodos terrestres; el adulto acuático de vida libre puede ser efímero. Se conocen unas 360 especies conocidas. *Chordodes*, *Gordius*, *Paragordius*, etc.