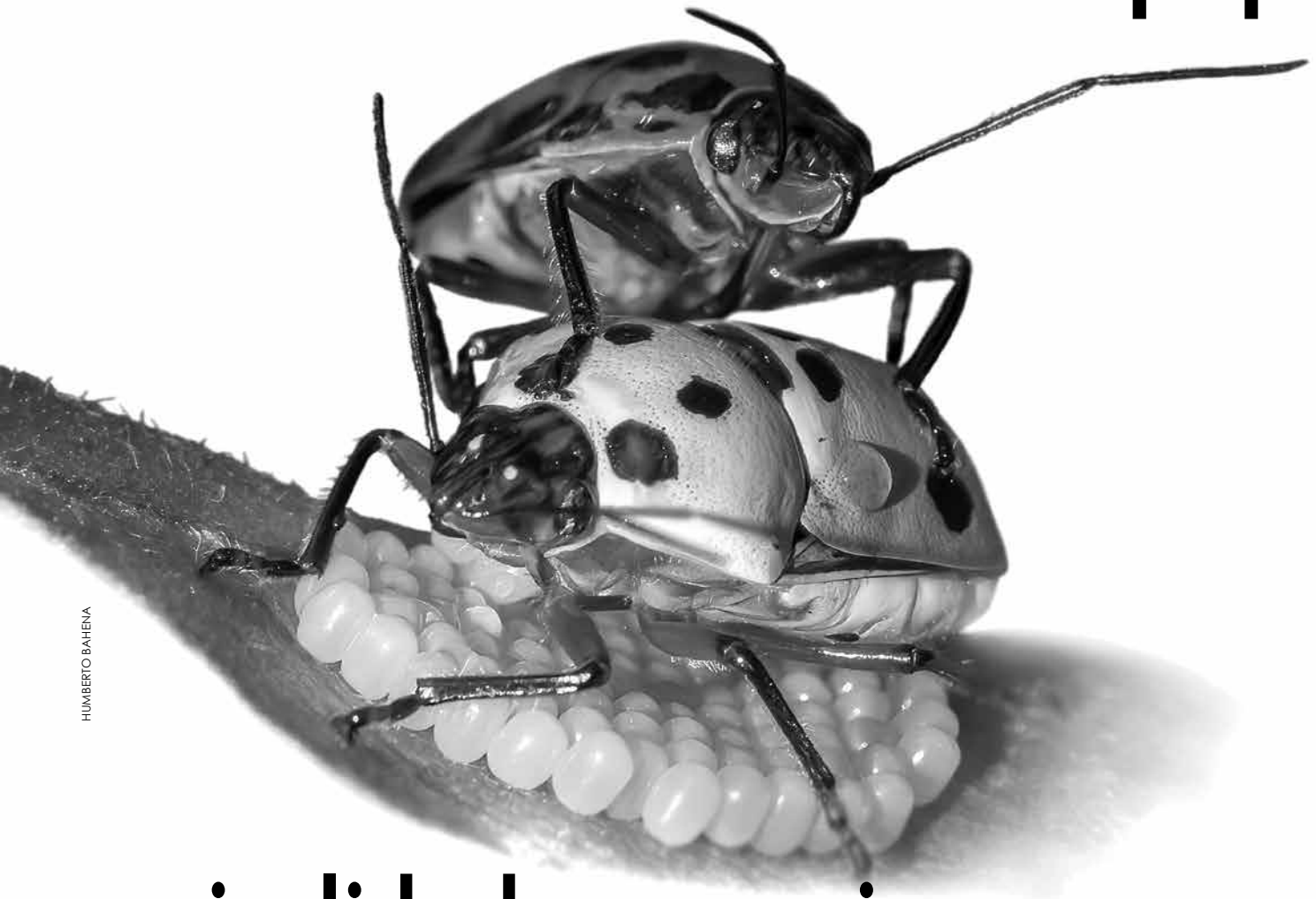


# Feromonas frente al espejo:



HUMBERTO BAHENA

## quiralidad y manejo de artrópodos

María Gabriela Ballinas López, Leopoldo Cruz López y David Alavez Rosas

*Resumen: ¿Qué tiene que ver el manejo de artrópodos con una forma geométrica cuya imagen no coincide con la reflejada en un espejo? El vínculo es la quiralidad, una cualidad de las sustancias químicas llamadas feromonas que los seres vivos emiten para provocar comportamientos específicos en los individuos de la misma especie. Para los artrópodos, el mayor grupo de los animales invertebrados, las feromonas son muy importantes en sus sistemas de comunicación, lo cual se puede aprovechar para controlar a los que son plaga o sacar partido de los que son benéficos, mediante estudios para identificar sus componentes.*

**Palabras clave:** ecología química, semioquímicos, plagas, comportamiento, feromonas.

## Maayat'aan (maya): Bookil u kaxtik u nuup wáaj feromona'ob aktáan néen: quiralidad yéetel bix u meyajta'al yik'elo'ob artrópodo'ob

*Ba'ax yaan u yil bix u meyajta'al yik'elo'ob artrópodo'ob yéetel jump'éeel patul jeela'an bix u chíikpajal aktáan jump'éeel néen. Ba'ax nupike' leti' le k'ajóola'an beey quiralidad, jump'éeel ba'al yaan ti' sustancia'ob química'ob k'ajóola'an beey feromona'ob, u book ku jo'osik ba'alo'ob kuxa'ano'ob, je'elbix ba'alche'ob uti'al u meetiko'ob u náats'al wáaj yéetel ku k'áatik u meentik waba'ax u yeet ch'í'ibalil. Ichil yik'elo'ob artrópodo'ob, u jach nojochil múuch' ba'alche' mina'an u baakel u wiinkilal, jach táaj k'a'ana'an le feromona'ob uti'al u paklan t'aano'ob ichiluba'ob, le je'ela' ku béeytal xan u k'a'ana'ankunsa'al ti'al u xak'algo'okol ti'al u k'ajóolta'al ba'ax yaan ichil ka béeyak u ch'e'jsa'al yik'elo'ob ku loobilajo'ob wáaj ka béeyak u kanáanta'al yik'elo'ob ku meetiko'ob uts tumen ku yáantajo'ob.*

**Áantaj t'aano'ob:** ecología química, semioquímicos, ba'ax ku loobilaj, bix u kuxtal, bookil u kaxtik u nuup.

## Bats'i k'op (tsotsil): Ta xa'i yik' sbek'tal ta yeloval nen: mu xko'olaj k'ucha'al slok'obal ta nen, sk'elel xchannel bik'tal jochochetik, kuchultso'etik, ometik, chiletik, xchi'uk yantik.

*¿K'ucha'al oy xchannel stuk'ulalen bik'tal chonbolometik, jchop o k'u yelan sbek'talil ti mu xko'olaj xjobal ta nen? Li bik'tal chonbolometik jech k'ucha'al yantik k'usitik kuxajtike oy yik', k'alaluk mi la skolta li yik'e xjel yu'un stalelal xchi'iltak xu' ta xik' talel. Li bik'tal chonbolometike, li jchop mu'yuk sbakiltake, li yik'e tsots sk'oplal ja' xtun sventa ta sta sbaik ta chi'inel xchi'uk xchi'iltak, li' ne oy stunel sventa stael ta na'el ta stojolal buch'utik xchanike mi chopol o mi lekik bik'tal chonbolometik xp'oltale, pe ba'yel ta xchanik sventa chich' na'el k'u yelan sbek'tal.*

**Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun:** ecología química, semioquímicos, epal bik'tal chonbolometik slajes ts'unobaletik, stalelal, feromonas.

La mayoría de las personas hemos visto cómo se mueve coordinadamente un enjambre de abejas, cómo las hormigas caminan una detrás de otra o, quizá en menor medida, cómo las garrapatas se agregan en grupo para alimentarse de la sangre de algún animal. Todo eso se debe a un fascinante lenguaje que no se habla, no se escucha, no se ve, pero sí se huele. Este lenguaje ha sido muy bien aprovechado por los artrópodos, grupo que incluye a los insectos, arácnidos, miriápodos y crustáceos; en concreto, además de los animales ya mencionados, tenemos a las arañas, alacranes, ciempiés, cangrejos y muchos otros.

Diversos artrópodos han perfeccionado el olfato para detectar pequeñas cantidades de aromas y otras sustancias químicas llamadas feromonas; unos lo hacen con sus antenas, otros con sus patas y otros más con sus palpos (apéndices cercanos a la boca). Adicionalmente, cuentan con glándulas especializadas que producen y liberan los compuestos al ambiente, a fin de comunicarse y provocar comportamientos específicos entre organismos de su misma especie. Ahora bien, las feromonas son aprovechadas por el ser humano para el

manejo de artrópodos, lo cual consiste en la aplicación de métodos y técnicas para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat.

### La quiralidad y el espejo

Parafraseando al físico y matemático lord Kelvin, "denomino quiral, y digo que tiene quiralidad toda figura geométrica si su imagen en el espejo no puede hacerse coincidir consigo misma". La quiralidad es una propiedad intrínseca de las moléculas, pero antes de entrar en materia de química, revisemos un caso cotidiano. Para el ojo humano, dos personas gemelas son indistinguibles entre sí, ya que provienen de la fertilización de un solo óvulo; comparten todos sus genes, poseen los mismos rasgos físicos y son siempre del mismo sexo. Sin embargo, en su comportamiento sí son muy diferentes.

De manera similar, en la naturaleza existen moléculas cuyas fórmulas químicas harían suponer que son "gemelas idénticas", puesto que la composición elemental, el tipo y la cantidad de sus enlaces químicos son iguales. ¿Qué hacer para distinguirlas? Bueno, es necesario recurrir a la geometría

molecular de cada cual, esto es, conocer la disposición tridimensional de los átomos que las constituyen. Así, se debe visualizar la distribución espacial alrededor del átomo central, para identificar la diferencia clave y desenmascarar la supuesta igualdad de las moléculas gemelas. Ese átomo central se conoce como centro de quiralidad, centro estereogénico, centro asimétrico o estereocentro, que para el caso de las feromonas consiste en un átomo de carbono con cuatro enlaces sencillos dirigidos hacia los vértices de un tetraedro (geometría molecular), el cual es asimétrico porque en cada vértice se ubica un sustituyente distinto (figura 1).

Si pensamos en una mano típica de dibujos animados con cuatro dedos e imaginamos la figura 1b como una de ellas, donde la palma sería el átomo central C y los dedos los cuatro sustituyentes, probablemente unos pensarían en una mano izquierda mientras que otros en la derecha. La relación que ambas manos guardan entre sí es una propiedad geométrica que les permite diferenciarse, y que se le conoce como quiralidad (figura 2). Si vemos ambas manos de frente, parecería que hay un espejo en medio de ellas; si tratamos de

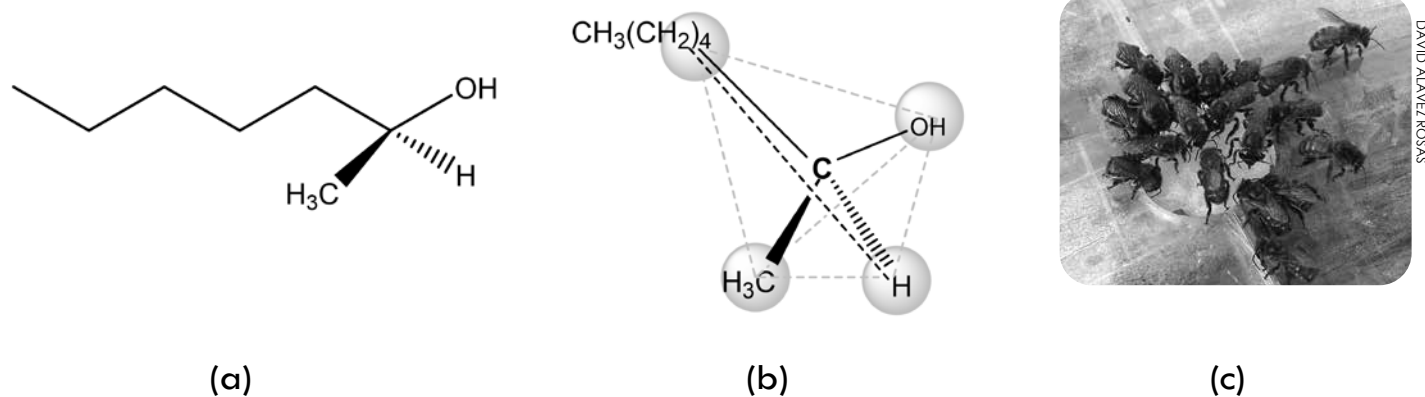


Figura 1. Representación estereoquímica del centro de quiralidad en una molécula, el (*S*)-2-heptanol, feromona de alarma de la abeja sin aguijón *Melipona solani*. (a) Representación en forma de cuñas. La cuña rellena ilustra al grupo  $\text{CH}_3$  (o  $\text{H}_3\text{C}$ ) proyectándose hacia afuera del plano del papel en dirección al lector; la cuña punteada ilustra al átomo de H en la dirección opuesta, alejándose del lector; y las líneas simples ilustran a los grupos alquilo y amino en el plano del papel. (b) Geometría molecular del centro de quiralidad. El tetraedro ilustrado con líneas punteadas muestra en su centro un átomo unido a cuatro sustituyentes diferentes localizados en los vértices. (c) Obreras de *M. solani* recolectando néctar de un alimentador artificial. Fuente: Creación propia.

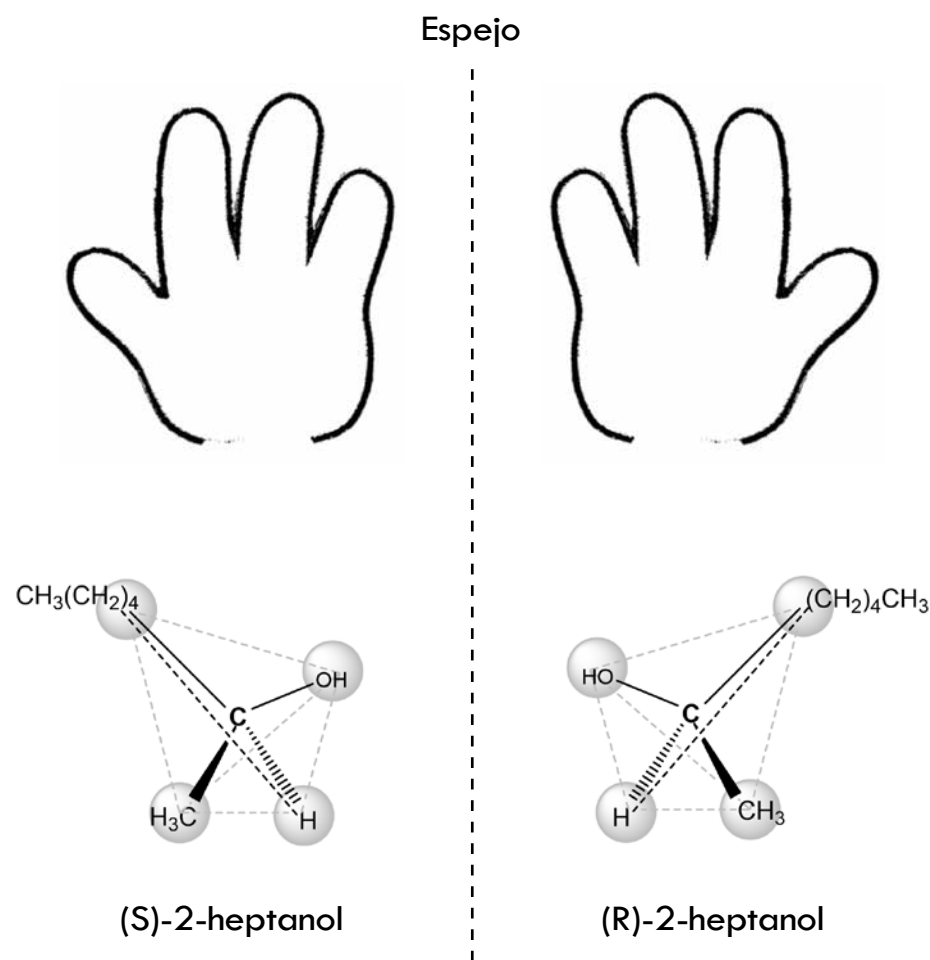


Figura 2. Moléculas quirales semejantes a las manos de los dibujos animados con cuatro dedos. Las moléculas representadas son los dos enantiómeros del 2-heptanol. Fuente: Creación propia.

superponerlas, es decir, colocar una arriba de la otra, veremos que no coinciden. Las feromonas que tienen un centro quiral existen en dos formas llamadas enantiómeros (imagen especular no superponible

sobre sí misma). Por convención se usan los vocablos del latín para denominarlos: (*R*) de *rectus* y (*S*) de *sinister*.

Ahora bien, con esta información ya podemos definir y explicar que la quiralidad

es la singularidad asimétrica de una molécula que le impide ser idéntica a su imagen especular. Del mismo modo en que los gemelos poseen los mismos rasgos físicos, las moléculas quirales presentan propiedades físicas y químicas iguales. No obstante, la sutil diferencia que la quiralidad les otorga es distinguible debido a que poseen algo muy importante: sus propiedades biológicas, las cuales son distintas.

Algunas veces, por error o diversión, hemos intentado colocarnos el guante derecho en la mano izquierda, pero no es posible. La mano derecha se adapta exclusivamente al guante derecho y no al izquierdo; algo similar ocurre con las feromonas quirales y los receptores sensoriales. La comunicación basada en feromonas depende de la quiralidad de los compuestos, y sucede que los artrópodos emplean feromonas quirales para hacer funcionar sus sistemas de comunicación y para asegurar una mayor especificidad en la percepción; por ejemplo, la gallina ciega utiliza aminoácidos quirales como feromona sexual, sustancias que se utilizan como atrayentes colocados en trampas para capturar a ese insecto (figura 3).

## Feromonas de artrópodos

Existen dos tipos de feromonas: las *primer*, con efecto a largo plazo y que incluso afectan la fisiología de los individuos (como las



LUZ NERI BENÍTEZ HERRERA

Figura 3. Trampa para capturar "gallina ciega" (*Paranomala* spp.). La trampa contiene 3 mg de L-valina y 2.7 mg de L-isoleucina.

abejas reinas que producen una feromona que impide que las obreras desarrollen ovarios y se reproduzcan), y las *releaser*, que son las más comunes (por ejemplo, la feromona sexual del barrenador de la nuez de macadamia, figura 4, o la de la palomilla del gusano cogollero, producida por las hembras para atraer a los machos).<sup>1</sup> Estas sustancias desempeñan un papel fun-

<sup>1</sup>Véase "Cuando el amor mata: la feromona sexual del gusano cogollero", de Edi A. Malo y Julio C. Rojas, en *Ecofronteras* 75, <https://bit.ly/3zEQZnt>

damental en todos los aspectos de la vida de los artrópodos, y en general, en la de los seres vivos, como en la reproducción, la búsqueda de alimento, ante situaciones de peligro y hasta para agregarse (conducta en animales que consiste en permanecer juntos).

Entonces, para manejar a los artrópodos con el fin de controlar a los que son plaga en cultivos agrícolas o sacar provecho de los benéficos, conviene aprovechar sus feromonas quirales, aunque primero se

debe determinar la configuración absoluta del compuesto feromonal natural. Después se realizan experimentos con animales vivos, o bioensayos, utilizando los compuestos identificados. Usualmente el compuesto natural es el isómero biológicamente activo, pero incluso el enantiómero que no se produce de manera natural llega a presentar actividad biológica, de modo que debemos tener especial cuidado en utilizar el componente adecuado.

Los artrópodos plaga pueden ser controlados mediante trampas que contengan feromonas como atrayentes. Sin embargo, muchos producen feromonas quirales y algunos de ellos son atraídos por la combinación de los dos enantiómeros, tal es el caso de los machos del escarabajo de *Ambrosia* *Gnathotrichus sulcatus* (plaga de las plantas leñosas), los cuales producen una mezcla de (*R*)-sulcatol:(*S*)-sulcatol como feromona de agregación; mientras que los enantiómeros individuales no tienen actividad biológica. Aunque también existe la posibilidad de que un enantiómero inhiba al otro, como ocurre con la feromona sexual del escarabajo *Anomala osakana*, cuya atracción se atribuye al isómero (*S*), la cual es posible interrumpir con el isómero (*R*). Quizá estas explicaciones no resulten tan fáciles de entender, pero nos dan una idea de las implicaciones en estudios sobre feromonas debido a su potencial.

En insectos benéficos, como las abejas, las feromonas desempeñan un papel importante en la comunicación entre sexos, castas y obreras de la misma colonia. Se ha identificado que las feromonas quirales son usadas por algunas especies en el comportamiento de defensa. Por ejemplo, en nuestro grupo de trabajo observamos que la abeja sin aguijón *Melipona solani* produce (*S*)-2-heptanol como feromona de alarma (figura 2), y que también responde al isómero (*R*). Esta feromona es liberada por las abejas obreras cuando se sienten amenazadas y provoca que sus compañeras de nido huyan del lugar o del agresor. En contraste, en otros estudios se



Figura 4. Trampa para capturar la palomilla de la nuez de macadamia *Gymnandrosoma aurantianum*.

ha hallado que tanto *Scaptotrigona deplis* como *Trigona spinipes* secretan (S)-2-heptanol y responden únicamente a este isómero, y que la respuesta comportamental de estas dos últimas especies es de atacar al agresor, no de huir. La aplicación práctica de este conocimiento aún se está desarrollando.

A pesar de que para los arácnidos (arañas, alacranes, garrapatas y ácaros) no hay muchos estudios sobre la influencia de la quiralidad en su comunicación feromonal, podemos intuir que esta propiedad tiene un rol de vital importancia; como en

el caso del ácaro de granos almacenados *Chortoglyphus arcuatus*, cuya feromona de agregación es el (4R,6R,8R)-chortolure. Las garrapatas no son la excepción, utilizan una molécula con 8 centros quirales como feromona de monta, el colesterol. Con estos ejemplos queda clara la importancia del estudio de las feromonas quirales.

Para concluir, es posible decir que la quiralidad es una propiedad que poseen algunas feromonas, la cual les confiere una diversidad y versatilidad impresionantes cuando de comunicarse se trata. Este proceso es de sumo valor para el manejo de

artrópodos, dado que las feromonas tendrán una actividad biológica diferente según la cantidad de sus centros quirales. Ya sea para controlar un artrópodo plaga o para utilizarlos y obtener de ellos algún beneficio, si son animales que producen feromonas quirales, debemos conocer a detalle qué isómero producen. 🐞

## Bibliografía

- Alavez-Rosas, D., Sánchez-Guillén, D., Malo, E. A., y Cruz-López, L. (2019). (S)-2-Heptanol, the alarm pheromone of the stingless bee *Melipona solani* (Hymenoptera, Meliponini). *Apidologie*, (50), 277-287.
- Malo, E. A., y Rojas, J. C. (2022). Cuando el amor mata: la feromona sexual del gusano cogollero. *Ecofronteras*, 26(75), 22-25.
- Mori, K. (2007). Significance of chirality in pheromone science. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, (15), (24), 7505-7523.

María Gabriela Ballinas López es profesora e investigadora independiente (México) | asesoria.en.quimica@gmail.com

Leopoldo Cruz López es investigador de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula (México) | lcruz@ecosur.mx | https://orcid.org/0000-0001-9569-1251

David Alavez Rosas es posdoctorante en la Universidad Nacional Autónoma de México (México) | alavezd@yahoo.com | https://orcid.org/0000-0001-8695-7329