

Neodermata: Un viaje evolutivo lleno de misterios

Neodermata: An evolutionary journey full of mysteries

Víctor Hugo Caña-Bozada

victorcana1991@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8982-8618>

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Mazatlán, Sinaloa, México

Francisco Neptalí Morales-Serna

neptali@ola.icmyl.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2577-5369>

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa, México

Recibido: 10 de enero de 2024.

Aceptado: 22 de marzo de 2024.

Publicado: 5 de julio de 2024.

Doi: <https://doi.org/10.29057/h.v6i2.12024>

Resumen

Los Neodermata son gusanos planos parásitos que tienen un papel relevante en temas de salud pública y veterinaria. Aunque se ha investigado mucho sobre ellos, varios aspectos de su historia evolutiva siguen siendo un misterio. La investigación tradicional se basaba en su anatomía, pero con avances tecnológicos, el análisis del ADN ha revelado nuevas conexiones entre diferentes especies. Estos parásitos se dividen en tres clases principales: Monogenea, Trematoda y Cestoda. Cada una tiene adaptaciones únicas que les permiten prosperar en sus respectivos ambientes y hospederos. Las hipótesis sobre sus raíces evolutivas son diversas y continúan en discusión. Estos parásitos son ejemplos sorprendentes de adaptación y evolución, y su estudio es relevante para el desarrollo de tratamientos antiparasitarios.

Palabras clave: Plathelminths, genómica, evolución, filogenia

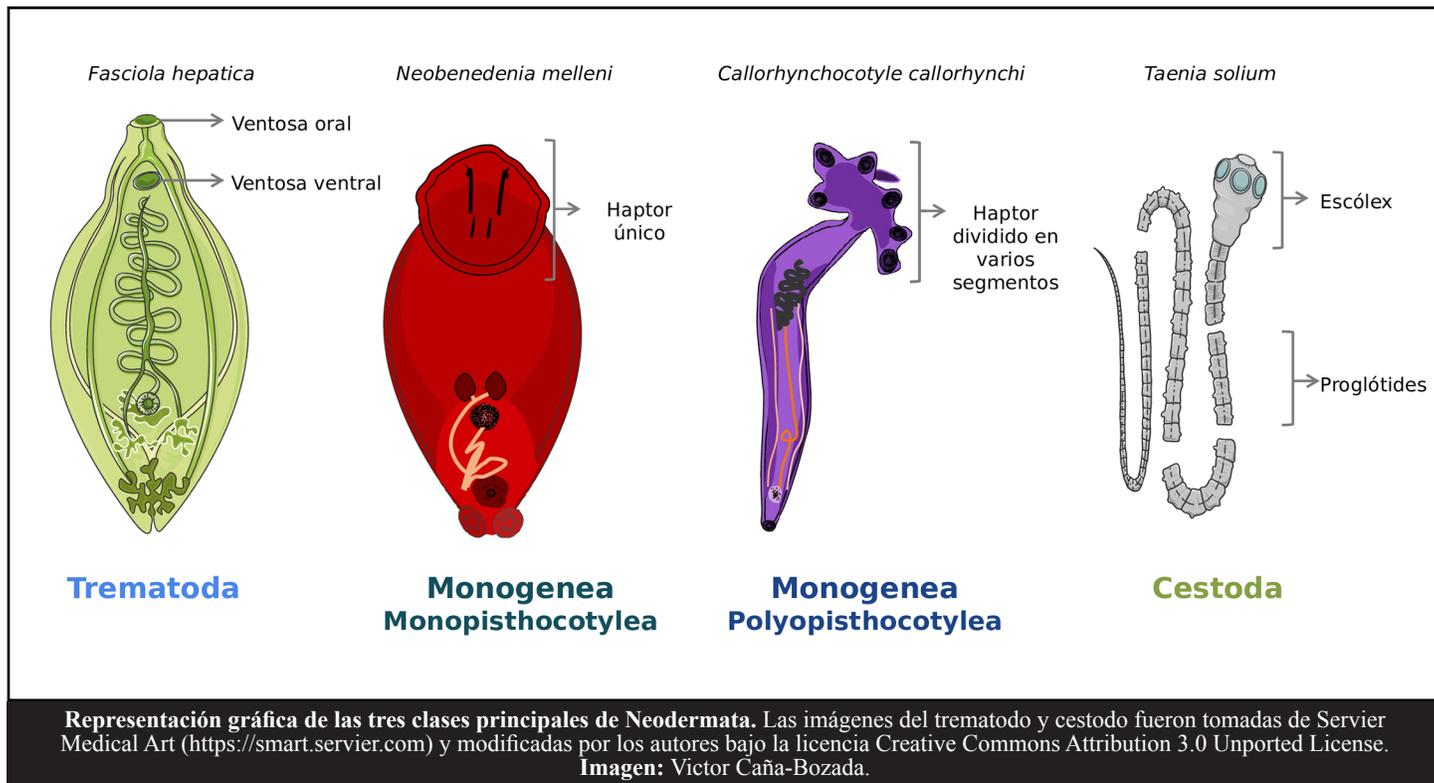
Abstract

Neodermata are parasitic flatworms that have a crucial role in public and veterinary health issues. Although much has been researched about them, many aspects of their evolutionary history remain a mystery. Traditional research is based on their anatomy, but with technological advancements, DNA analysis has uncovered new connections between different species. These parasites are divided into three main classes: Monogenea, Trematoda, and Cestoda. Each has unique adaptations that allow them to thrive in their respective environments and hosts. The hypotheses about their evolutionary roots are diverse and continue to be discussed. These parasites are astounding examples of adaptation and evolution, and their study is relevant for the development of antiparasitic treatments.

Keywords: Platyhelminths, genomics, evolution, phylogeny

Los Neodermata: Un vistazo a parásitos sorprendentemente diversos

En un mundo oculto a nuestros ojos residen seres minúsculos que han sobrevivido y evolucionado a lo largo de millones de años. No son producto de relatos de ciencia ficción, sino gusanos planos parásitos conocidos como Neodermata, los cuales tienen un papel trascendental en la salud global. Estos parásitos, caracterizados por estar formados en su etapa adulta de un tegumento sincitial (es decir, una capa de células multinucleadas que recubre su cuerpo) llamado neodermis, se clasifican en tres clases: Monogenea, Trematoda y Cestoda (Littlewood *et al.*, 1999a).

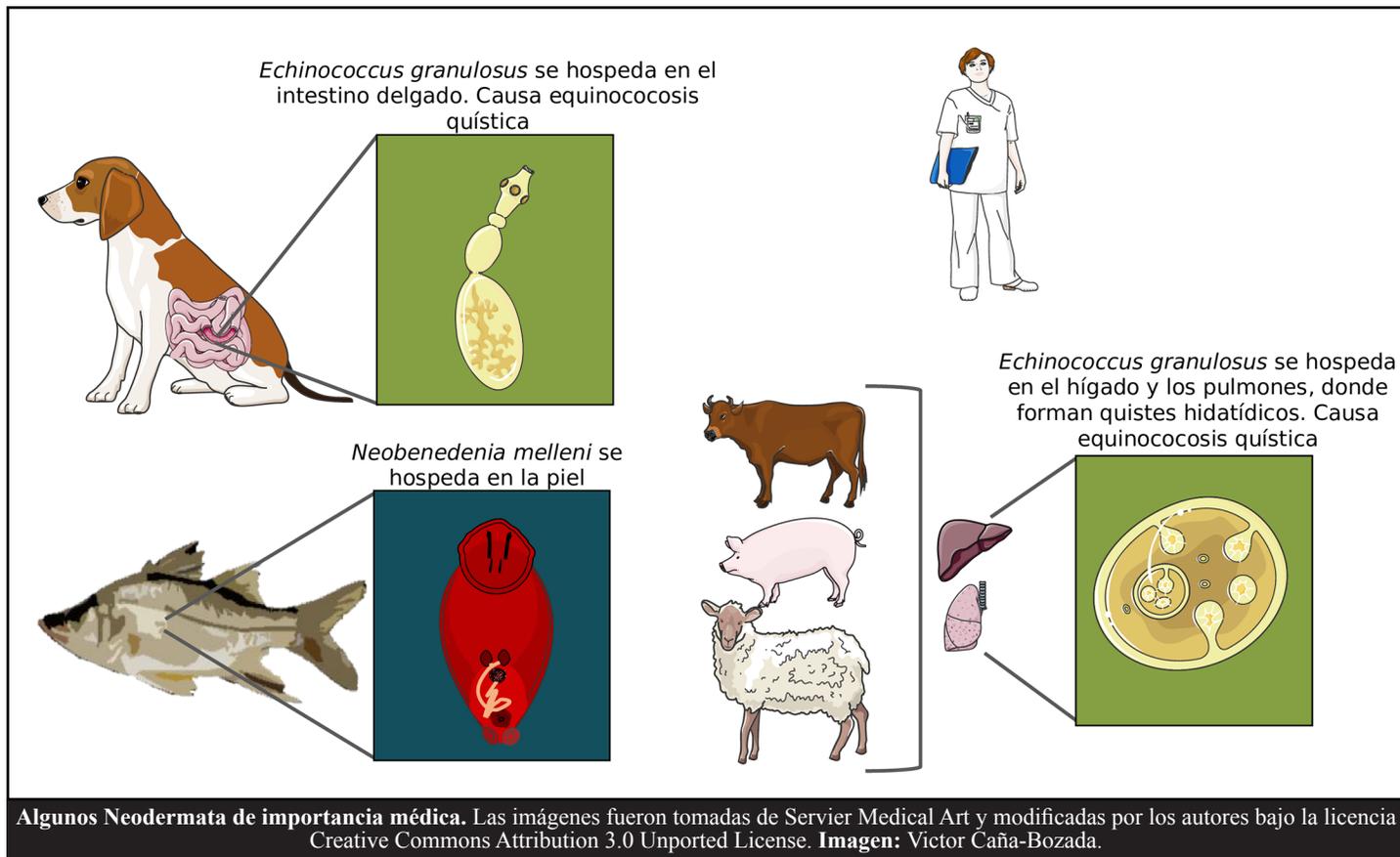


Los monogeneos son predominantemente ectoparásitos de peces, pero también parasitan a otros animales acuáticos o semiacuáticos como anfibios, tortugas e hipopótamos. Estos parásitos son organismos planos muy pequeños, del ancho de un grano de arena, aunque existen algunas especies que rompen con el estereotipo de ser pequeños. Los monogeneos se caracterizan por poseer en su extremo posterior un órgano de fijación llamado haptor, equipado con ganchos diminutos que les permiten adherirse firmemente a las branquias y otros tejidos de sus hospederos. Los monogeneos poseen un ciclo de vida directo o simple (con un estadio larval), lo que significa que solo necesitan un hospedero para completar su desarrollo. Esta característica les permite llegar a ser altamente numerosos y causar enfermedades en sistemas de cultivo piscícola, provocando notables pérdidas económicas. Los monogeneos se clasifican en dos subclases: Monopisthocotylea y Polyopisthocotylea, que se diferencian por la morfología del haptor y dieta. Los Monopisthocotylea poseen un haptor con una estructura única en forma de disco y se alimentan de piel y mucus, una sustancia viscosa que cubre la superficie del cuerpo de los peces. Por otro lado, los Polyopisthocotylea tienen un haptor conformado por varias escleritas y/o ventosas y se alimentan de sangre (Perkins *et al.*, 2010).

Por su parte, los trematodos son parásitos que cuando son adultos habitan los órganos internos de varias especies de animales. El cuerpo de estos endoparásitos tiene una forma similar a las hojas de las plantas y lleva dos ventosas que utilizan para sujetarse a sus hospederos. Tienen ciclos de vida indirectos o complejos (con diferentes estadios

larvarios), lo que significa que necesitan de diferentes hospederos (intermediarios y definitivos) para completar su desarrollo. Sus hospederos incluyen invertebrados como caracoles (intermediarios) y varias especies de vertebrados (definitivos), incluyendo el humano y animales domesticados, como las mascotas y los animales de consumo. Poseen una dieta variada que incluye sangre y tejido del hospedero que habitan. En las áreas de medicina y veterinaria, los trematodos son de gran importancia debido a las enfermedades que pueden ocasionar, tales como la esquistosomiasis en humanos y la fascioliasis en ganado (Hillyer, 2005).

Finalmente tenemos a los cestodos, también conocidos como tenias, que son endoparásitos que cuando son adultos viven en el interior del intestino de sus hospederos. Estos parásitos se caracterizan por tener cuerpos largos en forma de cinta, conformados por una serie de segmentos denominados proglótides. En su parte anterior destaca una región llamada escólex, la cual posee diferentes estructuras como ventosas y/o ganchos que sirven para adherirse al hospedero. Como los trematodos, también tienen un ciclo de vida complejo o indirecto. Los cestodos utilizan invertebrados como hospedero intermediario, cerrando su ciclo de vida en vertebrados, incluyendo a humanos y ganado, causando significativos problemas económicos y de salud. A diferencia de los trematodos y monogeneos, los cestodos están desprovistos de intestino por lo que su superficie corporal se ha convertido en una capa tejido especializado en la absorción de nutrientes; de esta manera, los cestodos adultos aprovechan el alimento digerido en el tracto intestinal de su hospedero (Dalton *et al.*, 2004).



Dada la gran diversidad de los Neodermata, los científicos se han hecho varias preguntas para imaginar cómo ha sido su evolución, ¿quiénes surgieron primero, los ectoparásitos o los endoparásitos, los que se alimentan de sangre o células epiteliales? ¿el endoparasitismo de trematodos y cestodos evolucionó de forma independiente? ¿qué tan emparentados están realmente los monopistocotíleos y poliopistocotíleos? Responder estas preguntas es importante no solo para nuestra comprensión de la evolución de los Neodermata, sino también para contribuir en el desarrollo de medicamentos, vacunas, métodos de diagnóstico y control contra especies que afectan la salud tanto de humanos como de animales domésticos y de cultivo. Además, es igualmente importante explorar aquellas especies parásitas de animales silvestres, dado que muchas de ellas están estrechamente relacionadas con las de importancia médica y veterinaria. Es posible que estas especies compartan una similitud alta en términos de genes, proteínas y metabolitos, lo que sugiere que un fármaco eficaz contra una de ellas podría tener aplicabilidad para las especies más cercanamente relacionadas.

Raíces evolutivas de Neodermata: Un viaje a través de teorías y controversias

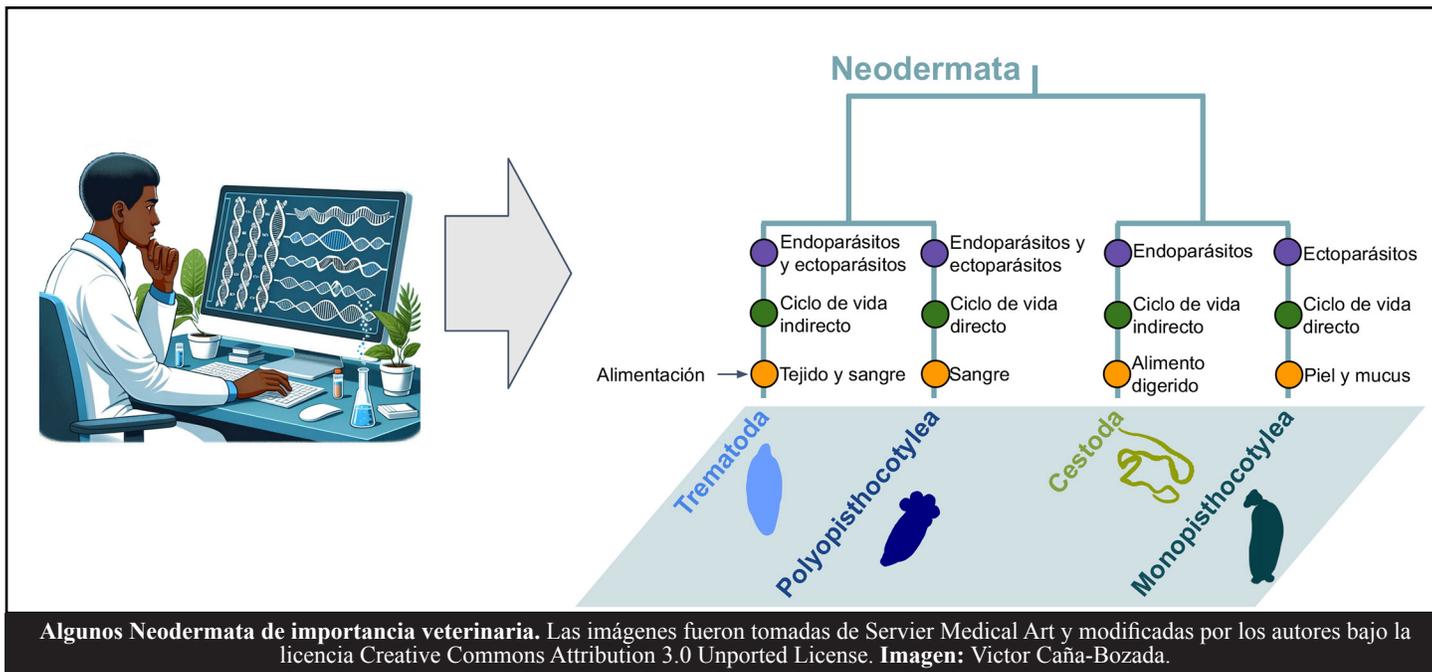
El misterioso proceso evolutivo de los Neodermata ha sido objeto de intenso debate y especulación durante décadas. Existen varias hipótesis evolutivas del surgimiento de este grupo, de ellas se enlistan las siguientes:

1. Los ectoparásitos: ¿Precursores de los Neodermata?

Los análisis moleculares de genomas mitocondriales sugieren que los primeros Neodermata podrían haber sido ectoparásitos, similares a los Monopisthocotylea que se alimentan del epitelio de peces (Park *et al.*, 2007; Perkins *et al.*, 2010). Esta hipótesis tiene sentido si consideramos que la transición de un ancestro de vida libre (con una dieta omnívora) hacia el ectoparasitismo (alimentándose de la piel) no habría demandado cambios tan drásticos en la alimentación ni en la fisiología digestiva; por lo tanto, el principal cambio morfológico que un ectoparásito habría tenido que desarrollar sería el surgimiento de órganos especializados en mantener un contacto constante con su hospedero (Perkins *et al.*, 2010). Según Perkins *et al.* (2010), el siguiente paso evolutivo en el parasitismo dentro de los Neodermata habría sido un cambio en la dieta, pasando del epitelio a la sangre, por lo cual los monopistocotíleos epiteliales dieron lugar a parásitos similares a los poliopistocotíleos, que son monogéneos hematófagos, es decir que se alimentan de sangre. En última instancia, según dicha hipótesis, los cestodos y trematodos evolucionaron a partir de los monogéneos hematófagos.

2. Endoparásitos: ¿El verdadero linaje ancestral?

Algunos investigadores no están de acuerdo con la hipótesis del origen ectoparasítico de Neodermata, argumentando que implica una mayor complejidad y requeriría más cambios evolutivos en comparación a un origen endoparasítico



(Littlewood *et al.*, 1999b). En este sentido, algunos análisis de datos morfológicos y moleculares (particularmente del gen 18S rDNA) sugieren que Neodermata se originó a partir de endoparásitos (Littlewood *et al.*, 1999b). La base de esta hipótesis radica en que, excepto por Monogenea, todos los Neodermata son endoparásitos. Sin embargo, esta visión tampoco está exenta de críticas, especialmente ante el análisis de genomas mitocondriales que indican un origen ectoparasitario (Perkins *et al.*, 2010). La hipótesis basada en los resultados del análisis de genomas mitocondriales se ve reforzada por las características biológicas simplificadas de los ectoparásitos monopistocotíleos, tales como su mecanismo copulador y su ciclo de vida directo (Perkins *et al.*, 2010).

La diversificación de Neodermata: Un rompecabezas en construcción

Además de las incertidumbres sobre su origen, las relaciones de parentesco entre las distintas clases de Neodermata aún no se entienden claramente. En general, se cree que los cestodos y trematodos son grupos hermanos. Esta hipótesis sugiere que los cestodos surgieron de un linaje ancestral de trematodos, lo cual ha sido apoyado por análisis filogenéticos (métodos usados para estudiar las relaciones de parentesco entre diferentes organismos) que emplean genomas mitocondriales (ADN contenido en las mitocondrias) y genes ribosomales (segmentos de ADN que contienen instrucciones para la síntesis de proteínas y forman parte de los ribosomas), como el 18S rDNA y el 28S rDNA (Lockyer *et al.*, 2003; Park *et al.*, 2007). El sentido de esta hipótesis se basa principalmente en que ambos grupos poseen características de historias de vida similares como lo son el endoparasitismo y ciclo de vida indirecto. Sin embargo, la ausencia de rasgos físicos

distintivos compartidos entre Cestoda y Trematoda no apoya esta hipótesis (Lockyer *et al.*, 2003).

También, generalmente se cree que los monopistocotíleos y poliopistocotíleos son grupos hermanos, que descienden de un ancestro en común. Esta hipótesis es aceptada porque los monopistocotíleos y poliopistocotíleos tienen historias de vida y caracteres morfológicos parecidos; por ejemplo, todas sus especies tienen haptor y ciclos de vida directos. Sin embargo, la evidencia molecular ha puesto en duda esta relación de hermanos (Littlewood *et al.*, 1999a; Perkins *et al.*, 2010).

Las controversias entre estas hipótesis se deben en gran medida al tipo de datos, ya sea morfológicos o moleculares, utilizados para los análisis. Algunos de estos datos presentan limitaciones para la exploración filogenética. A modo de ilustración, el uso de genes y genomas mitocondriales para la construcción filogenética se ve entorpecido por su elevada tasa de sustitución (Caña-Bozada y Morales-Serna, 2023). Aunque los genes nucleares serían una opción más adecuada, la realidad es que la gran mayoría de los análisis filogenéticos se han basado en un número limitado de estos genes, lo que conduce a resultados menos sólidos. Pese a que existen investigaciones filogenéticas que emplean un amplio conjunto de genes nucleares, conocidos como análisis filogenómicos, la ausencia de representantes de algunos de los principales linajes de Neodermata en dichos estudios limita sus conclusiones (ver Caña-Bozada *et al.*, 2023).

Abordando las limitaciones relacionadas con el tipo de datos empleados, Caña-Bozada *et al.* (2023) analizaron varios cientos de genes nucleares, extraídos de datos genómicos y transcriptómicos de 11 especies de Neodermata. Este estudio arrojó resultados reveladores, poniendo en tela de



Representación gráfica de la filogenia de Neodermata. La imagen al lado izquierdo de la flecha fue generada por DALL-E de OpenAI (2023).
Imagen: Víctor Caña-Bozada.

juicio la hipótesis convencional que sitúa a los cestodos y trematodos como grupos hermanos.

Los hallazgos sugieren que, a pesar de que ambos son endoparásitos y poseen ciclos de vida indirectos, su evolución pudo haberse dado de manera independiente a partir de diferentes grupos dentro de Neodermata. El estudio también plantea la posibilidad de una relación cercana entre Cestoda y Monopisthocotylea, así como una relación cercana entre Trematoda y Polyopisthocotylea, la cual no se había discutido previamente. Tanto trematodos como poliopistocotíleos se caracterizan por haber incorporado una dieta basada en sangre. A pesar de intentar hallar características morfológicas que confirmen este vínculo, no se han identificado atributos definitivos. Según Littlewood *et al.* (1999b), ambos grupos comparten una peculiaridad en la estructura denominada bulbo de llama; sin embargo, este rasgo también se observa en varios monopistocotíleos.

Es esencial reconocer la estrecha relación filogenética entre Trematoda y Polyopisthocotylea, ya que se sugiere que sus moléculas serían más similares entre sí que en comparación con los monopistocotíleos o cestodos (Caña-Bozada *et al.*, 2023). Esta proximidad tiene implicaciones prácticas en temas de blancos de fármacos, ya que la cercanía filogenética de estos grupos indica que, si un gen o una proteína específica tiene un rol relevante para la supervivencia de trematodos, esa misma molécula podría estar presente y ser esencial en poliopistocotíleos. En temas de desarrollo de fármacos, la similitud filogenética sugiere que un fármaco o compuesto químico que actúa sobre una proteína de trematodos podría ser eficaz contra poliopistocotíleos, dado que podrían compartir proteínas similares. Esto puede acelerar el proceso de descubrimiento de fármacos. En temas de vacunas, si se está diseñando

una vacuna basada en antígenos específicos de uno de estos parásitos y se demuestra su eficacia inmunológica, se podría explorar la presencia de antígenos homólogos en el grupo hermano.

Adaptarse para sobrevivir

Con respecto a su relación con el ambiente, los neodermatas son verdaderos maestros de la adaptación, logrando infectar a una amplia variedad de especies, tanto animales vertebrados como invertebrados. Estos parásitos han desarrollado habilidades increíbles para sobrevivir, desde herramientas físicas (como ganchos y ventosas), hasta cambios bioquímicos para evadir el sistema inmunológico del hospedero.

Algunos neodermatas incluso han desarrollado la capacidad de manipular a sus hospederos. Existen parásitos manipuladores que inducen cambios fenotípicos (morfología, comportamiento, fisiología, etc.) en sus hospederos, lo cual incrementa la probabilidad de su transmisión de un hospedero a otro, asegurando así que sus descendientes se liberaren en un lugar apropiado (Lefèvre *et al.*, 2009); un ejemplo de esto sucede cuando una etapa larvaria del trematodo *Curtuteria australis*, daña el pie de la almeja *Austrovenus stutchburyi*, evitando que se entierre en el sedimento y quede propensa a ser comida por las aves acuáticas (Thomas y Poulin, 1998).

Conclusión

Más allá de la necesidad práctica de comprenderlos, los neodermatas nos recuerdan que la vida es maravillosa y compleja. Son un recordatorio de que los seres vivos siempre encuentran una manera de adaptarse frente a desafíos aparentemente insuperables. A medida que se desarrollan

nuevas técnicas y tecnologías de investigación, es posible que los científicos puedan obtener más información y evidencia para apoyar una de estas hipótesis, y resolver esta cuestión fundamental en temas de biología, evolución e incluso en temas médicos. 

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado al proyecto Ciencia de Frontera No. 1715616, titulado: “Proteínas excretoras/secretoras de monogeneos: identificación, caracterización, actividad inmunomoduladora y potencial para el control mejorado de parásitos”, y por la beca de doctorado otorgada a Víctor Hugo Caña-Bozada.

Referencias

- Caña-Bozada, V. y Morales-Serna, F. N. (2023). PANAS: Pipeline and a case study to obtain synonymous and nonsynonymous substitution rates in genes of Platyhelminthes. *Comparative Parasitology*, 90(1), 5-10. <https://doi.org/10.1654/COPA-D-22-00011>
- Caña-Bozada, V. H., Robinson, M. W., Hernández-Mena, D. I. y Morales-Serna, F. N. (2023). Exploring Evolutionary Relationships within Neodermata Using Putative Orthologous Groups of Proteins, with Emphasis on Peptidases. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 8 (1), 59. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed8010059>
- Dalton, J. P., Skelly, P. y Halton, D. W. (2004). Role of the tegument and gut in nutrient uptake by parasitic platyhelminths. *Canadian Journal of Zoology*, 82 (2), 211-232. <https://doi.org/10.1139/z03-21>
- Hillyer, G. V. (2005). Fasciola antigens as vaccines against fascioliasis and schistosomiasis. *Journal of Helminthology*, 79 (3), 241-247. <https://doi.org/10.1079/JOH2005304>
- Lefèvre, T., Lebarbenchon, C., Gauthier-Clerc, M., Missé, D., Poulin, R. y Thomas, F. (2009). The ecological significance of manipulative parasites. *Trends in Ecology & Evolution*, 24 (1), 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.08.007>
- Littlewood, D. T. J., Rohde, K. y Clough, K. A. (1999a). The interrelationships of all major groups of Platyhelminthes: phylogenetic evidence from morphology and molecules. *Biological Journal of the Linnean Society*, 66 (1), 75-114. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1999.tb01918.x>
- Littlewood, D. T. J., Rohde, K., Bray, R. A. y Herniou, E. A. (1999b). Phylogeny of the Platyhelminthes and the evolution of parasitism. *Biological Journal of the Linnean Society*, 68 (1-2), 257-287. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1999.tb01169.x>
- Lockyer, A. E., Olson, P. D. y Littlewood, D. T. J. (2003). Utility of complete large and small subunit rRNA genes in resolving the phylogeny of the Neodermata (Platyhelminthes): implications and a review of the cercomer theory. *Biological Journal of the Linnean Society*, 78 (2), 155-171. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2003.00141.x>
- Park, J. K., Kim, K. H., Kang, S., Kim, W., Eom, K. S. y Littlewood, D. T. J. (2007). A common origin of complex life cycles in parasitic flatworms: evidence from the complete mitochondrial genome of *Microcotyle sebastis* (Monogenea: Platyhelminthes). *BMC Evolutionary Biology*, 7(11), 1-13. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-7-11>

Perkins, E. M., Donnellan, S. C., Bertozzi, T. y Whittington, I. D. (2010). Closing the mitochondrial circle on paraphyly of the Monogenea (Platyhelminthes) infers evolution in the diet of parasitic flatworms. *International Journal for Parasitology*, 40 (11), 1237-1245. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.02.017>

Thomas, F. y Poulin, R. (1998). Manipulation of a mollusc by a trophically transmitted parasite: convergent evolution or phylogenetic inheritance?. *Parasitology*, 116 (5), 431-436. <https://doi.org/10.1017/S003118209800239X>

