

T-11

La incorporación de las nuevas tecnologías en el control de mosquitos: un acercamiento a las principales tendencias actuales

Pedro María Alarcón-Elbal

Grupo de Investigación Zoonosis Transmitidas por Vectores (ZOOVEC), Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos (PASAPTA)
pedro.alarconelbal@uchceu.es

INTRODUCCIÓN

En 1877, Sir Patrick Manson, médico escocés que realizó buena parte de su práctica profesional en el continente asiático, aportó por primera vez una evidencia científica incuestionable acerca del papel de los mosquitos (Diptera: Culicidae) en la transmisión de patógenos al ser humano, concretamente del nematodo parásito causante de la filariasis linfática¹.

Actualmente, casi un siglo y medio después del hallazgo de Manson, el control de los mosquitos continúa suponiendo un enorme desafío para la salud pública a nivel mundial. Esto es debido, en gran medida, a la emergencia y reemergencia de enfermedades vehiculadas por estos artrópodos, como el dengue, la malaria, la fiebre amarilla o el virus del Nilo Occidental, entre otras². Frente a este preocupante contexto epidemiológico, la integración constante de nuevas tecnologías, así como de técnicas y estrategias mejoradas, ofrecen un enfoque prometedor para incrementar la eficacia de las medidas de control.

Entre las características que actualmente se les exige a las nuevas técnicas de control de mosquitos imperan la sostenibilidad y la seguridad para el medio ambiente, las personas y otras especies no diana. Además, deben ser costo-efectivas y accesibles para su implementación a gran escala, pues son justamente los países en vías de desarrollo aquellos en los que las enfermedades vehiculadas por mosquitos presentan una mayor prevalencia. Por tanto, este artículo pretende ofrecer una visión general de las principales tendencias en la incorporación de tecnologías emergentes en el control de mosquitos, destacando sus aplicaciones, ventajas y desafíos.

I. TÉCNICA DEL INSECTO ESTÉRIL

Se trata de una estrategia de control poblacional de insectos cuyo origen se remonta a mediados del siglo XX, cuando se implementó por primera vez para combatir a la plaga de mosca del Mediterráneo. Ensayos de campo realizados en la década de los 70 demostraron que también podía funcionar contra los mosquitos, incluso

con la tecnología entonces disponible³. Las nuevas tecnologías, con potencial de proporcionar mejoras costo-efectivas sustanciales del proceso, han revitalizado el interés de esta técnica en el campo del control de vectores. En el caso de los mosquitos, consiste en criar grandes cantidades de machos estériles en el laboratorio a través de la irradiación de las pupas, evitando que, tras ser liberados los imagos en el ambiente, puedan reproducirse exitosamente con las hembras salvajes. Esta técnica no se basa en la aplicación de químicos y tampoco altera el equilibrio ecológico, al no afectar negativamente a otras especies. Aunque requiere de una gran inversión en infraestructura y elevada complejidad a nivel logístico, su efectividad en la reducción de poblaciones la convierte en una herramienta muy valiosa para el control de mosquitos y, en consecuencia, de las enfermedades vehiculadas por estos⁴.

II. WOLBACHIA

Se trata de una bacteria endosimbionte que se encuentra con mucha frecuencia en los insectos. En una primera aproximación para el control de mosquitos, la también conocida como "técnica del insecto incompatible", es un método en el que los huevos, producidos a partir del apareamiento exitoso entre machos liberados con *Wolbachia* y hembras salvajes, pierden su viabilidad. La supresión de las poblaciones de mosquitos podría lograrse con liberaciones regulares en el tiempo. Teniendo en cuenta que esta bacteria ha demostrado, además, reducir significativamente la capacidad de los mosquitos para transmitir patógenos, la introducción controlada de mosquitos con determinadas cepas de *Wolbachia* permitiría un reemplazo progresivo de poblaciones naturales de mosquitos por otras artificiales, cuyo objetivo sería la obtención de poblaciones resistentes a infecciones virales. De hecho, *Wolbachia* compite con los patógenos por recursos dentro del insecto e incluso inhibe su multiplicación⁵. Entre las ventajas de esta técnica se encuentran su naturaleza sostenible e inocuidad para el medio ambiente, además de su capacidad para mantenerse a largo plazo en las poblaciones de este díptero.

III. MOSQUITOS MODIFICADOS GENÉTICAMENTE

La técnica de control de mosquitos basada en la modificación genética ha sido, probablemente, el hallazgo más destacado y prometedor de los últimos tiempos. Desde sus inicios, la técnica ha evolucionado, pero ha encontrado un gran avance con la llegada de CRISPR, una herramienta de edición genética rápida, eficiente y muy precisa. Utilizando CRISPR, los investigadores pueden modificar genes específicos en los mosquitos, como aquellos responsables de la transmisión de determinados patógenos o los relacionados con su capacidad reproductiva. Esto ha llevado al desarrollo de mosquitos modificados genéticamente que pueden reducir drásticamente las poblaciones de vectores de enfermedades de modo similar a como ocurre con *Wolbachia*, es decir, ya sea mediante la supresión de las poblaciones silvestres con genes letales o con el reemplazo de poblaciones con mosquitos con escasa competencia vectorial⁶. Este método enfrenta diferentes desafíos regulatorios, éticos y de aceptación pública, pero su potencial para el control podría tener un impacto significativo en la salud pública a nivel global⁷.

IV. CEBOS TÓXICOS AZUCARADOS

Este concepto aprovecha el comportamiento de alimentación de carbohidratos de algunos insectos, atrayéndolos a alimentarse de una fuente azucarada que además contiene un ingrediente insecticida. En el caso de los mosquitos, el primer cebo azucarado tóxico fue desarrollado contra *Aedes aegypti* utilizando una combinación de malatión y solución de sacarosa al 20 %⁸, aprovechando que tanto machos como hembras necesitan azúcar como principal fuente de energía. Los cebos azucarados tóxicos consisten en un soporte que utiliza un aroma frutal como atrayente, una solución azucarada como estimulante y una toxina oral que mata a los mosquitos, siendo habituales el ácido bórico, la deltametrina, el spinosad y el fipronil. Para evitar la acumulación de pesticidas en el medio ambiente y los efectos negativos de los insecticidas químicos se han propuesto nuevos enfoques a través de métodos para-transgénicos y transgénicos. Estos van desde la integración en los cebos de bacterias que controlen a los mosquitos o inhiban a los patógenos en su interior, hasta la integración de ARN de doble cadena dirigido contra secuencias genómicas cruciales para la supervivencia de diferentes especies⁹.

V. AUTODISEMINACIÓN POR MOSQUITOS AUTOCIDAS

Se trata de un método de control a través del cual los insectos que entran en contacto con ciertos insecticidas de acción lenta son capaces de liberar estos compuestos en el medio ambiente, propagándolo entre diferentes poblaciones y coadyuvando al control de su crecimiento.

Para el control de mosquitos, la autodiseminación fue confirmada por primera vez a principios de los 90, cuando se demostró que los adultos del mosquito *Ae. aegypti* eran capaces de transferir piriproxifeno desde sus sitios de reposo artificiales (tratados con este regulador del crecimiento) a diferentes criaderos, lo que resultaba en una actividad insecticida significativa sobre las formas preimaginales de culícidos¹⁰. Esta técnica puede incrementar la cobertura de los hábitats objeto de control de forma precisa, ya que no es necesaria una aplicación generalizada de insecticida, reduciendo el impacto ambiental y la mano de obra necesaria, entre otros. Se han evaluado diferentes factores, incluidos nuevas estaciones de autodiseminación (sostenibles, biodegradables, económicas), ingredientes activos alternativos (metopreno, *Beauveria bassiana*) y formulaciones mejoradas¹¹.

CONSIDERACIONES FINALES

La necesidad de optimizar el control de mosquitos ha impulsado la exploración de diversas técnicas innovadoras. Mientras que la técnica del insecto estéril y de la *Wolbachia* son métodos de control biológico que utilizan la autodiseminación del agente de control como estrategia, en el caso de los mosquitos modificados genéticamente se ejerce un control basado en ingeniería genética, teniendo en cuenta nuevamente la autodiseminación. En el caso de los cebos tóxicos azucarados y de los mosquitos autocidas, son dos métodos de control químico, basado el primero en una estrategia de atracción-eliminación, y de autodiseminación el segundo.

Además de los métodos tradicionales y de los arriba mencionados, otros como el microencapsulado de insecticidas, el uso de nanopartículas metálicas de origen vegetal, los cebos de atracción específicos y algunas herramientas de trapeo masivo, junto con nuevos enfoques como la ciencia ciudadana, el uso de sistemas de teledetección y la inteligencia artificial, están ganando cada vez más relevancia no solo en el plano del control, también algunos en el de la vigilancia. La integración adecuada de estas estrategias, junto con el fortalecimiento de ciertos ejes de acción esenciales como la formación, la comunicación de riesgos y la investigación¹², emergen como una senda multifacética más que prometedora para alcanzar el tan deseado control de culícidos vectores en el futuro próximo. Sin duda un objetivo complicado, pero cada vez más factible.

REFERENCIAS

1. Cook GC. Tropical Medicine: An Illustrated History of The Pioneers. 1st Edition. London: Academic Press. 2007.
2. Caragata EP, Dong S, Dong Y, et al. Prospects and Pitfalls: Next-Generation Tools to Control Mosquito-Transmitted Disease. Annu. Rev. Microbiol. 2020; 74:455-75.

3. Lofgren CS, Dame DA, Breeland SG, et al. Release of chemosterilized males for the control of *Anopheles albimanus* in El Salvador. III. Field methods and population control. Am. J. Trop. Med. Hyg. 1974; 23:288-97.
4. Alphey L, Benedict M, Bellini R, et al. Sterile-insect methods for control of mosquito-borne diseases: an analysis. Vector Borne Zoonotic Dis. 2010; 10(3):295-311.
5. Yen PS, Failloux AB. A Review: *Wolbachia*-Based Population Replacement for Mosquito Control Shares Common Points with Genetically Modified Control Approaches. Pathogens. 2020; 9(5):404.
6. Reegan AD, Ceasar SA, Paulraj MG, et al. Current status of genome editing in vector mosquitoes: A review. Biosci. Trends. 2017; 10(6):424-32.
7. Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de las estrategias innovadoras para el control de *Aedes aegypti*: desafíos para su introducción y evaluación del impacto. Washington, D.C.: OPS. 2019.
8. Lea AO. Sugar-baited insecticide residues against mosquitoes. Mosq. News 1965; 25:65-6.
9. Fiorenzano JM, Koehler PG, Xue RD. Attractive Toxic Sugar Bait (ATSB) For Control of Mosquitoes and Its Impact on Non-Target Organisms: A Review. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017; 14(4):398.
10. Itoh T. Control of DF/DHF Vector, *Aedes* Mosquito, with Insecticides. Trop. Med. 1994; 35:259-67.
11. McKemey A, Adey R. Autodissemination of insecticides for Mosquito control. [actualizado en 2018; citado el 5 de marzo de 2024] Disponible en: <https://www.ivcc.com/wp-content/uploads/2019/10/Autodissemination-Report-Adey-and-McKemey-Sep-2018.pdf>
12. Bueno Marí R, García Masiá IA, Alarcón-Elbal PM, et al. Aproximación integrada al control vectorial: formación, comunicación de riesgos e investigación. Rev. salud ambient. 2022; 22(Espec. Congr.):31-7.