

Man



Foto: Ana Isabel Bieler Antolín



cibulas de trampa

Germán Octavio López Riquelme

¿QUÉ HAY QUE SEA MÁS
HERMOSO QUE UNA HORMIGA?

SUS LÍNEAS SON CURVADAS Y
DEPURADAS, SU
AERODINAMISMO, PERFECTO.

TODA LA CARRO CERÍA DEL
INSECTO ESTÁ ESTUDIADA PARA

QUE CADA MIEMBRO
ENCAJE PERFECTAMENTE EN
EL LUGAR PREVISTO A ESTE
EFECTO.

CADA ARTICULACIÓN ES UNA
MARAVILLA MECÁNICA. [...]

NADA RECHINA, NO HAY NI
UN ROCE.

BERNARD WERBER, *LAS HORMIGAS*

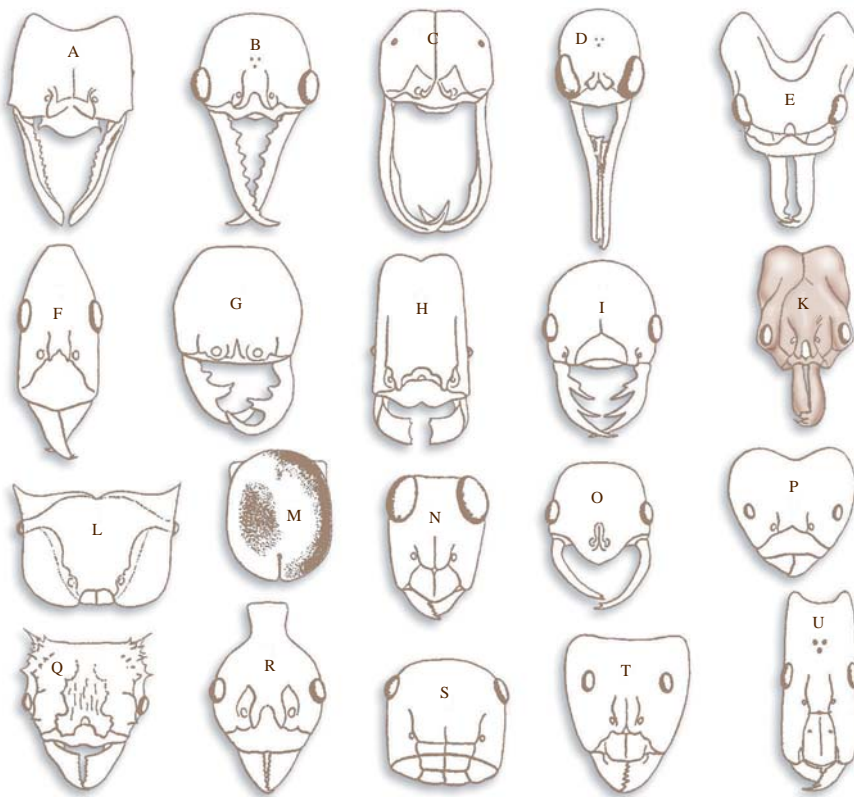
LAS HORMIGAS, el pináculo de la evolución de los insectos, se encuentran en casi todas partes. Son muy abundantes (se han descrito más de 8 000 especies), y su acción sobre el medio ha sido sumamente importante; a lo largo de los 100 millones de años transcurridos desde su aparición se han convertido en uno de los pilares que soportan la biosfera.

Descendientes de avispas, las hormigas han desarrollado lo que podría llamarse “altruísmo egoísta”, en el que comparten el alimento, renuncian a su propia reproducción en beneficio de la de su madre e incluso pueden sacrificar su vida por el bien de la comunidad. Todas las hormigas son sociales, esto es, viven en grupos familiares organizados y coordinados. Los grupos están constituidos por una reina madre, la cual se dedica a poner huevecillos, y por su progenie de hembras estériles, las obreras, quienes se encargan del cuidado de las crías, la obtención de alimento, la construcción del nido y su defensa. A diferencia de las obreras, que se producen todo el año, los machos sólo nacen en épocas reproductivas muy específicas.

La variedad de formas de vida que se puede encontrar en las hormigas es asombrosa. Hay, por ejemplo, hormigas que se alimentan únicamente de hongos o semi-

llas; mendigas que viven de los desperdicios de otras especies; parásitas que roban alimento; nadadoras que bucean entre los jugos digestivos de plantas carnívoras para conseguir alimento; y las que se dedican a la cacería. Entre las cazadoras existen muchas especializaciones, desde las incursiones masivas en termiteros, hasta la cacería en solitario.

Tal variedad es resultado del desarrollo de adaptaciones a lo largo de millones de años de evolución. Por ejemplo, muchas conductas y estructuras anatómicas implicadas en la interacción entre depredador y presa se han visto envueltas en una carrera coevolutiva, en la que los cambios ocurridos en una especie repercuten sobre otra. Así, la tendencia de los depredadores ha sido a la sofisticación de las armas (poderosos aguijones y químicos muy tóxicos) o tácticas de cacería, en tanto que la de las presas, a la refinación de los mecanismos de protección o de escape. Algunas especies de hormigas han desarrollado sorprendentes mecanismos que dependen de la acción de las mandíbulas y de las antenas. Tales mecanismos, llamados mandíbulas de trampa, evolucionaron primero como un sistema de caza y secundariamente como defensa. Estas hormigas, como las del género *Odonotomachus*, poseen largas mandíbulas den-



Mandíbulas de hormigas.

Obreras: A, B, F, I, K (*Odontomachus*), N, O, Q, R.

Soldados: C, G, H, L, M, P, S, T.

Reinas: D, U.

tadas en la punta, semejantes a pinzas, que pueden cerrarse con extraordinaria rapidez para atrapar y herir a la presa instantáneamente.

Las mandíbulas más rápidas del mundo

Las mandíbulas son esenciales para las hormigas, ya que con ellas pueden modificar el medio, adecuándolo para su supervivencia. Tienen dos, una a cada lado de la boca; su función es muy diferente a la de nuestras mandíbulas, de hecho se parece mucho más a la que tienen nuestras manos. Las hormigas utilizan sus mandíbulas en tareas tan delicadas como el transporte de huevos y larvas, así como en aquellas donde se requiere de la fuerza: la búsqueda de alimento, la excavación del nido, o la defensa frente a enemigos. La forma de las mandíbulas es tan importante como el movimiento y el control muscular.

EL GOLPE MANDIBULAR DE LA ODONTOMACHUS ALCANZA LA MAYOR VELOCIDAD REGISTRADA EN TODO EL REINO ANIMAL.

Las hormigas del género *Odontomachus* son cazadoras mandíbulas de trampa; bellas y grandes, se especializan en la caza de pequeños insectos y otros artrópodos. Frecuentemente realizan incursiones en los alrededores de los enormes nidos de las hormigas cortahojas del género *Atta*, atrapando, en solitario, a las incautas y laboriosas obreras.

El movimiento de las mandíbulas de las *Odontomachus* se conoce como golpe de mandíbula y circunscribe un arco de 180° desde que están cerradas hasta que las abren completamente. Todo el movimiento se realiza en ¡0.3 milisegundos! No se conoce otra estructura anatómica animal que se mueva a una velocidad tan grande: 8.8 metros por segundo. Debido a ello, las mandíbulas están protegidas contra el choque entre sí cuando la presa no es atrapada: desaceleran durante el último tercio de su trayectoria.

Dado que no existe ningún músculo que realice contracciones a velocidades tan altas, las *Odontomachus* han desarrollado un mecanismo tipo catapulta que incluye mecanismos que traban la mandíbula y tres músculos, uno abductor, para abrirlas; uno aductor, para cerrarlas; y un pequeño músculo gatillo o disparador, el cual inicia el golpe de mandíbula.

Solidez, sensibilidad y ligereza

Cada mandíbula de las *Odontomachus*, de 1.8 mm de largo, 0.45 mm de ancho y 0.25 mm de grosor, tiene tres dientes en la punta que causan una herida mortal en la presa. Aunque las hormigas pueden mantener sus mandíbulas en cualquier ángulo entre 0° y 180°, es más frecuente que las lleven ya sea abiertas y trabadas cuando están de cacería o completamente cerradas. En su base, donde se unen con la cabeza, las mandíbulas son más gruesas y forman una estructura tipo eje alrededor de la cual la mandíbula puede desplazarse en el plano horizontal (a los lados).

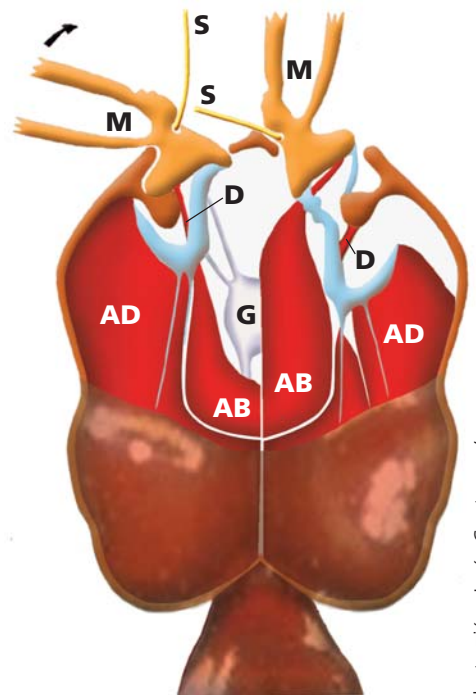


Ilustración: Jesús Contreras /basada en el trabajo de Wulfila Groeninger

Morfología de la cabeza de una hormiga *Odontomachus* y las estructuras empleadas en el golpe mandibular. El lado izquierdo muestra la mandíbula abierta; el derecho la muestra cerrada.

M = mandíbula; AD = músculo aductor; AB = músculo abductor; G = ganglio; D = músculo disparador; S = sensila.

Aparte de ser estructuras muy sólidas, las mandíbulas tienen una gruesa capa externa o cutícula. Asimismo, están cubiertas con estructuras parecidas a pelos, llamadas sensilas, que son sensibles a la acción mecánica. Las sensilas tienen una función propioceptiva, es decir, registran la posición de los músculos y las articulaciones, enviando al cerebro señales que indican la ubicación exacta de cada mandíbula. Las hormigas cuentan, además, con dos sensilas gigantes (0.6-1.2 mm) que se originan cerca de la base de cada mandíbula y sólo pueden realizar movimientos en el plano horizontal.

La mayor parte del interior de las mandíbulas está ocupada por un gran saco traqueal lleno de aire, que sólo deja una pequeña capa entre la cutícula y la tráquea. En esta capa hay tejido y hemolinfa (que es la sangre de los insectos) y a través de ella pasan las fibras nerviosas provenientes de las sensilas. La ligereza resultante de esos espacios aéreos incrementa la velocidad de las mandíbulas.

De cacería

Cuando las *Odontomachus* están de cacería, llevan las mandíbulas abiertas 180°, trabadas en una posición fija. Mientras avanza cuidadosamente, la obrera explora el terreno, barriéndolo con sus antenas de lado a lado al frente de la cabeza. Prepara el golpe mandibular contrayendo los enormes músculos aductores; sin embargo las mandíbulas todavía no realizan movimiento alguno, ya que se encuentran trabadas. Así se almacena la energía mecánica generada por esta lenta pero poderosa contracción, estirando y tensionando tanto elementos elásticos tipo tendón como la gruesa cutícula de la cabeza. Para liberar dicha energía, es necesario un disparador, como en las ballestas, que retire el "seguro" que traba las mandíbulas. Esta función la realiza el pequeño músculo disparador.

El cierre de las mandíbulas se activa por los dos pares de sensilas gigantes; cualquier cosa que las toque en la posición correcta es suficiente para que quede atrapada por los dientes. No obstante, la acción del cierre no es un simple reflejo producido por el contacto con las sensilas gigantes: el golpe mandibular está además regulado y modulado por el contexto ambiental y el estado interno de la hormiga. La secuencia conductual completa involucra contacto con la presa por medio de las antenas, movimientos corporales rápidos

ENTRE TODOS LOS SERES VIVIENTES SOLO LAS HORMIGAS, ADEMÁS DEL HOMBRE, DAN SEPULTURA A SUS MUERTOS.

PLINIO

Cerebro de hormiga

El comportamiento de las hormigas es el más complejo de todos los insectos; ellas nacen con circuitos neurales programados genéticamente que despliegan un exquisito y amplio repertorio de conductas, las cuales están enriquecidas por el aprendizaje y la memoria necesarias para la vida en sociedad. El cerebro de una hormiga es el sustrato biológico para tan complejo comportamiento; está constituido por aproximadamente medio millón de neuronas organizadas en regiones especializadas en procesar señales provenientes de distintas partes del cuerpo. Las áreas cerebrales de asociación son sitios donde se llevan a cabo gran cantidad de procesos y sinapsis donde se integra información de distintos tipos (química, visual, mecánica). Estas áreas crecen diferencialmente con la edad y la experiencia; así, una hormiga vieja es una hormiga sabia.

El éxito del hormiguero depende del comportamiento de cada hormiga en función de la sociedad, y el secreto de esta conducta individual está resguardado y programado en un órgano con un volumen no mayor a 0.06 mm cúbicos: el cerebro, al cual apenas ahora comenzamos a asomarnos, y que podrá proporcionar información acerca de las bases neurobiológicas del comportamiento social.

La hormiga más antigua de que se tiene noticia, *Sphecomyra freyi*, se encontró preservada en ámbar y vivió hace más de 100 millones de años, durante el período Cretácico.

hacia adelante, contacto con las sensilas y, como una consecuencia, el cierre súbito de las mandíbulas.

Sólo los extraños son atacados y asesinados; las *Odontomachus* nunca atacan a sus compañeras de nido, porque el golpe de mandíbula se inhibe con la presencia de unos compuestos químicos volátiles: los olores pasaporte. Cada miembro de una colonia tiene olores pasaporte con los cuales es reconocido como parte de la misma. Los olores se adquieren viviendo en la colonia, de la dieta, de la transmisión del alimento y a partir de la reina. No obstante, es probable que intervenga además un componente innato, que se complementa con el aprendizaje de ese olor.

Ilustración: Jesús Contreras



El estudio de las hormigas

El Laboratorio de Neurofisiología Comparada de Invertebrados, del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, se dedica principalmente a establecer las bases neurofisiológicas de los ritmos biológicos en varias especies de acocil (un crustáceo de agua dulce). Además tiene dos líneas de investigación sobre hormigas. Por una parte se estudian los ritmos biológicos de estos insectos a nivel individual, comparados con el nivel social o poblacional, así como los efectos de un nivel en el otro. Por la otra, se investigan las bases neurobiológicas de diferentes comportamientos sociales de las hormigas, por ejemplo la necroforesis, o conducta de acarreo de compañeros de nido muertos, que presentan obreras llamadas sepultureras.

**LA CONDUCCIÓN
SENSORIAL EN LA
ODONTOMACHUS ES LA
MÁS VELOZ DE TODOS
LOS ANIMALES.**

Foto: A. Bieler Antolín / G. López Riquelme

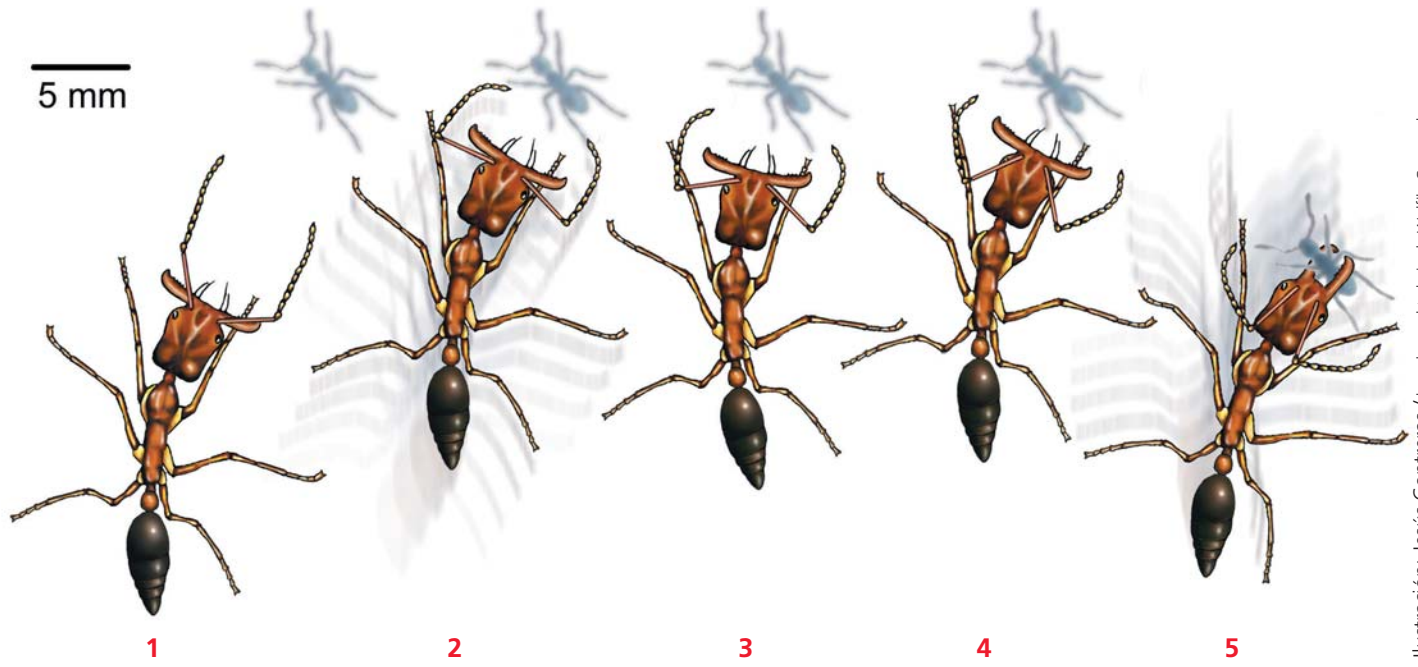
Control complejo de un movimiento simple

En el golpe mandibular están involucradas varias modalidades de percepción: química, mecánica y propioceptiva o de posición. Para lograr un golpe exitoso, tanto la posición de la presa en relación a las mandíbulas, como la sincronización de éstas son de suma importancia. Dada la fuerza del golpe, la presa podría ser expulsada en vez de capturada, por ejemplo si una mandíbula golpeará a la presa antes que la otra o si la presa no se encuentra en la posición correcta.

Tras detectar a la presa por el olfato, a través de las antenas, la hormiga orienta simétricamente su cuerpo hacia ésta de tal forma que ambas antenas conserven ángulos similares, así la presa queda centrada con respecto al eje longitudinal del insecto y a sus mandíbulas. Entonces, la hormiga se aproxima muy despacio, acortando la distancia entre las mandíbulas y la presa a 1 o 2 mm; después avanza abruptamente y, mientras retrae sus antenas en tan sólo 8.3 milisegundos (para

Una familia muy variada

Las hormigas están entre las criaturas más fascinantes del planeta. De las más de ocho mil especies descritas, cada una tiene un estilo de vida distinto. Por ejemplo, las hormigas australianas gigantes pueden medir hasta 2.5 centímetros de largo y las reinas y las obreras se parecen mucho entre sí. En contraste, las hormigas cortahojas de Centro y Sudamérica cuentan con una estructura social mucho más compleja y pueden existir tres o cuatro tipos de obreras diferentes. Otras, como la *Formica yessensis* de la costa de Japón, se agrupan en colonias inmensas de un millón de reinas y 306 millones de obreras que viven en 45 mil nidos interconectados. Por el contrario, las sociedades enteras de las hormigas del género *Leptothorax* podrían vivir entre dos portaobjetos de un microscopio. En la Costa de Marfil, en África, pueden existir hasta 7,000 colonias de hormigas por hectárea, con un promedio de 2,850 hormigas por colonia, lo que equivale a 2,000 hormigas por metro cuadrado. Algunos investigadores han estimado que si se pesaran todos los animales que habitan en el Amazonas, las hormigas conformarían cerca del 30% del total. Se calcula que las hormigas forman el 10% de la biomasa total del planeta y si sumamos a todas las hormigas del mundo, pesarían aproximadamente lo mismo que todos los seres humanos.



Secuencia del golpe mandibular. De izquierda a derecha: 1. localización y acercamiento; 2. alineación con la presa; 3. retractación de las antenas; 4. las sensilas tocan a la presa; 5. las mandíbulas se cierran.

Ilustración: Jesús Contreras / basada en el trabajo de Wulfila Groeninger

evitar que se dañen cuando se dé el golpe) las sensilas gigantes tocan a la presa y se flexionan hacia afuera de la línea media del cuerpo.

Esta flexión produce impulsos nerviosos que viajan a través de prolongaciones nerviosas (axones) de gran diámetro, de modo que la conducción se realiza a muy alta velocidad. La duración del proceso desde que la señal sensorial es recibida en las sensilas, luego llevada al ganglio subesofágico, en donde pasa a las neuronas motoras de los músculos mandibulares y de regreso, a través de estas últimas, hasta el músculo disparador, es casi instantánea: tan sólo 4.2 milisegundos, la menor registrada para la conducción sensorial en animales. En este tiempo se lleva a cabo la transformación de la flexión mecánica de las sensilas gigantes en impulsos nerviosos, el procesamiento y la propagación de la información neuronal, y, finalmente, la activación y contracción del músculo disparador para destrabar la mandíbula y acelerarla a más de ocho metros por segundo. De esta manera, inmediatamente después del contacto de las sensilas gigantes con la presa se libera el golpe mandibular.

Para que el músculo disparador se active, es preciso que se den varias accio-

nes de forma casi simultánea y coordinada, ya que está controlado por neuronas motoras que tienen dos regiones. Por un

Impacto en el ecosistema

Las hormigas, además de fascinantes en cuanto a su fisiología, anatomía y conducta, son imprescindibles para el correcto funcionamiento de los ecosistemas donde se encuentran. En todo el mundo, son de los depredadores más importantes de pequeños invertebrados, incluyendo a otros insectos, por lo que ayudan a regular el crecimiento de estas poblaciones, que sin la presencia de las hormigas se convertirían en plagas. Las hormigas cortahojas son los principales herbívoros de las selvas tropicales americanas, incluso más importantes para la cadena alimenticia de estos ecosistemas que los mamíferos. En muchas regiones, las hormigas realizan la importante labor de dispersar las semillas de distintas especies de plantas. Algunas especies de hormigas son polinizadoras de flores y dondequiera que se encuentren, remueven y oxigenan la tierra aún más que las lombrices.

Hay muy poca información sobre especies de hormigas amenazadas, pero algunos investigadores consideran que son varias las que están en peligro de extinción. Las más vulnerables son las que viven en áreas geográficas restringidas y que requieren de hábitats muy específicos. El factor más importante de riesgo para estas especies es la destrucción de su hábitat natural: las selvas tropicales.

lado está la que contacta con el músculo disparador y se encarga de activarlo; y por otro, una compleja red de fibras nerviosas (dendritas) en donde se reciben señales de los órganos quimiosensoriales (que detectan los olores pasaporte), además de la información sobre las condiciones de las patas y el abdomen, y las señales cerebrales que reportan el estado de la hormiga llevándola a inhibir o disparar el golpe mandibular.

Así, para que este golpe se ejecute la hormiga debe estar sujeta a la configuración correcta de una enorme cantidad de estímulos que son evaluados en conjunto y a una extraordinaria velocidad. ◀

Agradecemos a la maestra Gabriela Castaño Meneses por haber facilitado especímenes de su colección para la realización del material gráfico; así como a la doctora María Luisa Fanjul por sus sugerencias.

Germán Octavio López Riquelme es biólogo y actualmente estudia el doctorado en el área de neuroetología de hormigas, en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Para nuestros suscriptores

La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.