

# 05

## SECCIÓN SEMANA DEL CEREBRO

### »» UN GUSANO QUE ENSEÑA CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO

Katia López Torres<sup>1\*</sup>, Josué Altamirano Hernández<sup>2</sup>  
y Asdrúbal Aguilera Méndez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,  
<sup>2</sup>Facultad de Biología, Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo.

\*Contacto: 1720345x@umich.mx



### Resumen

El cerebro es básicamente el centro de control de nuestro cuerpo. Gracias a él podemos recordar experiencias, aprender cosas nuevas y tomar decisiones todos los días. Sin embargo, como suele pasar con el resto de nuestro cuerpo, trabaja de manera tan eficiente que solemos no tomarlo en cuenta, a menos que comience a fallar. ¿Cómo estudia la ciencia el envejecimiento cerebral y enfermedades que afectan el funcionamiento eficaz del cerebro como el Alzheimer o Parkinson si el cerebro humano es tan complejo? Una respuesta sorprendente está en *Caenorhabditis elegans*, un gusano microscópico con un sistema nervioso tan simple, que se conoce la identidad y las conexiones de cada una de las 302 neuronas que lo componen. Este artículo, en el marco de la Semana del Cerebro, explora cómo el estudio de un organismo milimétrico contribuye a entender procesos neurológicos complejos y cómo este conocimiento impacta la vida cotidiana, particularmente en la evaluación científica de suplementos alimenticios y en la promoción de un envejecimiento cerebral saludable.

**Palabras clave:** cerebro, neurodegeneración, *Caenorhabditis elegans*.

De manera automática utilizamos nuestro cerebro diariamente. Gracias a él recordamos una conversación, aprendemos nuevas habilidades, tomamos decisiones y experimentamos emociones. Sin embargo, rara vez reflexionamos sobre su complejidad hasta que algo deja de funcionar correctamente. Cuando aparecen síntomas de enfermedad, que para el caso del sistema nervioso se llaman enfermedades neurodegenerativas o comúnmente conocidas como problemas de memoria, el cerebro deja de ser invisible y se convierte en una preocupación central para las personas, sus familias y la sociedad.

### Un organismo pequeño para preguntas enormes

El cerebro humano es el centro del sistema nervioso y su estudio es sumamente complejo. Está formado por miles de millones de neuronas (células especializadas que transmiten información mediante señales eléctricas y químicas) organizadas en redes altamente especializadas. Comprender cómo se forman estas conexiones, cómo se mantienen a lo largo de la vida y por qué se deterioran con el envejecimiento representa uno de los mayores retos de la ciencia. Además de las dificultades técnicas, existen limitaciones éticas que impiden estudiar directamente muchos de estos procesos en humanos, así como el hecho de que algunos ocurren a lo largo de décadas.

Por esta razón, los científicos utilizan modelos biológicos más simples que permiten analizar los principios básicos del funcionamiento del sistema nervioso en condiciones controladas. Como se muestra en la Figura 1, estos modelos abarcan desde niveles muy simples, como moléculas y células aisladas, hasta organismos completos con distintos grados de complejidad, como el nematodo *Caenorhabditis elegans*, peces, roedores y, finalmente, primates y humanos. Esta progresión permite seleccionar el modelo más adecuado dependiendo del tipo de pregunta científica que se desee responder.

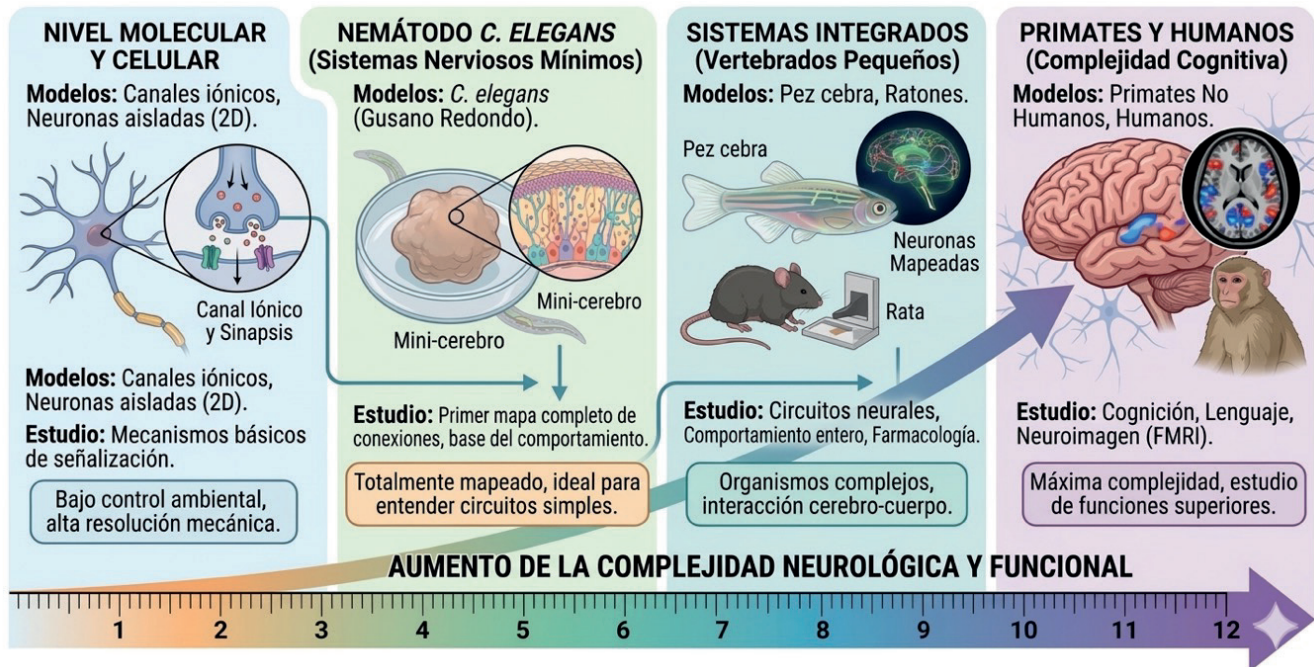


Figura 1. De lo simple a lo complejo: modelos biológicos para el estudio del cerebro. Diagrama comparativo que ilustra la escala de complejidad biológica y funcional en la neurociencia. Se observa la progresión desde el nivel molecular y celular (canales iónicos y neuronas aisladas), pasando por organismos con sistemas nerviosos mínimos como el nematodo *C. elegans* (totalmente mapeado), hasta alcanzar sistemas integrados en vertebrados (pez cebra y ratones) y la máxima complejidad cognitiva en primates y humanos. Esta jerarquía permite a los investigadores seleccionar el modelo más adecuado según el enfoque del estudio y las limitaciones éticas. Elaboración propia en google GEMINI.

Uno de los modelos más influyentes en la neurociencia es *Caenorhabditis elegans*, un nematodo del suelo de aproximadamente un milímetro de longitud, cuya apariencia simple y transparente contrasta con su gran impacto científico, ya que desde la década de 1970 ha sido ampliamente utilizado como modelo experimental debido a su corto ciclo de vida y a que su sistema nervioso ha sido completamente descrito [1,2].

En este contexto, *C. elegans* ocupa un lugar intermedio clave, ya que, a pesar de su simplicidad, comparte con los humanos características fundamentales del sistema nervioso. Por ejemplo, sus neuronas utilizan neurotransmisores similares (moléculas que permiten la comunicación entre células nerviosas) y presentan procesos celulares comparables, como la respuesta al daño oxidativo (alteraciones causadas por moléculas inestables que pueden dañar la célula) y la regulación del envejecimiento. Estas semejanzas permiten estudiar mecanismos básicos relacionados con enfermedades neurodegenerativas en un organismo más accesible.

No obstante, también existen diferencias importantes. A diferencia del cerebro humano, que posee una enorme complejidad estructural y funcional, *C. elegans* cuenta con un número reducido de neuronas y carece de regiones especializadas responsables de funciones cognitivas superiores como el lenguaje o la toma de decisiones. Por ello, aunque este modelo es muy útil para entender procesos fundamentales, sus resultados deben interpretarse con cautela y complementarse con estudios en organismos más complejos [2].

### 302 neuronas que cambiaron la neurociencia

Uno de los mayores logros alcanzados gracias a *C. elegans* fue la elaboración del primer mapa completo de un sistema nervioso (Fig. 2), conocido como conectoma. Los científicos lograron identificar cada una de sus neuronas y todas sus conexiones, algo que hasta hoy no se ha conseguido plenamente en el cerebro humano debido a su enorme complejidad [2]. Este avance permitió demostrar que el comportamiento de un organismo depende no solo del número de neuronas, sino de cómo estas se conectan entre sí, un principio central en la neurociencia moderna.

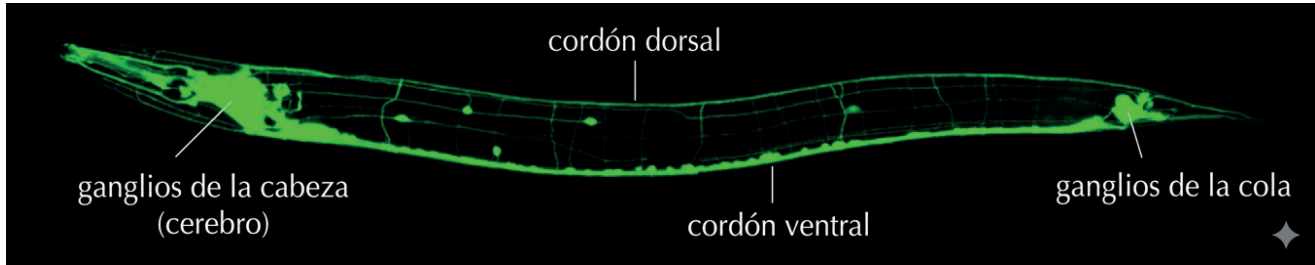


Figura 2. Representación esquemática del sistema nervioso de *Caenorhabditis elegans*. Micrografía de fluorescencia que muestra la arquitectura neuronal del nematodo, destacando los ganglios de la cabeza (cerebro), los cordones nerviosos dorsal y ventral, y los ganglios de la cola. Esta red constituye la base estructural del primer conectoma completo mapeado en un organismo multicelular. Imagen adaptada de Hutter Lab, Simon Fraser University.

*C. elegans* ha sido clave para demostrar de manera directa la relación entre actividad neuronal y comportamiento. Gracias a su simplicidad, los científicos pudieron observar cómo un conjunto reducido de neuronas controla actividades específicas, como el movimiento, la alimentación o la respuesta a estímulos del entorno [3]. Estos estudios ayudaron a responder una pregunta fundamental: ¿Cómo una señal neuronal se traduce en una acción observable?, un principio aplicable también al cerebro humano.

El estudio de *C. elegans* también ha permitido comprender cómo los genes controlan el desarrollo y la función del sistema nervioso. En este organismo se identificaron genes responsables del crecimiento de las neuronas, de la formación de circuitos neuronales y de la comunicación entre células nerviosas. Muchos de estos genes tienen equivalentes en humanos, lo que ha permitido establecer que los mecanismos básicos de construcción del sistema nervioso están conservados entre especies [1]. Este conocimiento sentó las bases para entender trastornos del neurodesarrollo y enfermedades neurológicas.

Uno de los aportes más relevantes de este nematodo al estudio del cerebro ha sido su contribución al entendimiento del envejecimiento neuronal (Fig. 3). Debido a su corto ciclo de vida (alcanza la etapa adulta en alrededor de tres días y vive entre dos y tres semanas), *C. elegans* permite observar, en tiempo real, cómo las neuronas cambian con la edad. Se ha demostrado que el envejecimiento es el principal factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas y que este proceso está asociado con cambios progresivos en la función neuronal [3,4].

### FIGURA 3. REPRESENTACIÓN CONCEPTUAL DEL ENVEJECIMIENTO NEURONAL Y LA NEURODEGENERACIÓN

Una perspectiva conceptual para un artículo de investigación

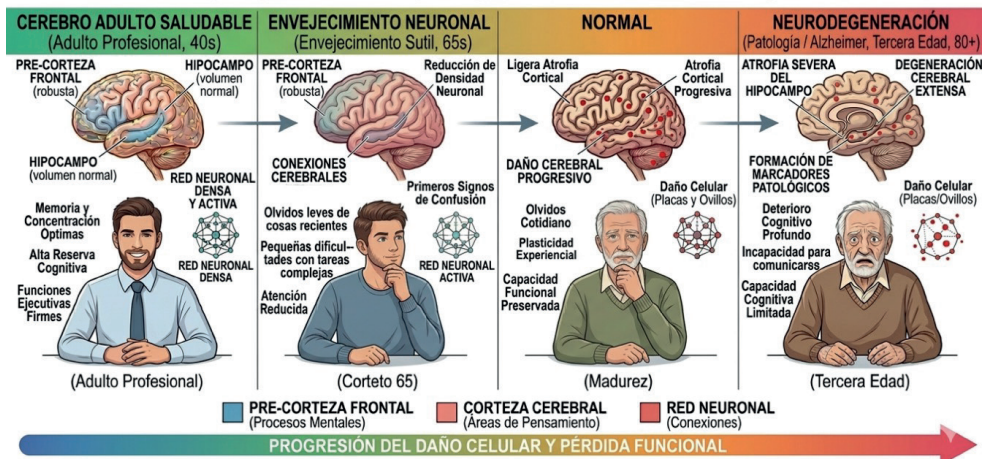


Figura 3. Representación conceptual del envejecimiento neuronal y la neurodegeneración. Diagrama comparativo que ilustra la progresión desde un estado cerebral saludable hasta la patología neurodegenerativa severa. La figura destaca el contraste fundamental entre el envejecimiento neuronal normal, caracterizado por cambios sutiles y preservación funcional, y la neurodegeneración (asociada a enfermedades como el Alzheimer), que presenta una atrofia cerebral masiva y la acumulación patológica de marcadores. *C. elegans* es un modelo clave para desentrañar los mecanismos biológicos que separan estos dos caminos. Elaboración propia en Google GEMINI.

## Un gusano sirve como modelo de enfermedades neurodegenerativas humanas

En este pequeño organismo se han recreado en el laboratorio algunos de los primeros cambios que ocurren en enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson, permitiendo observar cómo comienzan a desarrollarse. Estos modelos permiten observar cómo la acumulación de proteínas (moléculas presentes en todas las células del cuerpo que cumplen funciones esenciales, como dar estructura, transportar sustancias y permitir que ocurran reacciones químicas necesarias para la vida) anormales afectan la función y supervivencia de las neuronas. Gracias a estos estudios, se fortaleció la idea de que la acumulación de proteínas mal plegadas (proteínas que pierden su forma y se acumulan) es tóxica para el sistema nervioso, un concepto clave en la investigación actual de estas enfermedades [3].

En los últimos años, este modelo ha sido ampliamente utilizado para evaluar el efecto de suplementos alimenticios (vitaminas, antioxidantes, etc.) sobre la salud cerebral. Muchas personas consumen suplementos con la expectativa de mejorar su bienestar o prevenir el deterioro cognitivo, pero no siempre existe evidencia científica que respalde estos efectos. El uso de *C. elegans* permite evaluar de manera controlada si estos compuestos influyen positivamente en la función neuronal, en la respuesta al estrés o en el envejecimiento cerebral [5, 6].

Un ejemplo de ello es un estudio en el que se evaluaron compuestos antioxidantes (sustancias que ayudan a proteger a las células del daño causado por moléculas inestables conocidas como radicales libres) presentes en suplementos alimenticios, como el ácido alfa-lipoico y la epigallocatequina-3-galato (EGCG), un compuesto del té verde. En modelos de *Caenorhabditis elegans*, estos compuestos mostraron efectos sobre procesos relacionados con el envejecimiento y el estrés celular. En particular, se observó que estos compuestos podían influir en la supervivencia del organismo, en su respuesta frente al daño oxidativo (un

proceso celular en el que se generan moléculas inestables que pueden dañar componentes importantes de la célula, como proteínas, lípidos y ADN) y en la mejora de funciones relacionadas con la memoria, contribuyendo a prevenir su deterioro. Este tipo de estudios no implica que los suplementos sean una solución definitiva, pero permite evaluar de manera controlada sus posibles beneficios y riesgos a nivel celular antes de considerar investigaciones más complejas [6].

Es muy importante destacar que este tipo de investigación sobre el efecto de suplementos alimenticios no busca ofrecer soluciones milagrosas, sino generar evidencia científica sólida que permita tomar decisiones informadas. En modelos como *C. elegans*, es posible observar directamente cómo estos compuestos afectan a neuronas individuales, evaluando tanto su posible beneficio como su seguridad. Así, la investigación básica se convierte en un puente entre el laboratorio y la vida diaria, ayudando a distinguir entre información confiable y promesas sin fundamento (Fig. 4).

FIGURA 4. DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA EN CAENORHABDITIS ELEGANS AL IMPACTO EN LA VIDA DIARIA  
Una perspectiva conceptual para un artículo de investigación

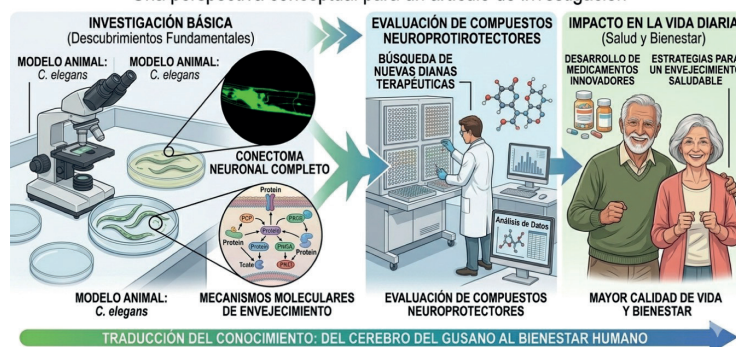


Figura 4. De la investigación básica en *Caenorhabditis elegans* al impacto en la vida diaria. Imagen que ilustra el proceso de traslación científica. A la izquierda, se representa la investigación básica (estudio del conectoma y mecanismos moleculares en el laboratorio); en el centro, la fase de evaluación y filtrado de compuestos neuroprotectores; y a la derecha, el impacto social, que se traduce en un envejecimiento saludable, medicamentos seguros y la capacidad de los ciudadanos para tomar decisiones basadas en evidencia científica sólida. Elaborada en Google GEMINI.

## Del microscopio a la vida diaria

El estudio del cerebro no se limita a comprender la enfermedad, sino que también busca mejorar la calidad de vida durante el envejecimiento. Mantener un cerebro sano implica hábitos cotidianos como una alimentación equilibrada, actividad física y mental, así como el acceso a información basada en evidencia científica. Detrás de estas recomendaciones existe un esfuerzo constante de investigación que, en muchos casos, comienza con organismos tan pequeños como *Caenorhabditis elegans*.

Desde nuestra experiencia en el estudio de modelos biológicos, consideramos que uno de los mayores aportes de *C. elegans* no es solo su simplicidad, sino su capacidad para revelar principios fundamentales que luego orientan investigaciones más complejas. Antes de que una recomendación llegue a la vida cotidiana, existe un proceso riguroso de validación científica que comienza, muchas veces, en organismos microscópicos. Entender este recorrido permite dimensionar el valor de la

investigación básica y reconocer que el conocimiento sólido se construye con evidencia, tiempo y responsabilidad.

Eventos académicos, como la Semana del Cerebro, nos recuerdan que la ciencia no es ajena a nuestra vida diaria. Desde el laboratorio hasta nuestras decisiones cotidianas, la investigación en neurociencia tiene el potencial de transformar la manera en que entendemos la salud, el envejecimiento y el bienestar. Así, un gusano microscópico se convierte en un aliado inesperado para responder grandes preguntas sobre uno de los órganos más fascinantes del ser humano: el cerebro.

## UN GUSANO QUE ENSEÑA CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO

### Referencias bibliográficas

- 1 *Martins IJ. Nutritional and nutraceutical interventions in the prevention and treatment of neurodegenerative diseases. Current Pharmaceutical Design. 2016;22(8):1041–1056. Brenner S. The genetics of Caenorhabditis elegans. Genetics, 1974, 77(1): pp. 71–94. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/genetics/77.1.71>*
- 2 *White JG, Southgate E, Thomson JN, Brenner S. The structure of the nervous system of the nematode Caenorhabditis elegans. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 1986, 314(1165): pp. 1–340. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rstb.1986.0056>*
- 3 *Calahorra F, Ruiz-Rubio M. Caenorhabditis elegans as an experimental model for research on aging and neurodegenerative diseases. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2011, 694: pp. 1–20. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7002-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7002-2_1)*
- 4 *Hou Y, Dan X, Babbar M, Wei Y, Hasselbalch SG, Croteau DL, Bohr VA. Ageing as a risk factor for neurodegenerative disease. Nature Reviews Neurology, 2019, 15(10): pp. 565–581. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41582-019-0244-7>*
- 5 *Mattson MP, Arumugam TV. Hallmarks of brain aging: Adaptive and pathological modification by metabolic states. Cell Metabolism, 2018, 27(6): pp. 1176–1199. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.05.011>*
- 6 *Martins IJ. Nutritional and nutraceutical interventions in the prevention and treatment of neurodegenerative diseases. Current Pharmaceutical Design, 2016, 22(8): pp. 1041–1056. Disponible en: <https://doi.org/10.2174/1381612822666151210093528>*