

Nemátodos de vida libre: diversos y en todas partes

Los nemátodos son gusanos invertebrados con una biología compleja y fascinante. Existen miles de especies de nemátodos y son los invertebrados más abundantes en suelos y sedimentos acuáticos. Todos los hábitats del planeta tienen nemátodos, desde las fosas abisales hasta los desiertos. Estos organismos contribuyen decisivamente al funcionamiento de los ecosistemas y al mantenimiento de la vida en la Tierra.

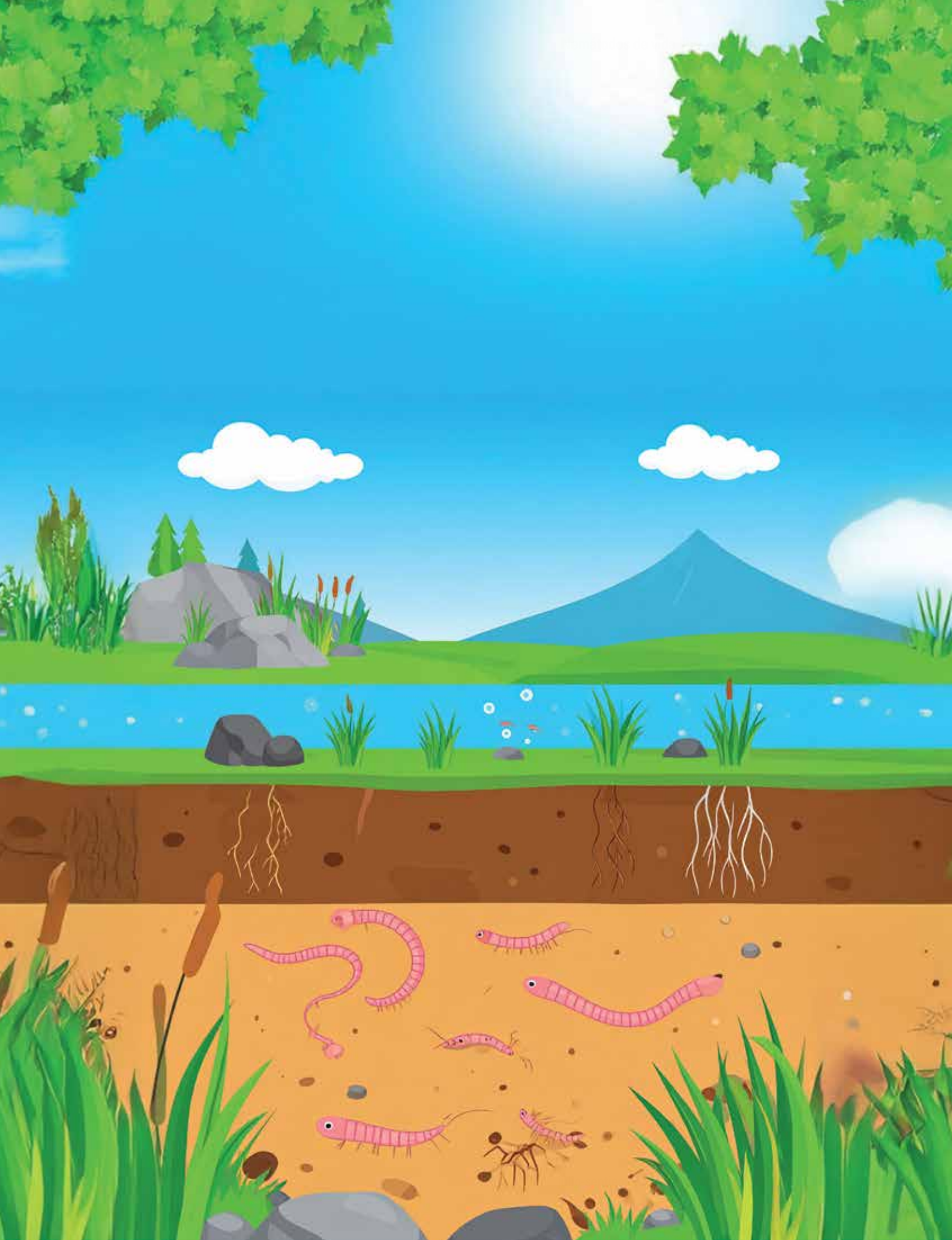
Introducción

Los nemátodos son un grupo de invertebrados con una morfología aparentemente simple que enmascara una biología compleja y fascinante. Pueden ser de vida libre o parásitos que afectan plantas o animales. De las aproximadamente 27 000 especies de nemátodos descritas, el 60 % son parásitas (15 % de plantas y 45 % de animales) y el 40 % restante son de vida libre. La división entre los modos *parásito* y *de vida libre* es fundamental, pues define campos de estudio diferentes. Los nemátodos parásitos de plantas son estudiados en las ciencias agrícolas, específicamente en la sanidad vegetal. Dado el daño económico significativo que los nemátodos causan en los cultivos, se dedican cuantiosos recursos a su control y manejo. Los nemátodos parásitos de animales (incluido el humano) son estudiados por la medicina, ya sea humana o veterinaria. No todos los nemátodos parásitos son dañinos, existen especies que en una fase de su ciclo de vida parasitan insectos que a su vez constituyen plagas de cultivos. Estos nemátodos **entomopatógenicos** se emplean en el control de plagas y, por tanto, son beneficiosos para la agricultura.

Los nemátodos de vida libre se subdividen en aquellos que habitan los suelos (nemátodos terrestres), los que viven en los sedimentos marinos (nemátodos acuáticos) y los que habitan sobre otros organismos (nemátodos epibiontes). En este ensayo nos enfocamos en diferentes aspectos morfológicos y ecológicos de los nemátodos de vida libre, incluidas algunas aplicaciones como organismos modelo.

Entomopatógeno

Nemátodos de dos familias (Steinernematidae y Heterorhabditidae) que parasitan insectos y funcionan como vectores de bacterias (*Xenorhabdus* spp. y *Photorhabdus* spp., respectivamente) que son los verdaderos patógenos de los insectos.



■ **Nemátodos: gusanos no segmentados**

■ Los nemátodos son gusanos transparentes; la mayoría de las especies tienen un cuerpo alargado con los extremos (cabeza y cola) aguzados. La estructura básica del cuerpo se caracteriza por un cilindro externo (la pared corporal), un cilindro interno (el tubo digestivo) y una cavidad llena de fluido entre ambos cilindros, que contiene también células y el sistema reproductivo. La mayoría de los nemátodos tienen un tamaño diminuto, en el orden de 1 mm de longitud, lo que requiere del uso de microscopios para su estudio.

La morfología de los nemátodos refleja su adaptación al ambiente; por ejemplo, la forma de gusano y el tamaño microscópico facilitan el movimiento

en el espacio entre las partículas de suelo o sedimento (**Figura 1A**). En la cabeza aparece la boca rodeada por un número variable de setas sensoriales y frecuentemente aparecen dos estructuras quimiorreceptoras a ambos lados, los ánfidos (**Figura 1B**). La cutícula muestra estructuras que permiten la adaptación al medio. Por ejemplo, las especies que habitan entre los granos de arena, sometidos a la influencia del oleaje, portan anillos gruesos que refuerzan la cutícula y setas sensoriales fuertes a lo largo del cuerpo (**Figura 1C**). Algunas especies se alimentan sólo de bacterias, por lo que su cavidad bucal es muy pequeña, y los ánfidos se desarrollan mucho ocupando una posición casi frontal en la cabeza (**Figura 1D**).

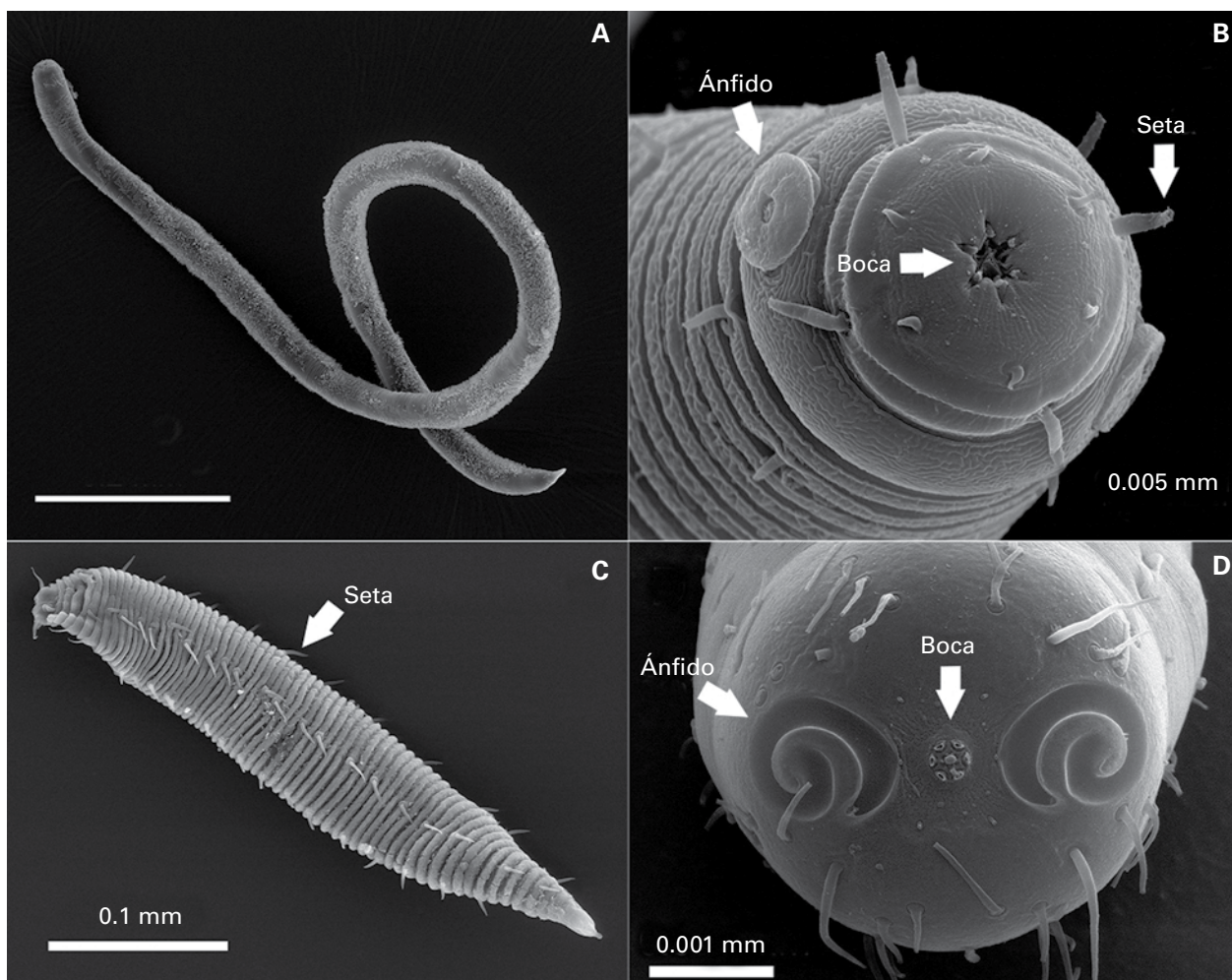


Figura 1. Fotos de nemátodos de vida libre al microscopio electrónico de barrido. Las flechas blancas indican las estructuras mencionadas en el texto. A) Cuerpo completo de *Leptonemella granulosa*, un nemátodo típico de arenas coralinas. B) Vista frontal de *Desmodora pontica*. C) Cuerpo completo de *Tricoma* sp. D) Vista frontal de *L. granulosa*. Imágenes originales del autor.

Los nemátodos tienen una amplia variedad de formas corporales y estrategias de vida. La única característica común a todo el grupo está relacionada con su desarrollo, que comienza con un huevo e incluye cinco eventos de muda. La propiedad de mudar la cutícula (conocida como *ecdysis*) es compartida por otros grupos de animales, como los artrópodos y los tardígrados. El estudio de la *ecdysis* en nemátodos fue fundamental para proponer modelos sobre las relaciones de parentesco entre los grupos de animales y generar teorías sobre la evolución de la vida.

Nemátodos: abundantes, ubicuos y diversos

En 1914 Nathaniel Cobb escribió la frase “si toda la materia del universo excepto los nemátodos fuese barrida, nuestro mundo todavía sería vagamente reconocible, [...] encontraríamos sus montañas, colinas, valles, ríos, lagos y océanos representados por una fina película de nemátodos”. Esta frase se refiere a la abundancia de los nemátodos sobre la Tierra. De todos los grupos de animales, los nemátodos son los más abundantes, contribuyendo al menos en un 50% a la abundancia total en suelos y sedimentos. Sólo los virus y organismos unicelulares como bacterias y protistas son más abundantes que los nemátodos.

Los nemátodos ocurren en todos los hábitats de la Tierra. Se han reportado especies de estos organismos en uno de los sitios más profundos del océano, la fosa Kermadec en el Pacífico Sur, a 10 km de profundidad. El nemátodo *Halicephalobus mephisto* tiene el récord de ser el organismo multicelular que más profundo habita dentro de la corteza terrestre, aproximadamente a 1.3 km de profundidad en una mina de oro en Sudáfrica. Se pensaba que la biosfera bajo la superficie del planeta estaba habitada sólo por bacterias y protistas, pero con este descubrimiento se extiende el rango de distribución de los animales en el dominio subterráneo. Se han reportado además nemátodos que viven en otros ambientes extremos, con ausencia casi total de oxígeno o con acumulación de sustancias tóxicas. Por ejemplo, el nemátodo *Auanema* sp. es capaz de sobrevivir en el lago Mono, con aguas hipersalinas, de alta alca-

linidad, donde resiste 500 veces la dosis de arsénico que para un ser humano resultaría letal.

El término *diversidad* se refiere a la variedad de la vida y es una propiedad de las comunidades de organismos. Nematoda es el cuarto *phylum* más diverso de animales y se estima que más de la mitad de las especies no han sido descubiertas aún. Su éxito ecológico se debe a dos características generales. Primero, su capacidad de alimentarse de diversas fuentes de carbono en suelos y sedimentos, ya que pueden incorporar materia orgánica disuelta en el agua, o carbono en forma de partículas inertes, o depredar a microorganismos y otros animales. Segundo, son capaces de tolerar condiciones ambientales adversas, tanto mediante mecanismos de detoxificación en la cutícula o entrando en animación suspendida o criptobiosis, un estado fisiológico en el que el metabolismo se reduce a un nivel mínimo.

Recientemente, un equipo de científicos rusos extrajo muestras de suelo permanentemente congelado (permafrost) en Siberia y determinaron, con la técnica de fechado de carbono 14, que esas muestras tienen una antigüedad de 46 000 años. En las muestras encontraron nemátodos congelados de los géneros *Panagrolaimus* y *Plectus* que fueron capaces de reanimarse, e incluso reproducirse, a pesar de estar en estado de criptobiosis desde el Pleistoceno. Este descubrimiento abre nuevas perspectivas sobre la preservación, por miles de años, de muestras de células y tejidos y sobre el descubrimiento de especies que vivieron en el pasado geológico de la Tierra.

Los nemátodos como organismos modelo

El nemátodo *Caenorhabditis elegans*, una especie terrestre de vida libre, es el modelo animal más empleado en estudios de biología celular y molecular. Los estudios sobre *C. elegans* comenzaron en 1965, con Sydney Brenner, ganador del premio Nobel en 2002 por sus investigaciones sobre la muerte celular programada. En la actualidad hay más de 1 000 laboratorios investigando sobre *C. elegans*, y existe un sitio web permanente sobre recursos genéticos (www.wormbase.org) y otro sobre imágenes (www.wormatlas.org). Estos esfuerzos de colaboración han

permitido enormes progresos para entender procesos celulares y moleculares con aplicación a la biomedicina y la evolución. Por ejemplo, *C. elegans* fue el primer animal del cual se obtuvo la secuencia completa de su genoma en 1988, y el primer mapa de conexiones neuronales completas en 2019. El estudio de esta especie ha contribuido decisivamente en disciplinas como la genética y la biología del desarrollo.

■ ■ ■ **Nemátodos y funcionamiento de los ecosistemas**

■ Los ecosistemas contribuyen al bienestar de la sociedad humana a través de servicios tales como el provisionamiento de combustibles y el reciclaje de nutrientes. Estos servicios son ecológicos por su naturaleza y dependen de componentes vivos de los ecosistemas, como microorganismos, hongos, ani-

males y plantas. Una pregunta pertinente es cómo los nemátodos influyen en procesos ecosistémicos esenciales para mantener la vida en el planeta. La respuesta se puede ilustrar con un ejemplo que muestra el efecto de la actividad de los nemátodos sobre el reciclaje de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica en los sedimentos marinos (véase la **Figura 2**).

La fotosíntesis es un proceso esencial para la vida en la Tierra, pues a partir de la energía solar, y en presencia de agua y nutrientes, se genera carbono orgánico y oxígeno. El carbono orgánico sintetizado por el fitoplancton tiende a hundirse y se transforma en nutrientes durante su descenso en la columna de agua y acumulación en los sedimentos marinos. La descomposición de la materia orgánica es realizada fundamentalmente por microorganismos (bacterias,

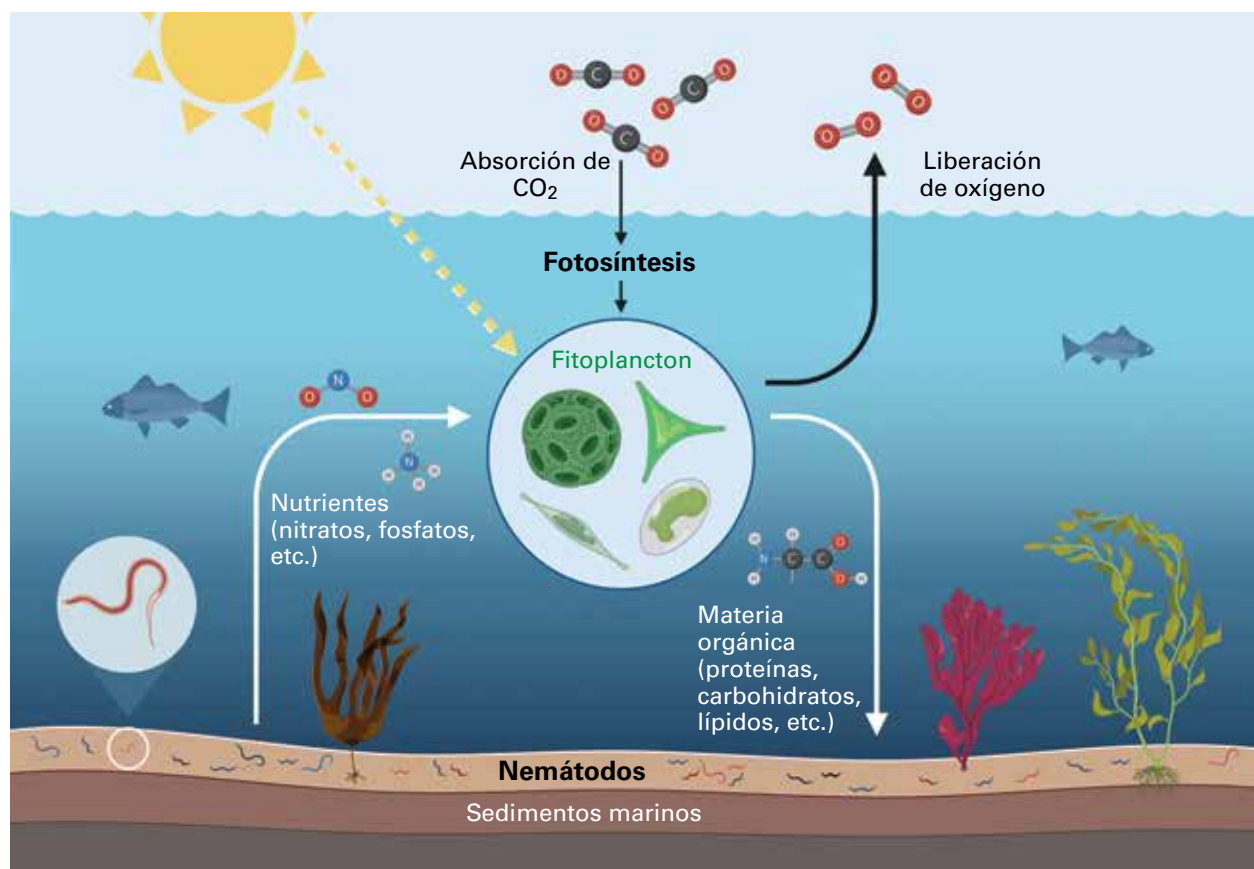


Figura 2. Esquema del proceso de reciclaje de nutrientes y descomposición de la materia orgánica en el océano costero. El carbono orgánico generado durante la fotosíntesis por el fitoplancton se transforma en nutrientes por la actividad de microorganismos del sedimento. Los nemátodos aceleran este proceso al consumir los microorganismos y excretar nutrientes. El reciclaje de nutrientes y descomposición de la materia orgánica afectan servicios ecosistémicos esenciales como la absorción de CO_2 de la atmósfera al océano y la producción de oxígeno por el fitoplancton. Creado con BioRender.com sobre una plantilla realizada por Ali Al Musawi y Gaia Lugano.

protistas y hongos) que cuentan con enzimas para convertir los compuestos complejos en nutrientes más simples. Sin embargo, los nemátodos aceleran la descomposición pues se alimentan de estos microorganismos manteniéndolos en una fase de crecimiento activo. Si no hubiese nemátodos, el proceso de descomposición sería mucho más lento y menos eficiente. Los nemátodos, por medio del movimiento dentro de los sedimentos, promueven la mezcla de partículas y la irrigación de sustancias como el oxígeno y nutrientes que son liberados nuevamente a la columna de agua, donde pueden ser empleados en el metabolismo del ecosistema.

El océano incluye extensas áreas de sedimentos donde los nemátodos constituyen más del 50 % de los animales, en el orden de millones por metro cuadrado de fondo; esto genera un efecto significativo sobre el funcionamiento de los ecosistemas. En el esquema mostrado en la **Figura 2** se ven dos flujos de alcance global que son esenciales para la vida en el planeta: la absorción de dióxido de carbono (CO₂) por parte del océano –un aspecto clave en la mitigación del cambio climático– y la liberación de oxígeno. Esta influencia de los nemátodos de vida libre en los procesos globales ilustra su importancia para la biosfera y para la sociedad humana.

Maickel Armenteros

Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
maickel_armenteros@ola.icmyl.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Lee, D. L. (2002), *The Biology of Nematodes*, Londres, Taylor and Francis.
- Schmidt-Rhaesa, A. (ed.) (2014), *Handbook of Zoology. Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera*, vol. 2: Nematoda, Berlín, De Gruyter.
- Shatilovich, A., V. R. Gade, M. Pippel *et al.* (2023), “A novel nematode species from the Siberian permafrost shares adaptive mechanisms for cryptobiotic survival with *C. elegans* dauer larva”, *PLOS Genetics*, 19:e1010798. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1010798>, consultado el 24 de abril de 2025.
- Shih, P.-Y., J. S. Lee, R. Shinya *et al.* (2019), “Newly identified nematodes from Mono Lake exhibit extreme arsenic resistance”, *Current Biology*, 29(19): 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.024>, consultado el 24 de abril de 2025.