

De toxina a fármaco: moléculas con doble función

Doralba **Barrita Betanzos**
Jovani **Ruiz Toledo**

La naturaleza está compuesta de pequeñas moléculas que, aunque invisibles a simple vista, son responsables de gran parte de la vida en nuestro planeta. Por ejemplo, en los insectos, algunos de estos compuestos funcionan como señales químicas que los atraen o los repelen, mientras que otros actúan como mecanismos de defensa contra depredadores. Lo sorprendente es que muchas de estas mismas sustancias, creadas originalmente para la supervivencia, también han sido utilizadas por los humanos para aliviar el dolor, combatir enfermedades o protegernos de los insectos que las transmiten.

A lo largo de la historia natural, la misma sustancia que protege a una especie puede convertirse en un remedio para otra. En determinados contextos, una molécula actúa como veneno o defensa química, mientras que en otros se transforma en un agente terapéutico con valor farmacológico. Esta dualidad revela una interdependencia profunda entre los sistemas biológicos: la salud humana y la de los ecosistemas forman parte de un mismo entramado. Lo que la naturaleza produce para conservar la vida en un organismo puede, con conocimiento y equilibrio, servir para restablecerla en otro (Fordjour *et al.*, 2023).

En ese cruce de ideas, la ecología química y la farmacología comenzaron a hablar el mismo lenguaje. La ecología química explica cómo los organismos usan

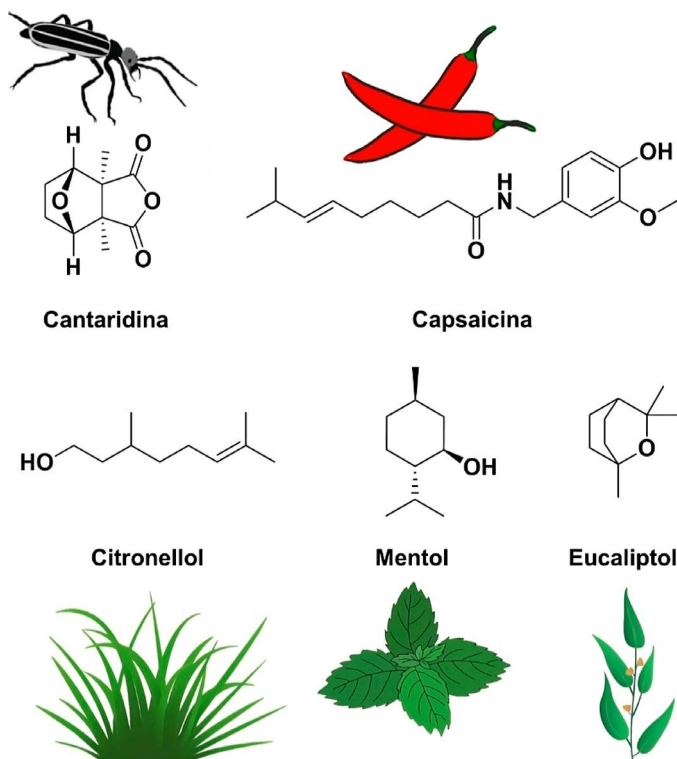
Figura 1. Moléculas de doble cara producidas por insectos o plantas para mediar interacciones ecológicas, pero utilizadas por los humanos como fármacos. Imagen de David Alavez Rosas.

moléculas para comunicarse, defenderse o adaptarse a su entorno. A través de esas diminutas señales, los seres vivos logran sobrevivir y mantener el equilibrio en los ecosistemas. Por su parte, la farmacología aprovecha muchas de esas mismas moléculas y las transforma en compuestos útiles para la salud humana. Cuando ambas disciplinas se encuentran, se revela un vínculo profundo entre la química de la vida y la química de la curación. Explorar la naturaleza con una mirada científica nos permite descubrir conexiones que antes pasaban desapercibidas. En cada organismo y en cada molécula existe una historia química que puede enseñarnos cómo mantener el equilibrio y cuidar la salud. La naturaleza continúa siendo, sin lugar a duda, un recurso interminable de saber y de motivación para la ciencia.

Para prevenir posibles malentendidos sobre el tema, comenzamos con una corta explicación de los conceptos que se tratarán en este artículo. Los metabolitos secundarios son sustancias que desempeñan roles ecológicos particulares en plantas e insectos. En el sector farmacéutico, comúnmente se les denomina sustancias bioactivas o principios activos.

MOLÉCULAS NATURALES CON FUNCIONES DUALES

A lo largo de la evolución han aparecido múltiples moléculas que cumplen funciones particulares en los ecosistemas. Por ejemplo, en el caso de los insectos, intervienen en aspectos como la defensa, la comunicación, la atracción y el rechazo entre diversas especies. Lo increíble es que estas mismas sustancias, que antes se veían como irrelevantes para la humanidad, se convierten en recursos valiosos para la salud y la medicina. Tal es el caso de la cantaridina,



un compuesto producido por el escarabajo *Epicauta chinensis* (Figura 1). El macho la ofrece como “regalo de bodas”, mientras que la hembra la usa para cubrir sus huevos, haciéndolos inaccesibles a los depredadores debido a su toxicidad (Jiang *et al.*, 2017). Esta misma molécula, que puede ser peligrosa para los humanos en dosis altas, se está investigando actualmente como agente antitumoral, ya que tiene el potencial de inducir la apoptosis, es decir, la muerte celular programada (Zhang *et al.*, 2017). Esta molécula se ha utilizado en dermatología para eliminar verrugas. Este ejemplo transmite una lección clara: lo que funciona como un veneno en la naturaleza tiene el potencial, con el conocimiento y el manejo adecuados, de transformarse en una valiosa herramienta para la medicina.

La capsaicina es otra sustancia conocida que le da a los chiles su característico picante. En las plantas del género *Capsicum*, se produce como defensa contra los mamíferos herbívoros; sin embargo, no tiene efecto en las aves, lo que les permite seguir propagando sus semillas. En farmacología, esta misma molécula se utiliza como analgésico tópico, ya que ayuda a reducir la sensibilidad al dolor y

a aliviar afecciones como neuropatías diabéticas, neuralgias y artritis (Arora *et al.*, 2021).

Diversos compuestos naturales ilustran la amplia gama de funciones ecológicas y farmacológicas que pueden presentar los metabolitos secundarios. El mentol de la menta, el eucaliptol del eucalipto y el citrionelol de la citronela son ejemplos representativos. En el contexto ecológico, estas moléculas actúan como mecanismos de defensa, ya que repelen o resultan tóxicas para ciertos insectos. No obstante, en el ámbito humano, se valoran por sus aplicaciones terapéuticas y cosméticas, al formar parte de formulaciones con propiedades repelentes, analgésicas y antiinflamatorias (Rito-Rueda *et al.*, 2023).

Los ejemplos anteriores demuestran que una molécula puede desempeñar la función de medicina en un organismo y de defensa en otro. No se trata de coincidencias independientes, sino de la expresión de algo más esencial: la química que sustenta la vida es compartida. Una molécula que funciona como veneno, señal o escudo en la naturaleza, puede transformarse en medicamento. Por esta razón, el fenómeno conocido como la “función dual” de las moléculas no es simplemente una curiosidad, sino que demuestra claramente la íntima conexión entre la salud y la ecología.

IMPlicaciones en Salud Pública y Farmacología

La exploración de moléculas naturales que desempeñan doble función ha establecido un auténtico vínculo entre la farmacología aplicada y la ecología química. En consecuencia, actualmente disponemos de una gama más extensa de compuestos bioactivos que no solo poseen capacidad terapéutica, sino también fomentan la creación de productos más sustentables, con ventajas para el balance ambiental y la salud de las personas.

Este conocimiento ha sido útil en el control de vectores de enfermedades compuestos como el citrionelal, el eucaliptol y el geraniol han probado su eficacia frente a insectos como la vinchuca, portadora del *Trypanosoma cruzi* (el parásito responsable de la enfermedad de Chagas), y el *Aedes*

aegypti, transmisor del dengue (Narawi *et al.*, 2020). Aunque estos compuestos son de procedencia vegetal y suelen ser más seguros, su efectividad y toxicidad dependen tanto de la dosis como del método en uso. Al mismo tiempo, algunas de estas moléculas poseen propiedades antiinflamatorias, analgésicas y antimicrobianas, lo que las hace útiles en formulaciones que combinan la protección con beneficios terapéuticos (Alavez-Rosas y Cruz-Esteban, 2022). Por ejemplo, los aceites esenciales como los de citronela o eucalipto muestran una eficacia comprobada como repelentes, aunque su desempeño depende en gran medida de la concentración del compuesto activo, el tipo de formulación y las condiciones ambientales donde se apliquen. En general, ofrecen protección más corta que los productos sintéticos, pero con la ventaja de ser opciones más seguras y menos agresivas para el entorno.

Estas moléculas han influido de manera importante en la medicina complementaria y en la medicina tradicional. A lo largo de siglos, varias culturas han empleado extractos vegetales para calmar el dolor y defenderse de los insectos. La ciencia está empezando a avalar ahora prácticas ancestrales, como las infusiones de menta para los problemas gástricos o los ungüentos de capsaicina para el malestar en los músculos. Los procesos bioquímicos que explican estos efectos han podido ser entendidos gracias a investigaciones recientes. Los estudios computacionales y clínicos que evidencian la actividad de sus principios activos han hecho posible, a su vez, esta investigación.

La noción de “una molécula, múltiples funciones” ha servido como fuente de inspiración para la generación de productos novedosos que incorporan una variedad de funciones. Hay fármacos que, aparte de mitigar el dolor, tienen la capacidad de rechazar insectos o fusionar efectos sedantes con características antiparasitarias. Estas soluciones completas, seguras, económicas y culturalmente pertinentes tienen una eficacia particular en comunidades que no tienen fácil acceso a la medicina tradicional.



© Ivette Tejero. *Fiesta nocturna en Tultepec, Estado de México*. Óleo/cartón, 46 x 31 cm.

Las moléculas naturales se vislumbran como una opción alentadora en un contexto global marcado por la resistencia a los fármacos y la crisis ecológica. Su origen renovable, su especificidad biológica y la escasa aparición de efectos secundarios serios son las razones por las cuales generan cada vez más interés, tanto en la comunidad científica como en la sociedad.

No es una coincidencia que numerosos grupos de investigación, entre ellos el nuestro, estén creando fórmulas con aceites esenciales para manejar insectos de relevancia médica en áreas tropicales. El propósito es evidente: desarrollar alternativas que sean seguras, efectivas y sostenibles, que mantengan la salud de las personas sin poner en riesgo el equilibrio del medio ambiente.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Aunque las moléculas naturales con doble función tienen un gran potencial, todavía afrontan retos signi-

ficativos para su aplicación. Una de las variables más destacadas es la química: una planta puede generar compuestos diversos dependiendo del lugar donde se sitúe, el clima en el que crezca o el método utilizado para extraer sus aceites e ingredientes activos. La complejidad legal agrava esta situación. Según el país y la aplicación, una misma sustancia puede ser clasificada como un medicamento, un plaguicida o un cosmético. Esto produce un gran número de normas y criterios. La ausencia de uniformidad produce vacíos regulatorios y trámites extensos y costosos para analizar la seguridad y efectividad de los productos, lo cual frecuentemente obstaculiza o limita su comercialización.

El conocimiento todavía limitado acerca de sus mecanismos de acción es otro gran reto. Aunque se ha comprobado que una gran cantidad de estas moléculas tienen efectos biológicos evidentes, aún se requiere un entendimiento más exacto de su interacción con las células y los sistemas orgánicos. Un examen más detallado de estos mecanismos permitiría la creación de productos que sean más eficaces, específicos y seguros, con la capacidad

de ser aprovechados al máximo sin comprometer la salud ni el medio ambiente.

A pesar de que en ensayos *in silico*, *in vitro* y en modelos con animales se ha evidenciado la actividad biológica de muchos compuestos, no se ha llegado a entender del todo su interacción molecular exacta con dianas biológicas. Esa carencia de exactitud obstaculiza el progreso racional de análogos más eficaces, seguros y precisos. Por esta razón, fomentar una cooperación más cercana entre farmacólogos, bioquímicos, ecólogos químicos y biotecnólogos es fundamental.

Se plantea además una cuestión importante en el terreno ético y ambiental: el uso sostenible de las plantas autóctonas. Si no se utilizan métodos sostenibles para la cosecha y el cultivo, la creciente necesidad de aceites esenciales o extractos puede amenazar las especies vegetales y los ecosistemas. La biotecnología presenta en este contexto oportunidades innovadoras, como la generación de compuestos naturales mediante enzimas o microorganismos y el cultivo de líneas celulares *in vitro*. Estas estrategias pueden reducir la presión sobre los recursos naturales y hacer que el uso de estas sustancias sea más sostenible.

A pesar de estos obstáculos, la visión es positiva. En años recientes, instrumentos como la metabolómica y la química computacional han revolucionado la forma en que se identifican y mejoran los compuestos naturales. La metabolómica facilita la observación de cómo las moléculas influyen en los procesos biológicos de plantas, insectos o microorganismos, mientras que la química computacional asiste en la predicción de sus posibles interacciones con el organismo humano. Gracias a esta integración, en la actualidad es factible identificar con mayor exactitud qué sustancias poseen potencial terapéutico o ambiental y crear versiones más seguras y eficaces (Wang *et al.*, 2022). Simultáneamente, el creciente interés en los productos naturales y la valorización de los conocimientos tradicionales están creando nuevas oportunidades para la innovación y el emprendimiento en el campo de la farmacología ecológica, un área donde ciencia y naturaleza pueden avanzar conjuntamente

NOTA

Para la elaboración de este artículo se emplearon herramientas de asistencia lingüística basadas en inteligencia artificial con el fin de optimizar la redacción y la coherencia del texto, bajo supervisión directa de los autores. El contenido conceptual, las referencias y los resultados estuvieron a cargo exclusivo de los autores.

REFERENCIAS

- Alavez-Rosas D y Cruz-Esteban S (2022). Enervantes aromas que matan o ahuyentan. *Elementos* 127:23-26. Recuperado de: <https://elementos.buap.mx/post.php?id=722>.
- Arora V, Campbell J and Chung M (2021). Fight fire with fire: Neurobiology of capsaicin-induced analgesia for chronic pain. *Pharmacology & Therapeutics* 220:1-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2020.107743>.
- Fordjour E, Manful C, Sey A *et al.* (2023). Cannabis: a multifaceted plant with endless potentials. *Frontiers in Pharmacology* 14:1-36. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1200269>.
- Jiang M, Lü S and Zhang Y (2017). The potential organ involved in cantharidin biosynthesis in *Epicauda chinensis* Laporte (Coleoptera: Meloidae). *Journal of Insect Science* 17:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex021>.
- Narawi M, Chiu H, Yong Y *et al.* (2020). Biocompatible nutmeg oil-loaded nanoemulsion as phyto-repellent. *Frontiers in Pharmacology* 11:1-15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00214>.
- Rito-Rueda A, Flores-Jiménez E, Gutiérrez-Cabrera A *et al.* (2024). How to repel a killer; chemical identification and effective repellent activity of commercial essential oils against kissing bugs. *Medical and Veterinary Entomology* 38:148-159. DOI: <https://doi.org/10.1111/mve.12702>.
- Wang X, Hu Y, Zhou X and Li S (2022). Network pharmacology and traditional medicine: Setting the new standards by combining *in silico* and experimental work. *Frontiers in Pharmacology* 13:1-5. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1002537>.
- Zhang L, Cheng S, Chen C *et al.* (2024). Application of cantharidin, retinoic acid cream and salicylic acid in multiple palmoplantar warts. *Skin Research and Technology* 30:1-5. DOI: <https://doi.org/10.1111/srt.13586>.

Doralba Barrita Betanzos
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chiapas

Jovani Ruiz Toledo
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chiapas
jovani.ruiz@unach.mx

© **Ivette Tejero**. *Voladores de Papantla*. De la Serie México Mágico. Óleo/cartón, 35 x 25 cm.

