

¿SE PUEDE CONTROLAR AL *Aedes aegypti*, VECTOR DEL VIRUS DENGUE, EN ARGENTINA?

JOSÉ F. GIL^{1,2}, RAQUEL M. GLEISER³, MARIANEL L. FALVO⁴, PAOLA M. CASTILLO¹, JOSÉ SOLÍS¹, CAROLINA MANGUDO¹, FABIOLA PARUSSINI⁵, PABLO G. GUERENSTEIN^{4,6}, JUAN P. APARICIO¹, DAVID E. GORLA⁷

¹Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INENCO-CONICET), Grupo de Ambiente y Salud, Salta, ²Instituto de Investigaciones de Enfermedades Tropicales, Universidad Nacional de Salta (IIET-UNSa), Facultad de Orán, Salta, ³Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN), Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV, UNC-CONICET), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, ⁴Centro de Investigación Científica y Transferencia Tecnológica a la Producción (CICYTTP, CONICET - Gobierno de Entre Ríos - UADER), Entre Ríos, ⁵Instituto de Ecorregiones Andinas, CONICET-Universidad Nacional de Jujuy, Jujuy, ⁶Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, ⁷Instituto de Diversidad y Ecología Animal, Universidad Nacional de Córdoba y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Córdoba, Argentina

Dirección postal: David E. Gorla, Instituto de Diversidad y Ecología Animal, Universidad Nacional de Córdoba y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Vélez Sarsfield 299, 5000 Córdoba, Argentina

E-mail: david.gorla08@gmail.com

Recibido: 26-IX-2025

Aceptado: 4-XII-2025

Resumen

Desde 2009, Argentina ha enfrentado brotes recurrentes de dengue, con un aumento notable en la incidencia durante la temporada 2023-2024. A pesar de las acciones llevadas a cabo siguiendo las directrices de la Organización Panamericana de la Salud para el control del mosquito *Aedes aegypti*, la enfermedad sigue siendo un problema de salud significativo. Este trabajo analiza la eficacia de las acciones recomendadas y subraya la necesidad de investigaciones operativas para mejorar la implementación. El enfoque tradicional se centra en la prevención, control y contención, incluyendo saneamiento ambiental, monitoreo y control focal. Sin embargo, se identifican limitaciones, como la existencia de casos asintomáticos que contribuyen a la transmisión, la resistencia de los insectos a insecticidas y la insuficiente participación comunitaria en la eliminación de criaderos. Se describen alternativas de control que han mostrado eficacia en otros países, como la autodeseminación de larvicidas, la liberación de mosquitos infectados con *Wolbachia*, la técnica del insecto estéril, el rociado residual intradomiciliario y el trapeo masivo. Estas estrategias innovadoras deben ser evaluadas sistemáticamente para

determinar su efectividad. La persistencia de brotes de dengue indica que las estrategias actuales no son suficientes. Es fundamental integrar enfoques alternativos y fomentar la colaboración entre agencias de salud, investigación y la comunidad para mejorar el control del dengue en Argentina y prevenir futuros brotes.

Palabras clave: dengue, *Aedes aegypti*, mosquito, técnica de control, brotes epidémicos

Abstract

*Can *Aedes aegypti*, vector of the dengue virus, be controlled in Argentina?*

Since 2009, Argentina has faced recurrent dengue outbreaks, with a notable incidence increase during the 2023-2024 season. Despite following the guidelines from the Pan American Health Organization for controlling the *Aedes aegypti* mosquito, the disease remains a significant health problem. This review article analyzes the efficacy of the recommended actions and emphasizes the need for operational research to improve implementation. The

traditional approach focuses on prevention, control and containment actions, including environmental sanitation, monitoring and focal control. However, limitations have been identified, such as the presence of asymptomatic cases contributing to arbovirus transmission, mosquito insecticide resistance, and insufficient community participation in eliminating breeding sites. Alternative control measures that have shown effectiveness in other countries are described, such as the autodissemination of larvicides, the release of mosquitoes infected with *Wolbachia*, the sterile insect technique, indoor residual spraying, and mass trapping. These innovative strategies need to be systematically evaluated to determine their effectiveness. The persistence of dengue outbreaks indicates that current strategies are insufficient. It is essential to integrate alternative approaches and foster collaboration among health agencies, researchers, and the community to improve dengue control in Argentina and prevent future outbreaks.

Key words: dengue, *Aedes aegypti*, mosquito, control technique, epidemic outbreak

PUNTOS CLAVE

Conocimiento actual

- Los brotes recurrentes y de intensidad creciente ocurren en Argentina desde 2009. Bajo el actual contexto las vacunas disponibles no pueden prevenir brotes, siendo clave el control del mosquito vector. El control de *Aedes aegypti* incluye saneamiento ambiental, monitoreo y control focal, pero enfrenta limitaciones asociadas a casos asintomáticos, resistencia a insecticidas y baja participación ciudadana.

Contribución del artículo al conocimiento actual

- El actual manejo de las poblaciones de *Ae. aegypti* no impidió brotes de dengue con intensidad creciente. El artículo describe ventajas y desventajas de técnicas alternativas y/o complementarias a las actuales (autodisseminación de reguladores de crecimiento o entomopatógenos, técnica del insecto estéril, trampeo masivo, *Wolbachia* rociado residual y transgénesis) y se resalta la urgente necesidad de evaluarlas en el territorio nacional.

Desde 2009, los brotes de dengue en Argentina se suceden con frecuencia variable e intensidad creciente. A pesar de la implementación de los lineamientos expuestos en la Gestión Integrada para la prevención y el control del dengue y otras arbovirosis transmitidas por el mosquito *Aedes aegypti* propuesta por la Organización Panamericana de la Salud^{1,2}, el dengue continúa impactando fuertemente en la Región de las Américas. En la temporada 2023-2024 ocurrió un notable aumento de la incidencia que duplicó la cantidad de casos documentados el año anterior. En Argentina, los brotes epidémicos ocurrieron en 2009, 2016, 2020, 2023, 2024, en los que el número de casos ha evidenciado incrementos sostenidos y significativos.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la eficacia de las acciones recomendadas para el manejo integrado de *Ae. aegypti* en Argentina, y destacar la necesidad de realizar investigaciones operativas para evaluar esa eficacia en terreno, articulando esfuerzos del sistema de salud pública, los gobiernos locales y del sistema científico. Además, describimos enfoques alternativos que hasta el presente no fueron considerados sistemáticamente en Argentina, aunque en otras geografías mostraron importante impacto en la disminución de la incidencia de la enfermedad.

El enfoque tradicional

Los lineamientos vigentes para el abordaje integral del dengue en Argentina³, proponen un esquema con tres ejes de acción: la prevención primaria (que debe mantenerse durante todo el año), el control (frente a pocos casos sospechosos de dengue) y la contención (frente a un brote confirmado)⁴. Las acciones permanentes apuntan a disminuir de manera continua la abundancia del vector a lo largo del año, evitando la instalación de las arbovirosis. Estas acciones incluyen el saneamiento ambiental, las obras de infraestructura, el control focal, la comunicación y la educación sanitaria. El saneamiento ambiental incluye el desmalezado y la eliminación de recipientes que puedan servir como potenciales criaderos no solo en el ámbito domiciliario y peridomiciliario sino también en sitios críticos o predios estratégicos como hospitales, escuelas, cementerios o basurales. Las

obras de infraestructura incluyen la provisión de agua potable y de viviendas adecuadas, para disminuir el almacenamiento precario de agua por parte de las comunidades y así reducir el número de potenciales criaderos. El control focal incluye la eliminación de recipientes inservibles, la neutralización de los recipientes útiles y el uso de larvicidas en criaderos que no puedan ser neutralizados o eliminados, como contenedores de grandes volúmenes, huecos de árboles o sumideros. Para esto, se emplean reguladores de crecimiento como el piriproxifen o controladores biológicos como *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (Bti). Incluye, además, actividades de educación para la salud en las que los operarios informan a las personas residentes del domicilio sobre el riesgo de transmisión de arbovirosis asociado a la presencia y reproducción del mosquito vector en el lugar.

Para las acciones permanentes se recomienda el monitoreo entomológico usando el Levantamiento Rápido de Índices de Infestación de *Ae. aegypti* (LIRAA), el uso de sensores de oviposición (ovitrapas) y/o larvitrapas. El LIRAA es una estrategia de muestreo para estimar los índices larvarios aélicos (índices de vivienda positivas, y el índice de Breteau, que mide el número de recipientes positivos por cada 100 casas inspeccionadas). Las ovitrapas se recomiendan para la vigilancia de la invasión del mosquito, dado su bajo costo, en especial en zonas de bajo nivel de infestación o libres del vector.

Las acciones de emergencia (control y contención) intensifican las acciones permanentes y adicionan el bloqueo focal y el control químico espacial. Ante la detección de un caso sospechoso o confirmado de dengue, las agencias de salud despliegan acciones de emergencia. La primera medida es la realización de un "bloqueo", consistente en la aplicación de un adulticida en un formulado líquido micronizado (de ultra bajo volumen, ULV), aplicado con termonebulizadora o niebla fría en las viviendas de 9 manzanas centradas en la vivienda del caso reportado. Ante la ocurrencia de numerosos casos de dengue y la imposibilidad de cubrir espacialmente el terreno con máquinas manuales, se usa un "rociado espacial", con una termonebulizadora/ niebla fría de gran porte, montada en un vehículo que recorre las calles. La acción tiene por objeto im-

pedir que mosquitos en la vecindad entren en contacto con personas infectadas que actúen como fuente de virus.

Las acciones de vigilancia y control de *Ae. aegypti* basadas en las directrices del Ministerio de Salud - OPS, se aplican de modo heterogéneo en el territorio nacional y dependen de la cantidad de recursos que el sistema de salud y los municipios asignen a tales actividades. Entre las acciones de vigilancia, algunos municipios instalan sensores de oviposición con mayor o menor cobertura urbana. Los sensores de oviposición son revisados semanalmente y se registra el número de huevos presentes. En general, se calcula la fracción de sensores positivos y el promedio semanal de huevos en los sensores³. Es incierto el uso que se da a los datos recolectados con este instrumento. En una fracción menor de municipios se realizan relevamientos larvales en una selección de barrios y se informa a la población el índice de viviendas positivas. Entre las acciones preventivas, en todo el territorio nacional se realizan actividades de información, educación y comunicación (IEC), a través de cartelería o a través de medios de difusión públicos (prensa escrita, radial, TV o medios digitales).

Los problemas

Actualmente se reconoce que el abordaje del programa de control de dengue en Argentina¹ tiene limitaciones debido a que:

- Existen casos asintomáticos y/u oligosintomáticos que pasan desapercibidos para el sistema de salud. Estas personas pueden ser el mayor vehículo de diseminación espacio-temporal del virus en una población durante una epidemia. De hecho, se ha estimado que hasta el 84% de los casos pueden ser generados a partir de personas con infección clínicamente inaparente, siendo muy baja la fracción de nuevos casos que son originados a partir de personas sintomáticas⁵.

- La amplia movilidad de las personas hace que, el bloqueo de las manzanas de residencia (y las ocho colindantes) de los casos sintomáticos, no sea una medida suficientemente eficaz si las zonas a las que la persona virémica concurrió e infectó a nuevos mosquitos no son intervenidas. Por ello, la eliminación de mosquitos adultos infectados ocurre solo en una pequeña frac-

ción de área o ciudad afectada y la diseminación del virus en la población humana puede seguir creciendo mucho más rápido de lo percibido inicialmente⁶⁻⁸.

- Los aduclidas de uso rutinario tienen baja o nula eficacia en sitios de Argentina donde exista resistencia a piretroides en poblaciones del mosquito⁹⁻¹².

- La eliminación de los potenciales criaderos domésticos por parte de la comunidad tiene una eficacia menor que la necesaria para impactar sobre la población de mosquitos adultos. Además de los problemas vinculados con la participación comunitaria, la existencia de criaderos crípticos (fuera del alcance de la comunidad, de los agentes municipales y/o de salud) disminuye aún más la eficacia de este tipo de intervenciones.

- El control de larvas basado en el uso de larvicidas biológicos o químicos tiene una eficacia mucho menor que la necesaria debido a la baja cobertura conseguida por la comunidad, por los agentes de salud y/o municipales.

- Aunque se calculan frecuentemente, está demostrado que los índices aélicos no son buenos indicadores de riesgo de transmisión de dengue.

Desde la ocurrencia del primer brote importante de dengue en Argentina en 2009, este esquema de vigilancia, acciones preventivas y de emergencia se sostiene con cierta heterogeneidad en todo el territorio nacional. Desde aquel momento, se sucedieron periódicamente brotes importantes cada 3 a 5 años, con intensidad creciente en cuanto a número total de casos. Las razones de este agravamiento del impacto del dengue sobre la salud pública argentina son variadas y numerosas. Entre ellas, la urbanización deficiente y desorganizada, la adaptabilidad del vector a ambientes urbanos, el aumento de la pobreza, la disminución de recursos humanos, materiales y financieros asignados al área de salud, la intensificación del desplazamiento humano a grandes distancias por motivos recreacionales o comerciales, y la falta de indicadores precisos para estratificar el riesgo epidemiológico y entomológico. A esto se suma que muchas medidas se aplican de forma aislada y reactiva ante el aumento de casos, lo que limita su efectividad sostenida en el tiempo. Lo cierto es que, ante la

imposibilidad de detener la ocurrencia de brotes de creciente intensidad, aun atendiendo a las directrices, más de una agencia de salud local buscó soluciones no tradicionales de maneras más o menos imaginativas sin ningún respaldo técnico. Entre ellas, el uso "preventivo" de fumigaciones con piretroides (como las recomendadas para un bloqueo ante la ocurrencia de casos), y el rociado aéreo con piretroides o reguladores de crecimiento (IGR) sobre áreas urbanas.

Más allá de las razones que ocasionan el aumento del número de afectados en cada brote y de la ineficacia de las acciones para impedir la ocurrencia de nuevos brotes de dengue, hay una cuestión subyacente que no emergió con suficiente fortaleza en la agenda pública: no existe evaluación de impacto de las intervenciones que se realizan en cada uno de los componentes mencionados en las directrices. Para el componente de vigilancia, las evidencias indican que los relevamientos larvales para calcular índices aélicos y/o el uso de sensores de oviposición no son útiles como indicadores de riesgo epidemiológico¹³; a pesar de ello, los índices se continúan usando aun cuando la estratificación de riesgo basado en promedios históricos del número de casos es un indicador mucho más confiable¹⁴. Para regiones donde el dengue no es endémico, existe abundante evidencia publicada que muestra la importancia de asignar recursos a la vigilancia de casos importados, causa inicial de todos los brotes ocurridos en la Argentina hasta el momento¹⁵.

Para el componente de acciones preventivas, tanto las actividades que alientan a la eliminación de objetos desechables que pueden constituir criaderos de *Ae. aegypti*, como el uso de larvicidas no tienen un impacto medido sobre las poblaciones de este mosquito. Es decir, no sabemos si un 50% de reducción de potenciales criaderos reduce un 50% la población de *Ae. aegypti* (o reduce un 50% los casos de dengue), o cuál es la mínima fracción de criaderos que debe ser eliminado o tratado con larvicidas para conseguir una reducción significativa en la abundancia del vector y/o en la incidencia de la enfermedad.

Para el componente de acciones de emergencia, tanto para actividades de bloqueo como de rociado espacial, no conocemos el impacto que tales intervenciones producen sobre la pobla-

ción del vector en nuestros territorios. Las evidencias muestran que el rociado espacial tiene una eficacia no mayor que el 20% y que las poblaciones se recuperan rápidamente luego de la aplicación del adulticida^{16,17}.

Tanto para acciones preventivas como de emergencia, hasta el presente no se estudió de manera sistemática la existencia de poblaciones de *Ae. aegypti* resistentes a los larvicidas y/o adulticidas regularmente usados por los programas de control, aunque en el mundo hay abundante evidencia publicada de la existencia generalizada de tales poblaciones. En Argentina estudios en algunas localidades de Buenos Aires, Formosa, Misiones y Salta confirman la ocurrencia de resistencia a piretroides⁹⁻¹².

Las alternativas de control

Aunque durante 15 años los datos sobre brotes de dengue en Argentina se acumulan mostrando que la estrategia de gestión integrada para control del dengue fracasó recurrentemente, no se alienta la exploración de enfoques alternativos de control. Aun cuando en los últimos años aparecieron en el mercado vacunas contra el dengue que previenen especialmente los casos graves y las hospitalizaciones, diferentes razones impiden que la vacuna esté disponible para toda la población en riesgo de Argentina. Por ello, las vacunas son, por el momento, instrumentos insuficientes para prevenir brotes de la enfermedad en nuestro territorio a la escala necesaria para proteger la salud pública. A esto hay que sumar que *Ae. aegypti* no solo transmite el virus del dengue, sino también Zika y Chikungunya, arbovirosis para las cuales no hay actualmente vacunas en uso. El escenario epidemiológico continúa mostrando que el control de la abundancia de las poblaciones del mosquito vector es la vía más eficaz para prevenir brotes de dengue.

En la siguiente sección analizamos métodos y técnicas que mostraron efectos positivos para el control de *Ae. aegypti* en otras regiones del mundo, pero que no han sido evaluados en Argentina.

Autodiseminación

Es una técnica que utiliza individuos de una especie para dispersar un agente de control (quí-

mico o microbiano) en una población. De esta manera, un insecto contaminado con un insecticida puede transferirlo a otro insecto tanto de forma horizontal (entre individuos de una misma generación, eg. mediante la cópula) como de forma vertical (entre individuos de diferentes generaciones, eg. durante la oviposición)¹⁸. El control de *Ae. aegypti* con autodiseminación fue estudiado usando reguladores de crecimiento de insectos y organismos entomopatógenos.

El regulador de crecimiento de insectos piriproxifen (ppf) es eficaz a muy bajas dosis para inhibir el desarrollo de los estados larvales de mosquitos. Se ha demostrado que el ppf formulado en polvo puede ser diseminado mediante el uso de estaciones de diseminación^{19,20}. Tales estaciones atraen a hembras grávidas en busca de sitios para depositar huevos. Una faja de tela que funciona como sitio de aterrizaje para las hembras contiene la formulación en polvo del ppf. Granos de la formulación se adhieren a los pelos de las patas de la hembra, la cual transporta el ppf y, eventualmente, lo deposita en el próximo sitio de oviposición. En el nuevo criadero, los granos liberan el ppf en cantidad suficiente para interferir con la muda de las larvas, que no llegan a transformarse en *Ae. aegypti* adultos, o si lo hacen, dichos adultos son defectuosos morfológicamente. La autodiseminación de ppf a través de hembras grávidas de *Ae. aegypti* es posible debido al comportamiento de oviposición saltada (*skip-oviposition*) de esta especie, que deposita los huevos de cada ciclo reproductivo en múltiples sitios. Estudios realizados en Brasil desde 2015 evaluaron la eficacia de la técnica para reducir el número de casos de dengue en ese país. Habitualmente la eficacia de los métodos de control se basa solo en mediciones sobre la abundancia del mosquito. Este es uno de los pocos estudios que evaluó el impacto sobre el número de casos de dengue. Un artículo reciente muestra que la técnica de autodiseminación de ppf redujo el 28% de casos de dengue en el estado de Minas Gerais²¹.

La gran ventaja de los métodos que usan la técnica de autodiseminación es que se espera tengan una cobertura mucho mayor que la que consigue el personal de salud para descubrir criaderos del mosquito. En este caso, es la propia hembra del mosquito la que descubre y

contamina el criadero. En principio, esta técnica es dependiente de la abundancia de hembras volando en el lugar. Si las hembras son escasas, habrá poco transporte de partículas desde las estaciones de diseminación hacia los potenciales criaderos.

Otro tipo de estación de autodiseminación fue diseñada por Snetselaar et al.²⁰, en la cual al ppf se le adiciona un hongo entomopatógeno, *Beauveria bassiana*, combinando un larvicida y un adulticida. Una evaluación de esta técnica hecha en Manatee County (Florida, EE. UU.) mostró una reducción del 57% de *Ae. aegypti* adultos²². Otro estudio realizado en el Valle Occidental del sur de California evaluó el uso de la combinación ppf + *Beauveria bassiana* y la técnica del macho estéril (ver más adelante) mostrando una reducción del 65% en la densidad de mosquitos adultos²³. Como en la aplicación de todas las técnicas de control de *Ae. aegypti*, la eliminación de potenciales criaderos es una actividad que se debe mantener^{24,25}.

En Argentina, el ppf se ofrece comercialmente como larvicida para el tratamiento manual de grandes recipientes y/o superficies de agua. También fue incluido en una formulación fumígena, acompañada por un piretroide, con acción sobre larvas y adultos de *Ae. aegypti*²⁶.

Wolbachia

Un nuevo enfoque promovido por el *World Mosquito Program* es la liberación de *Ae. aegypti* infectados artificialmente con la cepa *wMel* de *Wolbachia pipiensis* (en adelante Wolbitos, mosquitos con *Wolbachia*), una bacteria intracelular heredada por vía materna naturalmente presente en muchos insectos, pero no en *Ae. aegypti*^{27,28}. Estudios de laboratorio mostraron que los Wolbitos muestran competencia reducida para transmitir el virus dengue y que la bacteria se transmite a la descendencia²⁹. La dispersión de *Wolbachia* en las poblaciones de mosquitos, no altera el material genético del insecto, y constituye un método natural de control, con un posible efecto sobre la salud pública sostenible y de bajo costo³⁰. Aun cuando los resultados iniciales en Australia fueron alentadores, datos de campo de mediano plazo generan preocupaciones sobre la consistencia y durabilidad de las intervenciones basadas en *Wolbachia*. Un análisis de evidencias de publica-

ciones recientes y datos de terreno en diferentes países muestran dificultades operacionales y biológicas en la aplicación de este método y la necesidad de introducir mecanismos independientes para evaluar la efectividad, seguridad y sostenibilidad de esta estrategia^{31,32}.

La introducción de la cepa *wMel* de *Wolbachia* añade variabilidad a la ya compleja relación entre *Ae. aegypti* y humanos³³. Aunque estudios de laboratorio sugieren un potencial fuerte para suprimir la transmisión de arbovirus, los datos de campo han sido inconsistentes³⁴⁻³⁶. En Colombia, se reportó una reducción del 95-97% en la incidencia de dengue tras la intervención³⁷, pero un análisis mostró que en ciudades no tratadas la incidencia fue igual o menor que en las tratadas. Además, la *Wolbachia* no se estableció de forma sostenida en muchos lugares donde fue liberada. En 2024, durante el mayor brote epidémico de América Latina, las ciudades tratadas con *Wolbachia* experimentaron un aumento similar en la incidencia de dengue en comparación con las no tratadas³¹. Después de 10 años de instalado, y de que el Ministerio de Salud de Colombia no adoptara el método, el *World Mosquito Program* terminó sus operaciones en ese país.

En Brasil, el programa comenzó en 2015 en Niteroi, informando una reducción del 90% en casos de dengue para 2023. Sin embargo, un examen de datos reveló que las ciudades no tratadas mostraron incidencias iguales o menores³¹, y en 2024 Niteroi tuvo el mayor brote en una década. En Río de Janeiro, se liberaron 70 millones de Wolbitos, pero la prevalencia de *Wolbachia* no superó el 60%, y durante el brote de 2024, la incidencia en áreas tratadas no fue diferente a la de las no tratadas.

Para el ensayo de Yogyakarta (Indonesia) se reportó una reducción del 77% en la incidencia de dengue³⁸, pero el ensayo presenta cuestionamientos metodológicos que limitan su generalización, tales como que no incluyó grupos de control ni placebo, el reclutamiento de participantes no fue balanceado, y se realizaron cambios en el protocolo en la mitad del estudio debido a un número de casos de dengue inesperadamente bajo. En Vietnam, aunque la prevalencia de *Wolbachia* fue inicialmente cercana al 100%, colapsó en áreas tras altas temperaturas³⁹, destacando su vulnerabilidad en climas

cálidos. Además, hay preocupaciones sobre la bioseguridad, ya que el bloqueo de transmisión de virus en mosquitos infectados con *Wolbachia* es parcial, lo que podría permitir la selección de variantes del virus dengue más patogénicas^{40,41}.

Técnica del insecto estéril

La Técnica del Insecto Estéril (TIE) para el control de *Ae. aegypti*, consiste en la liberación de mosquitos macho adultos esterilizados, con el objetivo de que compitan con los machos fértiles por el apareamiento con las hembras salvajes. Esta estrategia se sustenta en la baja receptividad de las hembras del mosquito a nuevas cópulas luego del apareamiento⁴². La cruce de machos estériles con las hembras de campo da lugar a huevos inviables. Esta técnica ha sido exitosa para controlar otras especies plaga, particularmente moscas de los frutos y dípteros que producen miasis en ganado vacuno. En Argentina, el control de moscas de los frutos en Mendoza y San Juan tiene una larga historia de éxito aplicando esta técnica basada en el uso de Cobalto 60⁴³.

Recientemente, hay un resurgimiento del interés en la TIE para controlar poblaciones de *Ae. aegypti*⁴⁴. En varios países se han hecho pruebas a campo, en el marco del manejo integrado del vector, con diferentes niveles de éxito. En general, la liberación de machos estériles se combina con otras estrategias rutinarias, como la eliminación de criaderos y la aplicación previa a la liberación, de larvicidas y adulticidas^{45,46}. Las liberaciones, de entre 800 y 3500 mosquitos por hectárea, se realizan durante varias semanas antes de lograr impactos visibles en la población del mosquito^{45,47,48}. La relación entre mosquitos estériles y silvestres depende de las características de la zona a tratar, pero se ha estimado idealmente en 10:1⁴⁹.

En Cuba, un ensayo piloto realizado en dos áreas de la ciudad de La Habana (control y tratamiento), cada una de aproximadamente 50 ha, demostró la reducción de la población de *Ae. aegypti* tras 17 semanas de liberación repetida de machos adultos estériles⁴⁵. La reducción se evidenció mediante una disminución en el índice de ovitrampas, en el número medio de huevos por trampa (que cayó a cero a partir de la semana 17 en el área tratada) y un aumento en la

esterilidad de los huevos. Dado el éxito de este ensayo, en 2024 la zona de tratamiento se amplió a todo el municipio de La Habana, abarcando 14 grupos de 20 a 23 ha, en las que se evaluaría el impacto de la incidencia de dengue⁴⁶. En la isla Captiva, Florida (EE.UU.), entre 2020 y 2022 se logró una reducción de hasta el 79% de la población de mosquitos adultos silvestres, y reducciones de un 59% en la densidad de huevos, en las áreas tratadas. Para ello, se liberaron en total más de 24.1 millones de mosquitos estériles en un área de 142 ha⁴⁸. El flujo de mosquitos desde áreas no tratadas fue identificado como el principal desafío para completar la reducción de la población.

Modelos matemáticos espacialmente explícitos sobre la dinámica de poblaciones de *Ae. aegypti* "inundadas" por mosquitos macho estériles muestran que la dispersión de los insectos impulsa una recolonización rápida de áreas donde la especie ha sido erradicada. La efectividad mejora si se aumenta el número de sitios de liberación y la frecuencia de las liberaciones, más que el número de mosquitos liberados⁵⁰. Otros ensayos combinan la técnica TIE con la del insecto incompatible por *Wolbachia*. Esta combinación de técnicas ha mostrado resultados alentadores en México⁴⁷ y Tailandia⁵¹.

Entre las ventajas de la técnica TIE, se menciona que los mosquitos se esterilizan en estado de pupa, dentro de recipientes cerrados, lo que favorece la bioseguridad y reduce la manipulación de los insectos. Al ser específica a nivel de especie, resulta en la reducción poblacional del mosquito de interés y no de otros insectos no blanco⁵². Dado que las mutaciones que ocurren como resultado de la exposición a radiación son aleatorias, se limita el potencial de desarrollo de resistencia en la población. Como principal desventaja, requiere la producción en masa de mosquitos estériles con estrictas medidas de bioseguridad y control de calidad para garantizar la competitividad de los machos respecto a los silvestres. Otras desventajas incluyen separación de sexos parcialmente eficaz (lo cual puede conducir a la liberación de hembras), logística compleja para el transporte y liberación de los insectos⁵³.

Además de la esterilización por exposición a radiación gamma, existen otras alternativas con

principios similares, en las que la esterilidad se induce por otros mecanismos, como por ejemplo la liberación de insectos que llevan un gen dominante letal, con radiación por rayos X, la esterilización química⁵⁴ y otras que aún se encuentran en etapa de laboratorio. En Brasil se han realizado ensayos a campo en los que se liberaron 59 millones de mosquitos esterilizados con ARN de cadena doble y thiotepa (quimioterápico del grupo de agentes alquilantes) entre noviembre de 2020 y julio de 2022, en 200 sitios en la ciudad de Ortiguera, Paraná⁵⁴. Esta intervención a gran escala resultó en una disminución de más del 98% luego de 30 semanas de liberaciones en comparación con la semana 4 de liberación y el control no tratado. En West Valley, al sur de California, se comparó el número de mosquitos capturados con trampas BG-2 sentinel® (Biogents AG, Alemania) y el número de reclamos de atención a la agencia de control, antes y después del tratamiento con TIE o con TIE más estaciones de mosquitos In2Care®, que combinan la autodiseminación de ppf con *B. bassiana*. Este primer ensayo mostró resultados prometedores, con capturas 44% menores en los sitios tratados sólo con TIE respecto al año previo. Una limitante de este trabajo es que no incluyó controles simultáneos no tratados, por lo que no se pueden descartar efectos de variaciones interanuales en la abundancia de los mosquitos²³.

Rociado residual intradomiciliario

El rociado residual intradomiciliario (RRI) es una opción recomendada por la Organización Panamericana de la Salud que consiste en cubrir con insecticida de contacto y acción residual los sitios en los que *Ae. aegypti* prefiere reposar. El RRI para control de *Ae. aegypti* (RRI-Aa) es una variante del método ya usado clásicamente para el control de los vectores de la malaria y de la enfermedad de Chagas (RRI-“Tradicional”). El RRI-Aa, tiene un costo menor e implica un menor esfuerzo de aplicación, ya que el insecticida se coloca en las paredes del interior de las viviendas hasta una altura de un metro y medio (altura hasta la cual *Ae. aegypti* suele posarse). La RRI-Aa se recomienda como método preventivo debido a que el piretroide tiene una residualidad de 3-6 meses en el intradomicilio².

En Cairns (Australia), el RRI-Aa dio lugar a una disminución del 86%-96% en la transmisión del dengue⁶. Sin embargo, la creciente aparición de resistencia a piretroides en poblaciones *Ae. aegypti* en Argentina puede ser un serio obstáculo para la implementación de este método en nuestro país⁹⁻¹². Si bien mediante RRI-Aa se controlaron poblaciones de *Ae. aegypti* resistentes a piretroides en el estado de Yucatán (México)⁵⁵ se usó para ello Bendiocarb, un carbamato no aprobado para uso en salud pública en Argentina. La RRI apunta a que la residualidad del insecticida se encuentre activa antes del aumento en el número de casos, lo que mejora la eficacia de la intervención².

Transgénesis

Entre los métodos de control de *Ae. aegypti*, los transgénicos son los más recientes. La primera técnica desarrollada para la producción de mosquitos genéticamente modificados fue la RIDL (*Release of Insects carrying a Dominant Lethal*) de la empresa Oxitec, y más recientemente la de GD (*gene-drive*), que aprovecha las ventajas de las nuevas herramientas de la biología sintética (CRISPR) para editar con precisión los ácidos nucleicos. Estas metodologías permiten producir mosquitos machos genéticamente modificados (MGM), que se pueden liberar para que copulen con hembras silvestres y así modificar la población o reducir la transmisión de enfermedades. Ambas estrategias implican la liberación de mosquitos transgénicos, y su éxito depende de la capacidad de estos mosquitos para aparearse y reproducirse eficazmente⁵⁶.

Ensayos de campo, como los realizados en las islas Caimán (2010)⁵⁷ y Juazeiro, Brasil (2012)⁵⁸, mostraron reducciones de 80 a 95% de la población de mosquitos. Sin embargo, existe preocupación sobre diferentes impactos de la introducción de organismos genéticamente modificados. Por ejemplo, la transferencia de genes de los mosquitos modificados a las poblaciones silvestres es posible, y los efectos ecológicos o epidemiológicos a mediano o largo plazo son inciertos⁵⁹. En general, las empresas que ofrecen esta tecnología enfrentan dificultades debido a las barreras impuestas por organismos reguladores de los países involucrados. En el año 2021, la Organización Mundial de la Salud produjo una guía de procedimientos para evaluar mosquitos

genéticamente modificados. En ella se resalta la obligatoriedad de obtener la licencia social antes de iniciar cualquier ensayo⁶⁰.

Trampeo masivo

Las trampas para mosquitos adultos se usan desde hace muchos años para monitorear la abundancia de la población de adultos. Solo en los últimos años comenzaron a aparecer estudios que evalúan estas trampas como instrumentos para disminuir la abundancia de algunas especies de mosquito.

Para atraer a los mosquitos adultos, las trampas se diseñan aprovechando sus comportamientos de búsqueda de recursos vitales, como sitios de oviposición, alimento o refugio. Luego de completar su etapa de desarrollo acuático, el mosquito adulto hembra copula y comienza la búsqueda de una fuente de sangre (un hospedador). Para localizarlo, utiliza una combinación de señales específicas: señales visuales, dióxido de carbono exhalado (CO₂) producto de la respiración de vertebrados⁶¹, temperatura corporal, humedad y compuestos volátiles (olores) que emanan de la piel^{62,63}. Una vez ingerida la sangre, la hembra puede producir huevos que oviposita en sitios adecuados que permitan el desarrollo de las larvas. Para encontrar estos sitios, también se guían por señales visuales y olfativas⁶⁴.

Existen 2 tipos de trampas que capturan mosquitos adultos hembra, según el estímulo usado para atraerlas. En las trampas que atraen hembras en búsqueda de hospedadores, las señales químicas volátiles (olores) son consideradas el estímulo más importante⁶⁵. Entre estas señales se destacan, además del CO₂, compuestos emitidos por la piel de los hospedadores, como ácidos carboxílicos, amoníaco y ciertos alcoholes^{66,67}. Mezclas apropiadas de estos compuestos superan ampliamente la atracción de sus constituyentes individuales, observándose con frecuencia fenómenos sinérgicos en la atracción⁶⁸. Estas mezclas han sido explotadas como cebos atrayentes para trampas que emiten una o más de las señales mencionadas.

Entre las trampas diseñadas para atraer hembras en búsqueda de sangre, las mejor estudiadas son las construidas por la empresa BioGents AG que, desde hace algunos años, se posicionaron como las trampas de referencia para el mo-

nitoreo de poblaciones de *Ae. aegypti*⁶⁹. Los mosquitos atraídos por los volátiles que emanan de la trampa, son succionados por una corriente de aire y quedan atrapados en una bolsa. Estas trampas, que requieren de electricidad, se utilizan principalmente como herramienta de monitoreo, aunque comienzan a emplearse para el trampeo masivo⁷⁰. También son populares las trampas comerciales conocidas como *Mosquito Magnet* (e.g. Rubio-Palis et al.⁷¹, que usan gas propano catalíticamente convertido para producir CO₂, además de calor y humedad). Para aumentar la captura, se ha recomendado suplementar este cebo con una fuente de un olor humano como, el 1-octen-3-ol. Ambas trampas matan a los mosquitos por desecación, lo cual presenta la ventaja de no utilizar insecticidas.

Por otro lado, las hembras grávidas, buscan sitios de oviposición que garanticen el desarrollo de su descendencia. Los recipientes que acumulan agua y materia orgánica en suspensión y descomposición suelen emitir olores que atraen a las hembras grávidas. El olor que emana del recipiente le indica a la hembra que ese es un buen lugar para ovipositar, ya que las larvas que nazcan allí encontrarán el alimento necesario para su desarrollo (microorganismos que se alimentan de la materia orgánica suspendida en el agua). Bajo este principio, se han desarrollado los dispositivos fabricados por la empresa BioGents AG (GAT, *Gravid Aedes Trap*), o la patentada por el Centro de Control y Prevención de Enfermedades de EE.UU. (AGO, *Autocidal Gravid Ovitrap*)⁷², para atraer y matar a las hembras grávidas de *Aedes* sp. Estas trampas son pasivas, no requieren de electricidad, y consisten en una combinación de recipientes, en uno de los cuales se coloca la infusión atrayente, mientras que los otros impiden que la hembra que ingrese a la trampa pueda escapar. Desde hace algunos años, se están incorporando como herramientas de control para disminuir la abundancia del vector. Existen modelos con pequeñas variaciones, que eliminan a los mosquitos atrapándolos en superficies adhesivas, por contacto con insecticidas o deshidratados al no encontrar una vía de escape.

En un estudio reciente, la trampa para hembras grávidas tratada con dosis letales de insecticidas fue evaluada como una nueva herramien-

ta de control de *Ae. albopictus* en áreas urbanas de una ciudad del sur de Alemania, con una distribución espacial del mosquito restringida, pero con índices elevados de infestación⁷³. Las trampas utilizadas en alta densidad, colocadas a una distancia de hasta 25 m entre sí y cubriendo toda el área infestada, resultó ser una herramienta efectiva para reducir significativamente la abundancia del mosquito cuando se la utilizó junto al saneamiento ambiental, tratamiento de sitios de cría con larvicidas, y participación comunitaria⁷³. En otro estudio realizado en *University Park* (estado de Maryland, EE.UU.), también centrado en *Ae. albopictus*, se implementó exitosamente el trapeo masivo utilizando trampas para hembras grávidas con aceite de colza como agente adulticida distribuido en la superficie interna de la trampa y agua tratada con Bti como infusión, para prevenir la emergencia de adultos a partir de huevos colocados en la trampa que pudieran eclosionar⁷⁴. Durante el comienzo del verano, se distribuyeron dos trampas por cada vivienda, cuyos moradores participaron voluntariamente del estudio, en una cobertura del 46% de los peridomicilios de la ciudad (439 de 954). Bajo estas condiciones, se observó que los niveles de reducción de la abundancia de hembras *Ae. albopictus* depende de la densidad de trampas, y que se requiere una cobertura del 80% de los peridomicilios con trampas por cada cuadra para un control persistente y significativo de la abundancia de esa especie.

Aunque varios tipos de trampas están siendo utilizadas en terreno para controlar la abundancia de *Ae. aegypti*, las evaluaciones de impacto con diseños estadísticamente válidos siguen siendo escasas. Una dificultad adicional es que la mayoría de los estudios miden el impacto de las trampas únicamente mediante indicadores entomológicos (por ejemplo, número de huevos o de adultos), sin poder establecer con claridad cuál es el efecto sobre el número de casos de dengue en el área intervenida. Esta limitación también es común en otras estrategias de control.

Recientemente, una publicación mostró por primera vez que, mediante una densidad alta de trampas que atraen, por un lado, hembras que buscan sangre y por otro, hembras que buscan sitios de oviposición, fue posible eliminar las po-

blaciones de *Ae. aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en Filipinas⁷⁰ y en una de las Islas Maldivas⁷⁵. En Puerto Rico, el uso sostenido de trampas para hembras grávidas pudo reducir la abundancia de mosquitos adultos y la proporción de ejemplares infectados con arbovirus^{76,77}. Este efecto combinado se explicaría por una disminución en el número de mosquitos y una reducción de su longevidad. Si bien no hay una respuesta clara respecto a cuál es el umbral de densidad vectorial por debajo del cual se interrumpe efectivamente la transmisión (posiblemente este valor varía geográficamente), para Puerto Rico se estimó que la captura por trampa AGO debería estar por debajo de 4 hembras por semana⁷⁷. Este tipo de estrategia presenta ventajas significativas, ya que, por un lado, permite desarrollos locales de trampas de bajo costo, evita el uso de insecticidas contaminantes y no implica la liberación de variantes genéticas del mosquito, cuyo impacto ambiental es aún incierto. Por todo ello, el trapeo masivo constituye una alternativa sustentable y eficaz para el control del vector.

La Tabla 1 contiene una lista de métodos de control de *Ae. aegypti* con sus ventajas y desventajas más destacables y los lugares en que fueron implementados. Cabe destacar que la eficacia de los métodos mencionados para el control de la abundancia del mosquito vector nunca fue formalmente evaluada en Argentina.

Reflexiones finales

A más de 15 años del primer brote importante de dengue en Argentina, la persistencia de nuevos brotes, cada vez más intensos, evidencia que las acciones implementadas para su prevención y control no han logrado impedir la ocurrencia de los brotes. Si bien se han aplicado estrategias tradicionales recomendadas por organismos internacionales como la OPS, estas no fueron evaluadas de manera sistemática ni sostenida, lo que no permite extraer conclusiones válidas sobre su aparentemente limitada efectividad. Tampoco se han evaluado con rigurosidad estrategias alternativas que han mostrado resultados positivos en otros países. Brasil, México, Cuba y Colombia, por ejemplo, sostienen desde hace más de una década programas de evaluación de métodos como el rociado residual intradomiciliario (México), la técnica del insecto estéril

Table 1 | Síntesis sobre métodos de control de *Aedes aegypti*. Ninguno fue formalmente evaluado en Argentina

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas	Lugares de implementación
Enfoque tradicional	Monitoreo entomológico (LIRA, sensores de oviposición= ovitrampas). Eliminación de criaderos/uso de larvicidas. Bloqueo focal/ control químico de adultos (en brotes epidémicos).	Recomendado por la OPS. Bajo costo de implementación.	No es un buen estimador de la población de mosquitos o riesgo de transmisión. Requiere participación comunitaria continua. No elimina criaderos crípticos. Resistencia a piretroides. Baja cobertura de larvicidas.	Argentina ^{3,4}
Autodiseminación	Dispersión de un agente de control (ej. Reguladores de crecimiento y/o biocontroladores), utilizando adultos contaminados.	Alcanza criaderos/ individuos no accesibles al personal de salud.	Su efectividad depende de la densidad de mosquitos/ estaciones de diseminación implementadas.	Brasil (Minas Gerais ²¹), EE.UU. (Florida ^{22,25} , Hawai'i Island ²⁴).
Wolbachia	Liberación de wolbitos en las poblaciones nativas de <i>Ae. aegypti</i> .	<i>W. pipientis</i> disminuye la capacidad del mosquito de transmitir arbovirus y se transmite a la descendencia.	Los datos de campo aún son inconsistentes a largo plazo. La bioseguridad aún está discutida. Baja prevalencia de wolbitos en el tiempo y dependiente de las condiciones ambientales.	Colombia (Bello, Medellín, Itagüí) ³⁷ , Brasil (Niteroi ³⁵ , Rio de Janeiro ³²), Indonesia (Yogyakarta ³⁸), Australia ³⁴ , Vietnam ^{34,39} .
Técnica del insecto estéril	Liberación de adultos machos esterilizados, que compiten con los machos fértiles por el apareamiento con las hembras salvajes y dan lugar a huevos inviables.	Especificidad (no afecta organismos no blancos). Disminuye la posibilidad de desarrollo de resistencia en la población (mutaciones al azar).	Se requiere liberar una elevada cantidad de mosquitos esterilizados. Dependiente del número de sitios de liberación y la frecuencia de las liberaciones. Altos costos por la producción en masa de mosquitos en condiciones de bioseguridad.	Cuba (La Habana ^{45,46}), México (Yucatan ⁴⁷), EE.UU. (Isla Captiva ^{48,49}), Tailandia ⁵¹ , Brasil (Ortiguera, PR54).

(continúa)

(continuación)

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas	Lugares de implementación
Rociado residual intradomiciliario	Cubrir con insecticida de contacto y acción residual los sitios en los que <i>Ae. aegypti</i> prefiere reposar.	Recomendado ^a por la OPS. Fácil implementación y de bajo costo relativo. Alta residualidad (3-6 meses)	Resistencia a piretroides	Australia (Cairns ⁶), México (Yucatán ⁵⁵).
Transgénesis	Liberación de mosquitos machos genéticamente modificados para que copulen con hembras silvestres, cuya descendencia resulta inviable.	Especificidad	Los datos de campo aún son inconsistentes a largo plazo. Bioseguridad aun discutida. Requiere de licencias y permisos regulatorios estrictos para su implementación.	Islas Caimán ⁵⁷ , Brasil (Juazeiro ⁵⁸).
Trampeo masivo	Utilización de trampas de captura de mosquitos adultos con alta densidad territorial.	Se capturan hembras adultas en distintos estados fisiológicos. No utiliza insecticidas ni se liberan insectos nuevos.	Costo de implementación	Alemania (Freiburg ⁷³), EE.UU. (Maryland ⁷⁴), Filipinas (Isla Puerco ⁷⁰), Islas Maldivas ⁷⁵ , Puerto Rico ^{76,77} .

^a*Ae. aegypti* infectados artificialmente con la cepa *wMel* de *Wolbachia pipiensis*

(México, Cuba), el método *Wolbachia* (Colombia, Brasil), la autodiseminación de larvicidas (Brasil) o la captura masiva (Puerto Rico, EE.UU.). En este contexto, resulta fundamental que las agencias de salud de los distintos niveles estandaricen la recolección digital de datos sobre las intervenciones preventivas y de control, con el fin de evaluar su eficacia, y, en caso necesario, reemplazarlas por alternativas más costo-eficientes para el sistema de salud⁷⁸. Estas evaluaciones deberían incluir, además, el análisis de la incidencia de la enfermedad como indicador epidemiológico clave⁷⁹.

Entre las estrategias innovadoras, los enfoques que combinan bajo costo-efectividad con seguridad sanitaria para las personas y el ambiente se destacan como las más prometedoras. En este sentido, consideramos que técnicas como el trampeo masivo, el insecto estéril y la

técnica de autodiseminación son las más promisorias. Todas ellas tienen en común constituir herramientas preventivas, que (si se demostraran eficaces) tendrían capacidad de impedir la ocurrencia de brotes graves de dengue. Es posible que ninguna de las técnicas individualmente tenga la capacidad de prevenir un brote; su combinación, sumada a la tarea comunitaria para la eliminación de los potenciales criaderos domésticos tendría la capacidad para prevenir brotes. Para que ello pueda concretarse es necesario integrar los saberes y capacidades de agencias de investigación, agencias de salud y la comunidad. Entre las técnicas mencionadas, el trampeo masivo aparece como la técnica más atractiva dada su potencial eficacia e inocuidad para la salud de personas y ambiente.

Conflicto de intereses: Ninguno para declarar

Bibliografía

1. Organización Panamericana de la Salud. Estrategia de Gestión Integrada para la prevención y control del dengue en la Región de las Américas. Washington, DC: OPS; 2017. En: https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34859/OPSCHA17039_spa.pdf?sequence=8&isAllowed=y; consultado septiembre 2025.
2. Organización Panamericana de la Salud. Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*. Washington, DC: OPS; 2019. En: <https://www.paho.org/es/documentos/documento-tecnico-para-implementacion-intervenciones-basado-escenarios-operativos>; consultado septiembre 2025.
3. Ministerio de Salud República Argentina. Lineamientos generales para las acciones en terreno de prevención y control de las Enfermedades Transmitidas por Mosquitos (ETM). En: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/09/2025-02-lineamientos_generales_para_las_acciones_prevenccion_y_control_de_las_etm.pdf; consultado agosto 2025.
4. Ministerio de Salud República Argentina. Directrices para la prevención y control de *Aedes aegypti*. En: <https://www.osplad.org.ar/SSS/pdf/Directrices-Prevenccion-Control-Aedes-aegypti.pdf>; consultado septiembre 2025.
5. Ten Bosch QA, Clapham HE, Lambrechts L, et al. Contributions from the silent majority dominate dengue virus transmission. *PLoS Pathog* 2018; 14 Suppl 5: e1006965.
6. Vazquez-Prokopec GM, Kitron U, Montgomery B, et al. Quantifying the spatial dimension of dengue virus epidemic spread within a tropical urban environment. *PLoS Negl Trop Dis* 2010; 4 Suppl 12: e920.
7. Stoddard ST, Forshey BM, Morrison AC, et al. House-to-house human movement drives dengue virus transmission. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2013; 110: 994-9.
8. Gil JF, Palacios M, Krolewiecki AJ, et al. Spatial spread of dengue in a non-endemic tropical city in northern Argentina. *Acta Trop* 2016; 158: 24-31.
9. Gonzalez PV, Loureiro AC, Gómez-Bravo A, et al. First detection of V410L kdr mutation in *Aedes aegypti* populations of Argentina supported by toxicological evidence. *Parasit Vectors* 2024; 17: 331.
10. Harburguer L, Gonzalez PV, Zerba E. First report of adult *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) resistance to pyrethroids in Argentina. *J Med Entomol* 2022; 59: 372-5.
11. Barrera-Illanes AN, Micieli MV, Ibáñez-Shimabukuro M, et al. First report on knockdown resistance mutations in wild populations of *Aedes aegypti* from Argentina determined by a novel multiplex high-resolution melting polymerase chain reaction method. *Parasit Vectors* 2023; 16: 222.
12. Fay JV, Espinola SL, Boaglio MV, et al. Pyrethroid genetic resistance in the dengue vector (*Aedes aegypti*) in Posadas, Argentina. *Front Public Health* 2023; 11: 1166007.
13. Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ. Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: A systematic review of the evidence. *PLoS Negl Trop Dis* 2014; 8 Suppl 5: e2848.
14. Dzul-Manzanilla F, Correa-Morales F, Che-Mendoza A, et al. Identifying urban hotspots of dengue, chikungunya, and Zika transmission in Mexico to support risk stratification efforts: A spatial analysis. *Lancet Planet Health* 2021; 5: e277-85.
15. Trewin BJ, Montgomery BL, Hurst TP, Gilmore JS, Endersby-Harshman NM, Crisp GJ. Extensive public health initiatives drive the elimination of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) from a town in regional Queensland: A case study from Gin Gin, Australia. *PLoS Negl Trop Dis* 2022; 16 Suppl 4: e0010243.
16. Koenraadt CJM, Aldstadt J, Kijchalao U, et al. Spatial and temporal patterns in the recovery of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) populations after insecticide treatment. *J Med Entomol* 2007; 44: 65-71.
17. Wilke ABB, Vasquez C, Carvajal A, et al. Effectiveness of adulticide and larvicide in controlling high densities of *Aedes aegypti* in urban environments. *PLoS One* 2021; 16 Suppl 1: e0246046.
18. Hustedt JC, Boyce R, Bradley J, et al. Use of pyriproxyfen in control of *Aedes* mosquitoes: A systematic review. *PLoS Negl Trop Dis* 2020; 14 Suppl 6: e0008205.
19. Abad-Franch F, Zamora-Perea E, Luz SLB. Mosquito-disseminated insecticide for citywide vector control and its potential to block arbovirus epidemics: Entomological observations and modeling results from Amazonian Brazil. *PLoS Med* 2017; 14 Suppl 1: e1002213.
20. Snetselaar J, Andriessen R, Suer RA, et al. Development and evaluation of a novel contamination device that targets multiple life-stages of *Aedes aegypti*. *Parasit Vectors* 2014; 7: 200.
21. Abad-Franch F, Carvajal-Cortés JJ, Lemos Rabelo AC, et al. Mosquito-disseminated pyriproxyfen for mosquito-borne disease control in Belo Horizonte,

- Brazil: A pragmatic, before–after control–intervention paired-series trial. *Lancet Infect Dis* 2025; 25 Suppl 2: 176–87.
22. Buckner EA, Williams KF, Ramirez S, et al. A field efficacy evaluation of In2Care mosquito traps in comparison with routine integrated vector management at reducing *Aedes aegypti*. *J Am Mosq Control Assoc* 2021; 37: 242–9.
 23. Birhanie SK, Hans J, Castellon JT, et al. Reduction in *Aedes aegypti* population after a year-long application of targeted sterile insect releases in the West Valley Region of Southern California. *Insects* 2025; 16 Suppl 1: 81.
 24. Brisco KK, Jacobsen CM, Seok S, et al. Field evaluation of In2Care mosquito traps to control *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Hawai' Island. *J Med Entomol* 2023; 60: 364–72.
 25. McNamara TD, Vargas N, McDuffie D, et al. Evaluation of the In2Care mosquito station at low deployment density: A field study to manage *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) in North Central Florida. *J Med Entomol* 2024; 61: 1190–1202.
 26. Harburguer L, Beltrán G, Goldberg L, et al. A new strategy for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) control with community participation using a new fumigant formulation. *J Med Entomol* 2011; 48: 577–83.
 27. Hoffmann AA, Montgomery BL, Popovici J, et al. Successful establishment of *Wolbachia* in *Aedes* populations to suppress dengue transmission. *Nature* 2011; 476: 454–7.
 28. World Mosquito Program. How it works. En: <https://www.worldmosquitoprogram.org/en/work/wolbachia-method/how-it-works>; consultado septiembre 2025.
 29. Walker TJPH, Johnson PH, Moreira LA, et al. The wMel *Wolbachia* strain blocks dengue and invades caged *Aedes aegypti* populations. *Nature* 2011; 476: 450–3.
 30. Shropshire JD, Leigh B, Bordenstein SR. Symbiont-mediated cytoplasmic incompatibility: what have we learned in 50 years? *Elife* 2020; 9: e61989.
 31. Marinotti O, Paldi N, Gorla DE. Beyond the hype - real-world outcomes of wMel-*Wolbachia* deployments: Why a strategic pause is needed. SSRN 2025. doi: 10.2139/ssrn.5320966.
 32. Pavan MG, Gnonhoue FJ, Correa-Antonio J, et al. The long-term persistence of the wMel strain in Rio de Janeiro is threatened by poor integrated vector management and bacterium fitness cost on *Aedes aegypti*. *Plos Negl Trop Dis* 2025; 19 Suppl 7: e0013372.
 33. Mejia AJ, Dutra HLC, Jones MJ, et al. Cross-tissue and generation predictability of relative *Wolbachia* densities in the mosquito *Aedes aegypti*. *Parasit Vectors* 2022; 15: 128.
 34. Nguyen TH, Nguyen HL, Nguyen TY, et al. Field evaluation of the establishment potential of wMel-Pop *Wolbachia* in Australia and Vietnam for dengue control. *Parasit Vectors* 2015; 8: 563.
 35. Gesto JSM, Ribeiro GS, Rocha MN, et al. Reduced competence to arboviruses following the sustainable invasion of *Wolbachia* into native *Aedes aegypti* from Southeastern Brazil. *Sci Rep* 2021; 11: 10039.
 36. Angotti AA, Tavares da Solvia JGS, Yonekura T, Figueiró M. Revisão sistemática rápida: Efetividade da estratégia *Wolbachia* para enfrentamento às arboviroses. *Rev Panam Salud Publica* 2024; 48: e98.
 37. Velez ID, Tanamas SK, Arbelaez MP, et al. Reduced dengue incidence following city-wide wMel *Wolbachia* mosquito releases throughout three Colombian cities: Interrupted time series analysis and a prospective case-control study. *PLoS Negl Trop Dis* 2023; 17 Suppl 11: e0011713.
 38. Utarini A, Indriani C, Ahmad RA, et al. Efficacy of *Wolbachia*-infected mosquito deployments for the control of dengue. *N Engl J Med* 2021; 384 Suppl 23: 2177–86.
 39. Hien NT, Anh DD, Le NH, et al. Environmental factors influence the local establishment of *Wolbachia* in *Aedes aegypti* mosquitoes in two small communities in central Vietnam. *Gates Open Res* 2022; 5: 147.
 40. Carrington LB, Tran BCN, Le NTH, et al. Field- and clinically derived estimates of *Wolbachia* -mediated blocking of dengue virus transmission potential in *Aedes aegypti* mosquitoes. *Proc Natl Acad Sci* 2018; 115: 361–6.
 41. Flores HA, Taneja de Bruyne J, O'Donnell TB, et al. Multiple *Wolbachia* strains provide comparative levels of protection against dengue virus infection in *Aedes aegypti*. *PLOS Pathog* 2020; 16 Suppl 4: e1008433.
 42. Agudelo J, Alfonso-Parra C, Avila FW. Male age influences re-mating incidence and sperm use in females of the Dengue Vector *Aedes aegypti*. *Front Physiol* 2021; 12: 691221.
 43. Mello Garcia FR, ed. Management of fruit flies in the Americas. Switzerland AG: Springer Nature, 2024, 572 pp.
 44. World Health Organization, International Atomic Energy Agency. Guidance framework for testing the sterile insect technique as a vector control tool against *Aedes*-borne diseases. Geneva; 2020.

- Licence: CC BY-NC SA 3.0 IGO. En: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240002371>; consultado agosto 2025.
45. Gato R, Menéndez Z, Prieto E, et al. Sterile insect technique: Successful suppression of an *Aedes aegypti* field population in Cuba. *Insects* 2021; 12: 469.
 46. Gato R, Menendez Z, Rodriguez M, et al. Advancing the art of mosquito control: the journey of the sterile insect technique against *Aedes aegypti* in Cuba. *Infect Dis Poverty* 2024; 13: 61.
 47. Martín-Park A, Che-Mendoza A, Contreras-Perera Y, et al. Pilot trial using mass field-releases of sterile males produced with the incompatible and sterile insect techniques as part of integrated *Aedes aegypti* control in Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 2022; 16 Suppl 4: e0010324.
 48. Morreale R, Carvalho DO, Stenhouse S, et al. Suppression of *Aedes aegypti* by the sterile insect technique on Captiva Island, Florida, USA from 2020 to 2022. *PLoS Negl Trop Dis* 2025; 19 Suppl 7: e0013256.
 49. Carvalho DO, Morreale R, Stenhouse S, et al. A sterile insect technique pilot trial on Captiva Island: defining mosquito population parameters for sterile male releases using mark-release-recapture. *Parasit Vectors* 2022; 15 Suppl 1: 402.
 50. Evans TPO, Bishop SR. A spatial model with pulsed releases to compare strategies for the sterile insect technique applied to the mosquito *Aedes aegypti*. *Math Biosci* 2014; 254: 6-27.
 51. Kittayapong P, Ninphanomchai S, Limohpasmanee W, et al. Combined sterile insect technique and incompatible insect technique: The first proof-of-concept to suppress *Aedes aegypti* vector populations in semi-rural settings in Thailand. *PLoS Negl Trop Dis* 2019; 13 Suppl 10: e0007771.
 52. Salim KU, Chan-Golston AM, Naughton CC, et al. Sterile insect technique and incompatible insect technique, emerging alternatives to insecticides for adult mosquito control. *J Integr Pest Manag* 2025; 16: 10.
 53. Bouyer, J. Current status of the sterile insect technique for the suppression of mosquito populations on a global scale. *Infect Dis Poverty* 2024; 13: 68.
 54. de Castro Poncio L, Dos Anjos, FA, de Oliveira DA, et al. Prevention of a dengue outbreak via the large-scale deployment of Sterile Insect Technology in a Brazilian city: A prospective study. *Lancet Reg Health Am* 2023; 21: 100498.
 55. Vazquez-Prokopec GM, Medina-Barreiro A, Che-Mendoza A, et al. Deltamethrin resistance in *Aedes aegypti* results in treatment failure in Merida, Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 2017; 11 Suppl 6: e0005656.
 56. Dilani PVD, Dassanayake RS, Tyagi BK, Gunawardene YINS. The impact of transgenesis on mosquito fitness: A review. *Front Insect Sci* 2022; 2: 957570.
 57. Harris A, McKemey A, Nimmo D, et al. Successful suppression of a field mosquito population by sustained release of engineered male mosquitoes. *Nat Biotechnol* 2012; 30: 828-30.
 58. Carvalho DO, McKemey AR, Garziera L, et al. Suppression of a field population of *Aedes aegypti* in Brazil by sustained release of transgenic male mosquitoes. *PLoS Negl Trop Dis* 2015; 9 Suppl 7: e0003864.
 59. Miranda LS, Rudd SR, Mena O, et al. The perpetual vector mosquito threat and its eco-friendly nemesis. *Biology* 2024; 13 Suppl 3: 182.
 60. World Health Organization. Guidance framework for testing genetically modified mosquitoes, second edition. Geneva; 2021. Licence: CC BY-NC SA 3.0 IGO. En: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240025233>; consultado agosto 2025.
 61. Guerenstein PG, Hildebrand JG. Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. *Annu Rev Entomol* 2008; 53: 161-78.
 62. Cardé RT, Gibson G. Host finding by female mosquitoes: mechanisms of orientation to host odours and other cues. In: Takken W, Knols BG, eds. *Ecology and Control of Vector-borne Diseases, Volume 2: Olfaction in vector-host interactions*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2010, p 115-41.
 63. Wooding M, Naudé Y, Rohwer E, Bower. Controlling mosquitoes with semiochemicals: a review. *Parasit Vectors* 2020; 13 Suppl 1: 80.
 64. Mulatier M, Boullis A, Vega-Rúa A. Semiochemical oviposition cues to control *Aedes aegypti* gravid females: state of the art and proposed framework for their validation. *Parasit Vectors* 2022; 15 Suppl 1: 228.
 65. Sumner BD, Cardé RT. Primacy of human odors over visual and heat cues in inducing landing in female *Aedes aegypti* mosquitoes. *J Insect Behav* 2022; 35: 31-43.
 66. Bernier UR, Kline DL, Schreck CE, Yost RA, Barnard DR. Chemical analysis of human skin emanations: comparison of volatiles from humans that differ in attraction of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Am Mosq Control Assoc* 2002; 24: 249-52.
 67. Dormont L, Mulatier M, Carrasco D, Cohuet A. Mosquito attractants. *J Chem Ecol* 2021; 47: 351-93.
 68. Reisenman CE, Lei H, Guerenstein PG. Neuroethology of olfactory-guided behavior and its potential application in the control of harmful insects. *Front Physiol* 2016; 7: 271.

69. Wilke ABB, Carvajal A, Medina J, et al. Assessment of the effectiveness of BG-Sentinel traps baited with CO₂ and BG-Lure for the surveillance of vector mosquitoes in Miami-Dade County, Florida. *PLoS One* 2019; 14 Suppl 2: e0212688.
70. Knols BGJ, Posada A, Sison MJ, Knols JMH, Patty NFA, Jahir A. Rapid elimination of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* mosquitoes from Puerco Island, Palawan, Philippines with odor-baited traps. *Insects* 2023; 14 Suppl 9: 730.
71. Rubio-Palis Y, Ramírez Álvarez R, Guzmán H, Estrada Y. Evaluation of the Mosquito Magnet® trap with and without octenol to collect mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Bol Malarial Salud Ambient* 2014; 1: 100-2.
72. Barrera R. New tools for *Aedes* control: mass trapping. *Curr Opin Insect Sci* 2022; 52: 100942.
73. Becker N, Schön S, Klein AM, et al. First mass development of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)-its surveillance and control in Germany. *Parasitol Res* 2017; 116: 847-58.
74. Johnson BJ, Brosch D, Christiansen A, et al. Neighbors help neighbors control urban mosquitoes. *Sci Rep* 2018; 8: 15797.
75. Jahir A, Kahamba NF, Knols TO, et al. Mass trapping and larval source management for mosquito elimination on small Maldivian islands. *Insects* 2022; 13: 805.
76. Barrera R, Acevedo V, Amador M, Marzan M, Adams LE, Paz-Bailey. El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on local weather, arboviral diseases, and dynamics of managed and unmanaged populations of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Puerto Rico. *J Med Entomol* 2023; 60: 796-807.
77. Barrera R, Acevedo-Soto V, Ruiz-Valcarcel J, et al. Defining *Aedes aegypti* density thresholds for preventing arboviral infections. *Acta Trop* 2025; 267: 107688.
78. Martínez-Piedra R, Loyola-Elizondo E, Vidaurre-Arenas M, Aguilar PN. Software programs for mapping and spatial analysis in epidemiology and public health. *Epidemiol Bull* 2004; 25 Suppl 4: 1-9.
79. Kim D. Bridging the epidemiology-policy divide: A consequential and evidence-based framework to optimize population health. *Prev Med* 2019; 129: 105781.