



El cerebro de las hormigas: cómo se organiza el trabajo en la colonia¹

Carlos Zavaleta Zamora²

Ingrid Fetter Pruneda³

Resumen. Las hormigas tienen una capacidad sorprendente para cooperar y repartirse el trabajo dentro de sus colonias. En este proyecto estudiamos cómo funciona el cerebro de las hormigas para lograr esta organización. Nos enfocamos en tres sustancias que ayudan a las neuronas a comunicarse: la dopamina,

la octopamina y la inotocina (molécula parecida a la oxitocina humana). Descubrimos cómo se distribuyen en el cerebro y cómo cambian según la edad y las tareas de cada hormiga. Estos hallazgos nos ayudan a entender mejor cómo se regulan los comportamientos sociales en los insectos.

Palabras clave: hormigas; insectos sociales; conducta social; sistema nervioso; neuro-modulación; división de tareas; neuroquímica

Las hormigas y la organización social

Las hormigas son animales fascinantes por una infinidad de razones, y quizá la más sorprendente sea su habilidad para trabajar en equipo. Dentro de una colonia, miles de individuos cooperan y se reparten tareas como cuidar a las crías, limpiar el nido, defenderse de enemigos y buscar alimento. Esta organización

¹ Proyecto PAPIIT IA206922: "Identificación del papel de los neuromoduladores y sus circuitos neuronales en la decisión colectiva de forrajeo en hormigas"

² Instituto de Investigaciones Biomédicas. carlos.zz@iibiomedicas.unam.mx

³ Instituto de Investigaciones Biomédicas. ifetter@iibiomedicas.unam.mx



tan eficiente está relacionada con una característica poco común: las hormigas son eusociales.

Los animales eusociales son aquellos que presentan una organización social muy compleja. Entre sus principales características están la existencia de al menos dos castas: una reproductiva (las reinas) y otra no reproductiva (las obreras). Viven en colonias donde cohabitan varias generaciones y adultos distintos a los progenitores cuidan de las crías. Esta forma de vida promueve un comportamiento colectivo: las tareas se reparten entre todos los individuos de un mismo nido y cada uno cumple una función específica. Pero ¿cómo saben las hormigas qué hacer y cuándo hacerlo? La respuesta está en su cerebro y en las sustancias químicas que regulan su conducta.

¿Qué es la división de tareas?

En las colonias que forman, no todas las hormigas hacen lo mismo. Las tareas que desempeñan dependen de su edad y de las necesidades específicas de la colonia. Por lo general, al principio de su vida adulta, las obreras más jóvenes suelen quedarse dentro del nido, encargándose de labores como el cuidado de las crías y de la reina. Conforme envejecen, empiezan a desempeñar tareas cada vez más complejas y alejadas del interior del nido, por ejemplo, patrullar y defender la colonia o salir a buscar alimento (forrajear). A este cambio tan característico de la conducta con la edad se le llama polietismo temporal.

Como podemos ver, esta división del trabajo no es rígida. Las hormigas pueden modificar su conducta dependiendo de las condiciones, por lo que los cambios en la conducta asociados con la edad no son definitivos. Si por alguna razón la colonia necesita más individuos que realicen tareas dentro del nido, las adultas maduras pueden regresar a desempeñar labores como el cuidado de las crías, mientras que, si hubiera escasez de hormigas recolectoras, las más jóvenes pueden adelantar su salida del nido y emprender el forrajeo.

Este tipo de organización colectiva y flexibilidad conductual les permite ser extremadamente eficientes para responder a los cambios del entorno, lo cual favorece la supervivencia de estos animales y está relacionado con su gran éxito evolutivo.

¿Qué papel tiene el cerebro?

El cerebro de una hormiga es diminuto, aproximadamente del tamaño de una semilla de chía, y contiene unas doscientas cincuenta mil neuronas. Aunque esto pueda parecer poco, si lo comparamos con las ochenta y seis mil millones de neuronas que tenemos los humanos, sus capacidades son asombrosas. Sus pequeños cerebros permiten a las hormigas percibir su entorno, tomar decisiones, aprender y coordinarse con miles de compañeras. De hecho, debido a esta coordinación tan precisa y eficiente, muchas veces se considera que la colonia completa funciona como un superorganismo, donde cada hormiga es como una célula o unidad funcional. Desde esta perspectiva, la complejidad de sus conductas no reside únicamente en un cerebro individual, sino que emerge de la suma e interacción de todos los cerebros de la colonia.

Lo más interesante es que aún sabemos muy poco sobre cómo está organizado su sistema nervioso y qué lo hace tan flexible y eficiente. Una de las claves está en las sustancias químicas que sus neuronas utilizan para comunicarse y que modulan los comportamientos según la edad, el entorno o las condiciones sociales.

¿Cómo se comunican las neuronas?

El sistema nervioso está compuesto por diversos tipos celulares. Uno de ellos son las neuronas, que se comunican a través de moléculas químicas especializadas principalmente. Estas moléculas pueden funcionar de distintas maneras: si una molécula es liberada por una neurona, es recibida por otra y tiene un efecto rápido (milisegundos), se le llama neurotransmisor. Si es liberada al sistema circulatorio y ejerce efectos en otros tejidos por periodos largos (minutos a horas), se le conoce como neurohormona. Por último, si la molécula es liberada por una neurona, ejerce un efecto en varias de ellas y tiene una temporalidad mayor a milisegundos, se clasifica como neuromodulador. Una misma molécula puede funcionar como neurotransmisor, neurohormona o neuromodulador, dependiendo del contexto, y pueden lograr, por ejemplo, modificar la forma en que se comporta un organismo.

El cambio de conducta, como el descrito en el polietismo temporal, se suele relacionar con cambios en el sistema nervioso en distintos niveles. Estímulos ambientales, factores internos del organismo o la interacción con otros indi-

viduos pueden favorecer este tipo de cambios. Estas señales son detectadas y comunicadas por las neuronas, y ejercen varios efectos sobre otras células, por ejemplo, de modificaciones en las estructuras finas o gruesas de las células nerviosas, alteraciones de componentes celulares como las proteínas, o el cambio en la abundancia de ciertas sustancias, lo que impacta en el funcionamiento celular.

¿Qué buscamos y por qué?

En este proyecto estudiamos tres de estas sustancias neuromoduladoras: la dopamina, la octopamina y la inotocina. Estas tres moléculas participan en muchos procesos, tanto de la fisiología general como de la comunicación del sistema nervioso, y las conservan desde organismos invertebrados muy simples hasta los humanos.

La dopamina es una molécula que está estrechamente relacionada con procesos básicos animales. En el caso de los invertebrados, se ha descrito que participa en el movimiento, el aprendizaje y la visión. A su vez, en insectos sociales, se ha identificado su relación con la reproducción, la agresividad y la dominancia. En varias especies de hormigas y abejas, se ha demostrado que la dopamina aumenta con la edad y se relaciona específicamente con la conducta de forrajeo. En el caso de la hormiga roja mexicana *Pogonomyrmex barbatus*, cuando se administra dopamina a las obreras, estas incrementan sus viajes para buscar comida, mientras que si se aplica un agente que detiene la producción de dopamina, las hormigas tienden a reducir considerablemente sus salidas del nido.

Por otro lado tenemos a la octopamina, sustancia parecida a la adrenalina en los vertebrados, ligada a una gran variedad de procesos fisiológicos de los insectos. Es la principal amina que modula mecanismos como la comunicación con los músculos del sistema locomotor, los patrones de movimiento, el olfato, el aprendizaje y la memoria. Funciona también como neurohormona y hace que moléculas que dan energía, como son los carbohidratos y lípidos, sean transportadas para su uso en los órganos que más necesitan de estos recursos. En los insectos sociales, tiene relevancia en procesos de reconocimiento de miembros del nido, agresión a individuos ajenos o extraños y en el forrajeo. Al igual que la dopamina, también hay cambios en su abundancia con respecto a la edad, y en la mayoría de las especies existe un incremento de esta sustancia en las hormigas adultas maduras. La única excepción descrita es la hormiga roja europea de la madera, especie en la que las obreras jóvenes son las que tienen mayor cantidad de octopamina en sus cerebros.

La tercera molécula que estudiamos es la inotocina, una sustancia de tipo neuropéptido muy similar a la oxitocina y a la vasopresina de los humanos. Esta relación se debe a que un ancestro común de los animales tuvo una sustancia similar a estas tres, la cual era usada en diversos procesos fisiológicos. Una gran variedad de especies presenta funciones similares para estas moléculas, relacionadas principalmente con las conductas sociales, como la generación de vínculos, tanto de pareja como con las crías. Por tanto, muchas veces la oxitocina ha sido considerada como la hormona del amor o del apego. En las hormigas se relaciona con el metabolismo, la locomoción y la regulación del forrajeo en un contexto social. Por ejemplo, al administrar inotocina a hormigas clonales (*Ooceraea biroi*) maduras que se encuentran en nidos con presencia de larvas, estas incrementan sus salidas a forrajear. Por otro lado, si se aplica inotocina, pero hay presencia de pupas, no hay tal aumento en los viajes a conseguir alimento.

¿Qué descubrimos?

Con ayuda de técnicas de biología molecular y el mapeo anatómico, localizamos las zonas del cerebro donde se producen estas sustancias. A partir de su localización, puede inferirse la función que desempeñan. Así, encontramos que las hormigas rojas mexicanas tienen neuronas dopaminérgicas (producen dopamina) en tres zonas del cerebro: en los lóbulos ópticos, en el protocerebro y en la zona subesofágica. Creemos que la presencia de estas neuronas en estas regiones específicas puede estar relacionada con distintos procesos. Por ejemplo, podría estar modulando procesos básicos como la visión, o más complejos como el aprendizaje, la memoria, la navegación y el control motor. Las neuronas de gran tamaño en la zona subesofágica se han correlacionado con la liberación de la dopamina al sistema circulatorio. Es muy probable que las neuronas dopaminérgicas regulen circuitos cerebrales ligados a conductas colectivas, tal como lo es el forrajeo.

De manera similar, las neuronas octopaminérgicas se encuentran en el protocerebro y en la zona subesofágica. En el primer caso, consideramos que pueden participar en la navegación y en la toma de decisiones, mientras que, aquellas en la zona subesofágica, probablemente se relacionan con la memoria, el aprendizaje y la liberación de esta sustancia a la hemolinfa (el análogo de la sangre en los invertebrados). Esta zona del cerebro también está asociada con el forrajeo, el movimiento y la agresividad.

En nuestro trabajo caracterizamos la distribución de la inotocina en los cerebros de la hormiga cosechadora roja y observamos cómo cambian sus niveles y distribución de acuerdo con las tareas que las hormigas se encuentran realizando. La inotocina mostró diferencias de cantidad según la edad. Esto sugiere que tiene funciones distintas en distintos momentos de la vida de la hormiga.

Además de observar estas sustancias en el cerebro, analizamos los genes que permiten su producción. Descubrimos que su expresión también varía según la edad, lo que refuerza la idea de que el sistema nervioso de las hormigas se adapta para cumplir con las necesidades de la colonia.

Nuestros estudios sobre los mecanismos neuronales que involucran a neurotransmisores y neuropéptidos en insectos nos permitieron darnos cuenta de la importancia de estos mecanismos en la regulación de la selección de la pareja en insectos.⁴ Esto indica que tienen un papel central en distintos aspectos de la vida social.

¿Por qué es importante este estudio?

Aunque las hormigas son muy distintas a nosotros, entender cómo se organizan y dividen su trabajo, además de la manera en que su cerebro guía esta variedad de conductas puede enseñarnos mucho sobre el comportamiento colectivo. Las sociedades humanas también requieren coordinación, cooperación y toma de decisiones grupales. Al estudiar las hormigas, aprendemos principios generales sobre cómo los cerebros (sin importar si son grandes o pequeños) pueden lograr tareas de todo tipo.

Últimamente se ha empezado a generar discusión sobre los costos energéticos y de recursos de los nuevos algoritmos de inteligencia artificial. Las computadoras actuales consumen mucha energía, y se ha propuesto que el estudio de la anatomía de los circuitos neuronales de distintos organismos podría ayudarnos a entender mejor el procesamiento de la información, y así diseñar circuitos y procesadores más eficientes o superespecializados en tareas específicas. ¿Sería conveniente diseñar un chip a partir del cerebro de las hormigas para que un

4 Sagrario Cordero-Molina, Ingrid Fetter-Pruneda y Jorge Contreras-Garduño, “Neural Mechanisms Involved in Female Mate Choice in Invertebrates”, *Frontiers in Endocrinology* 14 (enero 2024): 1291635, <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1291635>.

automóvil inteligente sea capaz de planear mejores rutas sin gastar una cantidad excesiva de energía?

También es importante destacar que este tipo de estudios permiten construir puentes entre los distintos campos de la ciencia, como la biología, la neurociencia y la ecología, y muestran cómo los mecanismos químicos en el cerebro están estrechamente ligados a la vida social.

¿Qué sigue?

Nuestros resultados abren nuevas preguntas. ¿Qué pasa si cambiamos artificialmente los niveles de estas sustancias? ¿Cómo responden las hormigas? ¿Se puede alterar su comportamiento? Para responder a esto, comenzamos a desarrollar herramientas que nos permitan intervenir de forma controlada, por ejemplo, estamos sintetizando el péptido tipo insulina de hormiga ILP2, que está relacionado con la conducta y la longevidad en insectos.⁵

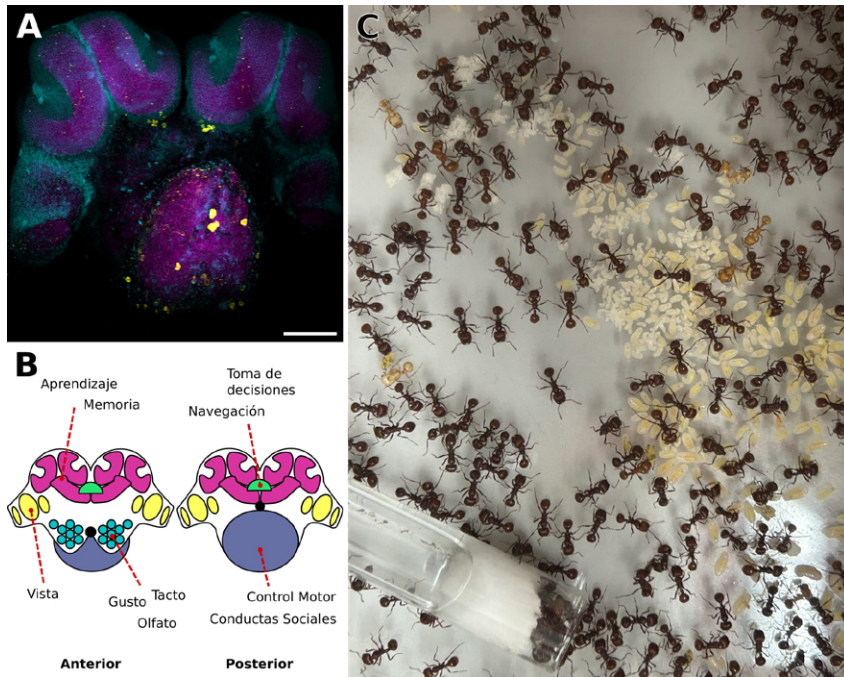
Además, uno de los objetivos del laboratorio es extender nuestros estudios a una mayor cantidad de especies de hormigas que presenten diversas estrategias de reproducción, alimentación y comportamientos, de manera que sea posible hacer una comparación en distintos niveles de su sistema nervioso. De esa forma podremos entender mejor cómo fue que evolucionó la vida social y cuáles son las bases neuroquímicas de este fenómeno.

Conclusión

Este proyecto nos ha permitido asomarnos al interior del cerebro de las hormigas y descubrir cómo funciona y cuál es su papel en la organización social. Las hormigas pueden ser pequeñas, pero tienen mucho que enseñarnos sobre la cooperación, la comunicación y el poder de un cerebro colectivo. Su ejemplo nos invita a reflexionar sobre nuestras propias sociedades y quizá también sobre el futuro de la tecnología.

⁵ Balamurugan Dhayalan, Stephen B. H. Kent y Ingrid Fetter-Pruneda, “A Chemical Counterpart to the Resolution Step of Nature’s Intein-Mediated Protein Splicing”, *ACS Chemical Biology* 19, núm. 1 (2024): 9-14, <https://doi.org/10.1021/acscchembio.3c00590>.

Figura 1. Las hormigas y su cerebro



- a) Imagen del cerebro de una hormiga donde se observan neuronas dopaminérgicas marcadas en amarillo. Los núcleos de las células se muestran en azul y las fibras neuronales en magenta.
- b) Esquema del cerebro de las hormigas con algunas funciones asociadas a distintas regiones anatómicas.
- c) Fotografía de una colonia de hormigas cosechadoras rojas (*Pogonomyrmex barbatus*). Las hormigas de color claro son más jóvenes, mientras que las de color oscuro son adultas maduras. También se observan larvas de distintos tamaños y pupas.

Fuente: Elaboración propia.

Lectura complementaria

Zavaleta-Zamora, Carlos, y Ingrid Fetter-Pruneda. 2026. "Anatomical Mapping and Regulation of Dopaminergic and Octopaminergic Neurons during Temporal Polyethism in the Red Harvester Ant." *Animal Behavior and Cognition* (preprint), 6 de agosto de 2026. <https://doi.org/10.64898/2026.0731.742069>.