

Cassandra González Acosta, Jorge Cime Castillo y Fabián Correa Morales

Control integrado de vectores en México

En México las principales enfermedades transmitidas por vectores de importancia en salud pública son dengue, chikungunya y zika. El Cenaprece ha mantenido exitosos programas de vigilancia y control de la población del mosquito vector *Aedes* en el país conforme a las normas nacionales e internacionales, así como estrategias innovadoras de control biológico y genéticas.

Introducción

Las enfermedades transmitidas por vectores (ETV) representan más de 17 % de todas las enfermedades infecciosas y provocan más de 700 000 defunciones en el mundo. Cabe mencionar que entre éstas se encuentran seis de las siete enfermedades tropicales más importantes: malaria, dengue, tripanosomiasis, leishmaniosis, filariasis y esquistosomiasis (OMS y OPS, 2017). En México, las ETV son un grave problema de salud pública debido a su magnitud, trascendencia y vulnerabilidad; las más representativas por su morbilidad son dengue, chikungunya y zika.

Los principales vectores de dichas arbovirosis son los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Ambas especies están ampliamente distribuidas por todo el territorio mexicano. Por su comportamiento cosmopolita, *Ae. aegypti* se encuentra en toda la planicie, con presencia desde altitudes $\geq 2\ 200$ msnm, como Ciudad de México (Kuri y cols., 2017), hasta regiones tropicales y subtropicales. En comparación con *Ae. albopictus*, se ha incriminado a *Ae. aegypti* como el mosquito primario de la transmisión de dengue, chikungunya y zika, por su capacidad vectorial y atributos biológicos, intrínsecos y extrínsecos, para cada especie vírica (Lounibos y Kramer, 2016).

Debido a que aún no existen vacunas ni un tratamiento terapéutico específico y efectivo contra dengue, chikungunya o zika, el control de vectores sigue siendo parte indispensable para prevenir y reducir la transmisión de estas enfermedades con un enfoque en la disminución de la población de mosquitos *Ae. aegypti* mediante el uso de insecticidas específicos para la fase larvaria (larvicidas) y para la



fase adulta del ciclo del mosquito (adulticidas). Al respecto, la Secretaría de Salud –por conducto del Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (Cenaprece)– ha planteado diversas estrategias para lograr el manejo integrado con la participación social y multisectorial contra el dengue, al aplicar, entre otras medidas, el control físico y químico (Cenaprece, 2018 a, b, c, d, e).

■ **Sistema de vigilancia vectorial**

■ Cenaprece es el centro rector de las acciones de vigilancia, prevención y control de las ETV en las 32 entidades federativas. En el tema de las arbovirosis, existen normas, lineamientos y guías operativas que rigen a los estados para la atención oportuna y el control de brotes mediante la disminución de las densidades de poblaciones del mosquito *Ae. aegypti*.

■ **Investigación operativa**

■ Actualmente, una de las vertientes del programa nacional de control de vectores consiste en generar evidencia científica para la toma de decisiones –también llamada investigación operativa– y con ello identificar factores que intervienen para una mejora continua en la contención de brotes y reducción del contacto humano-vector, con impacto en la disminución de la transmisión de la enfermedad.

En 2008 se estableció el primer sistema de vigilancia entomológica de monitoreo de *Ae. aegypti*, el cual provee datos cuantitativos de la distribución y abundancia de los mosquitos presentes en las regiones de alta incidencia para dengue, y posteriormente chikungunya y zika. El mismo año dio inicio el primer sistema de información geográfica, en el cual se pueden observar

mapas de riesgo en tiempo real según los vectores y casos presentes: Sistema Integral y Monitoreo de Vectores (SIMV). En 2014 se establecieron las Unidades de Investigación Entomológica y Bioensayos (UIEB), las cuales realizan actividades de evaluación, monitoreo, supervisión e investigación del programa de vectores, al valorar continuamente los diferentes grupos de insecticidas utilizados en 88 cepas de mosquitos *Ae. aegypti*, crecidas y mantenidas en condiciones de insectario dentro de las UIEB, para la realización de bioensayos: eficacia biológica, evaluación de la resistencia, aerosoles comerciales, repelentes comerciales, en apego a los estándares y lineamientos nacionales e internacionales. Actualmente se cuenta con 23 UIEB distribuidas en las entidades federativas con alta transmisión. En 2015 se inició la vigilancia entomovirológica, con la que se identifican los virus presentes en mosquitos colectados en áreas endémicas y no endémicas. En 2017 comenzaron a implementarse estrategias de control alternativas al uso de insecticidas, como el establecimiento de mosquitos transgénicos, mosquitos irradiados y control biológico. Lo anterior brinda evidencia científica confiable y significativa para la toma de decisiones, para la adopción o para la modificación de las políticas públicas, como fue

el caso de la NOM-032-SSA2-2014 para la vigilancia epidemiológica, promoción, prevención y control de las enfermedades transmitidas por

vectores.



■ **Vigilancia entomológica: colocación de ovitrampas para medir densidades de *Ae. aegypti***

■ Todas las entidades federativas cuentan con un sistema de vigilancia entomológica de *Ae. aegypti* con ovitrampas; esto es, se colocan recipientes negros con capacidad de un litro de agua, los cuales llevan un sustrato (papeletas) por dentro sobre el cual el mosquito hembra *Ae. aegypti* coloca sus huevecillos. El personal

operativo –adscrito al programa de control de vectores– semanalmente cuenta el número total de huevecillos colocados en dichas papeletas y captura las lecturas en el SIMV,¹ conforme a lo establecido en la *Guía metodológica para vigilancia entomológica con ovitrampas* (Cenaprece, 2018c). Actualmente se cuenta con un registro de 250 000 ovitrampas bajo observación en las 32 entidades, con 366 municipios y 712 localidades de riesgo (véase la Figura 1).

Vigilancia entomoviroológica: presencia de partículas virales en mosquitos *Aedes* y *Culex*

El objetivo de esta actividad es mantener la vigilancia activa de la presencia de arbovirus en los mosquitos antes de su detección en humanos, para así focalizar las acciones de control vectorial de manera anticipada. Por medio de los programas de control de vectores, todas las entidades federativas mantienen esta vigilancia en localidades de riesgo a manera centinela; para ello, se necesitan equipos de captura de mosquitos (en mochilas tipo *backpack*) y se colectan individuos conforme a la *Guía metodología para la vigilancia entomoviroológica* (Cenaprece, 2018d) para enviarlos a los laboratorios estatales de referencia o al Instituto Nacional de Salud Pública.

La vigilancia entomoviroológica es crítica para la prevención y el control de patógenos transmitidos por mosquitos. La detección de una elevada actividad viral o de un virus emergente sirve como un sistema de alarma para implementar acciones apropiadas que reduzcan los brotes y epidemias.

Tradicionalmente, la vigilancia de arbovirus se ha basado en la detección de anticuerpos específicos en animales centinelas, o bien la detección de virus de mosquitos colectados con una amplia variedad de métodos; no obstante, la detección por ensayos serológicos puede dar una reacción cruzada entre virus cercanamente relacionados (con los virus Dengue y Zika). La detección de ácidos nucleicos mediante RT-PCR se ha convertido en uno de los métodos más



Figura 1. Sistema de vigilancia entomológica de *Aedes aegypti* con ovitrampas en México.

populares para la detección de virus y ha desplazado el aislamiento viral como la prueba estándar para la detección de patógenos transmitidos por mosquitos. Actualmente existe una amplia variedad de ensayos qRT-PCR para la detección de casi todos los arbovirus de importancia humana y veterinaria; incluso, algunos ensayos son de formato multiplex (detección de más de un patógeno en una misma mezcla de reacción), lo cual reduce el costo por prueba. Las sondas tipo TaqMan[®] se han empleado de manera amplia para el diagnóstico viral en muestras de pacientes (Ramírez y cols., 2018) y actualmente se están implementando para la identificación de los virus Dengue, Chikungunya y Zika, en mosquitos capturados en campo en zonas endémicas y de dispersión de mosquitos vectores. Esta estrategia se ha impuesto como un programa general de seguimiento integral para la prevención y el control del dengue hacia el manejo integrado de las arbovirosis. La necesidad de establecer esta tecnología obedece a la búsqueda de nuevos indicadores entomológicos, una vigilancia respecto a los cambios de serotipo y cepas virales, así como el estudio de la competencia vectorial (OMS y OPS, 2017).

Los resultados de la vigilancia entomoviroológica se emiten de manera oportuna para la toma de decisiones y están capturados en el SIMV (véase la Figura 2).

Para establecer los métodos de control, es necesario conocer la biología y presencia del vector *Ae.*

¹ Véase <<http://kin.insp.mx/aplicaciones/SisMV/>>.



Figura 2. Sistema Integral de Monitoreo de Vectores, módulo de captura de vigilancia entomoviroológica. Véase <<http://kin.insp.mx/aplicaciones/SisMV>>.

aegypti, por lo que los estudios descritos anteriormente se utilizan con los resultados de las encuestas entomológicas realizadas por el personal operativo del programa de vectores, con los cuales se calculan índices de acuerdo con la presencia de larvas dentro de las viviendas, presencia de pupas en las viviendas, número de recipientes positivos, número de casas positivas, etcétera. Dichos datos son capturados en el SIMV, en el módulo de vigilancia entomológica y control, pues son necesarios para realizar el cálculo de índices de riesgo que permiten priorizar y dirigir las acciones de control vectorial en las áreas de mayor riesgo (véase la Figura 3).

Programa de control vectorial

Control físico: eliminación de los criaderos de *Ae. aegypti* dentro de las viviendas

En relación con el control físico se instrumentó la estrategia “Patio limpio y cuidado del agua almacenada”, que busca concientizar y activar a la población, tanto en el ámbito familiar como en el

colectivo, para aplicar medidas antivectoriales vitales para la protección de la salud. El personal de las entidades federativas adscrito al programa de control de vectores o de promoción de la salud visita las viviendas en las localidades endémicas y ofrece a los habitantes información acerca de las arbovirosis presentes en el lugar de residencia, así como los riesgos que se pueden presentar si no existe una vivienda libre de criaderos; al mismo tiempo, se realiza la eliminación de los potenciales criaderos dentro y alrededor de la vivienda.

Control químico en larvas: eliminación de las larvas de *Ae. aegypti* en depósitos con agua

De acuerdo con el análisis situacional y los índices de riesgo que se presentan en tiempo real en el SIMV, se deben focalizar las acciones de control vectorial. La primera estrategia es el control químico del vector de los virus Dengue, Chikungunya y Zika: *Ae. aegypti*, que constituye un elemento importante en las estrategias integrales de prevención y control. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y las autoridades sanitarias, mediante la norma oficial



Figura 3. Formación de *clusters* con los índices de riesgo para focalizar las acciones de control vectorial en el Sistema Integral de Monitoreo de Vectores. Módulo de captura de vigilancia entomológica y control.

mexicana NOM-032-SSA2-2014 (DOF, 2015) para la vigilancia epidemiológica, promoción, prevención y control de ETV, impulsan la realización de estudios entomológicos o evaluaciones entomológicas acerca de la eficacia de los insecticidas, así como la valoración de la susceptibilidad y la resistencia a los insecticidas empleados. Esta evidencia es trascendental para conocer el impacto real del control químico sobre los mosquitos vectores y para el diseño de estrategias de manejo de la resistencia y del uso racional de los insecticidas vinculados a la eficacia de los programas operativos para revertir las tendencias epidemiológicas.

Es evidente que, para que se observe un impacto en la prevención y el control de las enfermedades transmitidas por *Ae. aegypti*, las acciones de control vectorial deben llevarse a cabo con suficiente oportunidad, de manera integral (aplicación de larvicidas y adulticidas) y con la cobertura y frecuencia necesarias para evitar la presencia de casos o para cortar las cadenas de transmisión al disminuir las poblaciones de mosquitos vectores.

Las áreas por trabajar para el personal operativo se definen en función de los mapas de riesgo emitidos

por el SIMV. En dado caso, se visitará vivienda por vivienda y se aplicarán larvicidas, ya sea de tipo biológico o químico, como el spinosad, *Bti* (*Bacillus thuringhiensis*) y temefos; o bien, dependiendo de la disponibilidad, se aplicarán reguladores de crecimiento, como Metopreno, Novaluron y Piriproxifen, en todos los recipientes potenciales de cría de *Ae. aegypti*, con el fin de dejar la vivienda protegida por dos meses, que es el tiempo de eficacia y residualidad que deben poseer los larvicidas y reguladores de crecimiento utilizados en este programa nacional de control de vectores, que de manera previa son evaluados en la red de UIEB, establecidas en las entidades federativas.

Control químico con adulticidas: eliminación de mosquitos Ae. aegypti en áreas de brote

Ante una situación de brote epidémico, los programas estatales de control de vectores deben llevar a cabo el control químico de impacto amplio en estas zonas; esto es, se aplicará adulticida como medida de control para limitar la transmisión en brotes activos, el insecticida espacial de ultra bajo volumen (nebulización en frío) será esparcido con máquinas pesadas en camionetas, así como insecticida de

tipo organofosforado o nuevos grupos químicos que muestren susceptibilidad en las poblaciones vectoriales de *Ae. aegypti*, de acuerdo con la *Guía metodológica para nebulización espacial UBV* (Cenaprece, 2018e). Cabe mencionar que, de acuerdo con el análisis de riesgo, se puede aplicar adulticida con termonebulizador (nebulización térmica) en áreas de alta concentración poblacional, como iglesias, escuelas, panteones, balnearios, etcétera, con el objetivo de evitar la picadura de los mosquitos *Ae. aegypti*.

Por otro lado, el control químico mediante adulticidas es dirigido sobre la base de los casos probables de dengue, chikungunya o zika que constantemente están notificando los centros de salud y hospitales de primer y segundo nivel de atención. Esta acción se conoce como rociado a caso probable (RCP); el programa de vectores atiende las viviendas de los casos probables mediante rociados residuales (con la técnica de rociado tradicional) realizando un cerco



epidemiológico en las viviendas que están alrededor, con acciones de rociado residual y control larvario, en apego a la *Guía metodológica para el rociado domiciliario* (Cenaprece, 2018b).

Como se ha mencionado anteriormente, y de manera enfática, todas las acciones de prevención y control están capturadas en el SIMV, así como los casos atendidos, el insecticida consumido, las viviendas trabajadas en control larvario, RCP y hectáreas trabajadas con la nebulización espacial, para visualizar en tiempo real el impacto de las acciones de control sobre los brotes activos.

■ Estrategias innovadoras en el control de vectores

■ Debido a que los mosquitos son el grupo de insectos que transmiten el mayor número de enfermedades con importancia médica humana, causan miles de decesos anualmente en el mundo. Las técnicas comunes para la erradicación de estos vectores contemplan la reducción de sus criaderos (contenedores, bebederos, cubetas, tanques, tambos o cualquier recipiente que acumule agua, así como floreros y cacharros en general) para eliminar los posibles sitios de oviposición y por lo tanto de crecimiento y acumulación de mosquitos adultos; el tratamiento de los cuerpos de agua con larvicidas como el temefos, para eliminar la presencia de larvas, principalmente *Aedes* sp., *Anopheles* sp. y *Culex* sp., el cual es un excelente método para el control en la etapa larval, así como el rociado con insecticidas en lugares con abundancia de adultos que también merma las poblaciones de mosquitos. No obstante, el uso de estos componentes conlleva repercusiones para el ambiente, la salud humana y las poblaciones de otros insectos benéficos (Devine y cols., 2019), sumado a la resistencia a los insecticidas por parte de las poblaciones de mosquitos debido a su constante uso. Sin vacunas efectivas o medicamentos específicos para prevenir o tratar las ETV, la mejor estrategia es combatir el vector. Por tal motivo, se han diseñado nuevas alternativas para interrumpir el ciclo de vida de los mosquitos, así como investigaciones de diagnóstico oportuno para mitigar la trans-

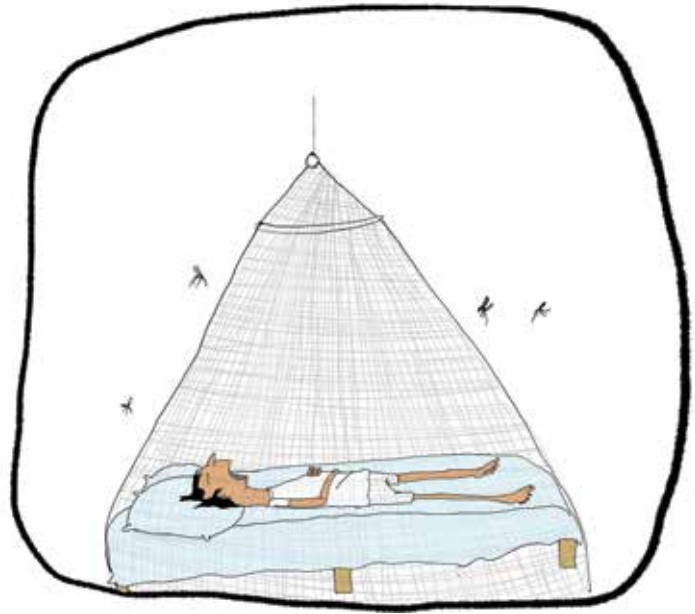
misión de enfermedades por estos vectores. Entre las estrategias para la reducción de poblaciones de mosquitos, se encuentran la ingeniería genética (Noguez y cols., 2017), la producción de mosquitos estériles, el control biológico con el uso de bacterias propias de mosquitos (Brownlie y Johnson, 2009), así como la exposición de adultos a componentes que afectan el ciclo de vida de sus parásitos (Paton y cols., 2019).

Estrategia del mosquito estéril

La técnica del insecto estéril (SIT, por sus siglas en inglés) involucra la liberación de un gran número de mosquitos machos estériles dentro de una población objetivo. El apareamiento de estos machos con las hembras de la población nativa permitirá una reducción en el éxito reproductivo de las hembras, lo cual resultará en la disminución o abolición de la población objetivo.

La técnica se basa en la generación de mutaciones en los gametos de insectos por medio de químicos o radiación en los huevecillos, los cuales se eclosionan y llevan hasta el estadio adulto estas radiaciones que afectan los cromosomas de los insectos y dan como resultado mosquitos estériles (Noguez y cols., 2017). La esterilización mediante radiaciones ha sido extremadamente efectiva y se ha aplicado exitosamente para la supresión y erradicación de varias plagas de insectos (Dyck y cols., 2005). Esta técnica ha sido exitosa en contra de plagas en la agricultura, como con la mosca *Cochiomyia hominivorans*, la mosca de la fruta *Ceratitits capitata* o la mosca tsé-tsé *Glossina fusiles*, vector de la tripanosomiasis (Burt, 2014).

La técnica del mosquito estéril debería combinarse con otras como parte integral para el control de plagas en un área determinada, a fin de reducir las poblaciones de vectores por debajo del umbral requerido para la transmisión de las enfermedades (Lees y cols., 2015). Un método alternativo a la esterilización de los machos es el fenómeno natural de incompatibilidad citoplásmica (IC), la cual es expresada como la letalidad del embrión entre machos infectados con *Wolbachia* y hembras no infectadas o hembras infectadas con una cepa diferente de *Wol-*



bachia (Saridaki y Bourtzis, 2010); la supresión de las poblaciones basada en la IC se conoce como técnica del insecto compatible (IIT). La combinación de SIT con alguna otra técnica como IC o la **autodiseminación** en sitios de apareamiento se ha nombrado como *boosted SIT*; esta mejora del insecto estéril podría ser capaz de erradicar mosquitos y otros vectores de importancia médica y veterinaria. El éxito de la estrategia SIT depende en gran medida de la habilidad del macho estéril para competir con los machos silvestres en el campo.

Una de las mayores ventajas del SIT sobre otras técnicas, como insecticidas, larvicidas o la remoción de sitios de crecimiento de larvas, radica en que los machos son muy buenos en buscar hembras de la misma especie para su apareamiento y la técnica se hace más efectiva en cuanto la población se reduce. No obstante, la competencia con machos silvestres es un problema de esta técnica: se ha visto que la irradiación de los machos limita su competencia con machos silvestres por aparearse con mosquitos hembras del campo; asimismo, los costos y la dificultad para la operación en la irradiación y la naturaleza dependiente de la densidad de las poblaciones de mosquitos hacen que SIT sea un problema para la aplicación en mosquitos (Alphey, 2014). Por otra parte, esta técnica está entre los métodos de control

Autodiseminación

Método que consiste en cubrir hembras silvestres con piriproxifen —un análogo de la hormona juvenil— en estaciones de diseminación; cuando las hembras rociadas depositan huevecillos en sitios larvales, los reguladores del crecimiento del insecto previenen la metamorfosis del adulto de todas las larvas en el estanque, incluyendo las larvas de hembras no rociadas con el compuesto análogo de la hormona juvenil (Bouyer y Lefrancois, 2014).

de pestes menos perjudiciales para el ambiente; al contrario de otros métodos, éste es específico para la especie objetivo, no libera agentes exóticos en nuevos entornos y no introduce nuevo material genético en poblaciones existentes en la naturaleza.

Métodos de control genético: mosquitos transgénicos

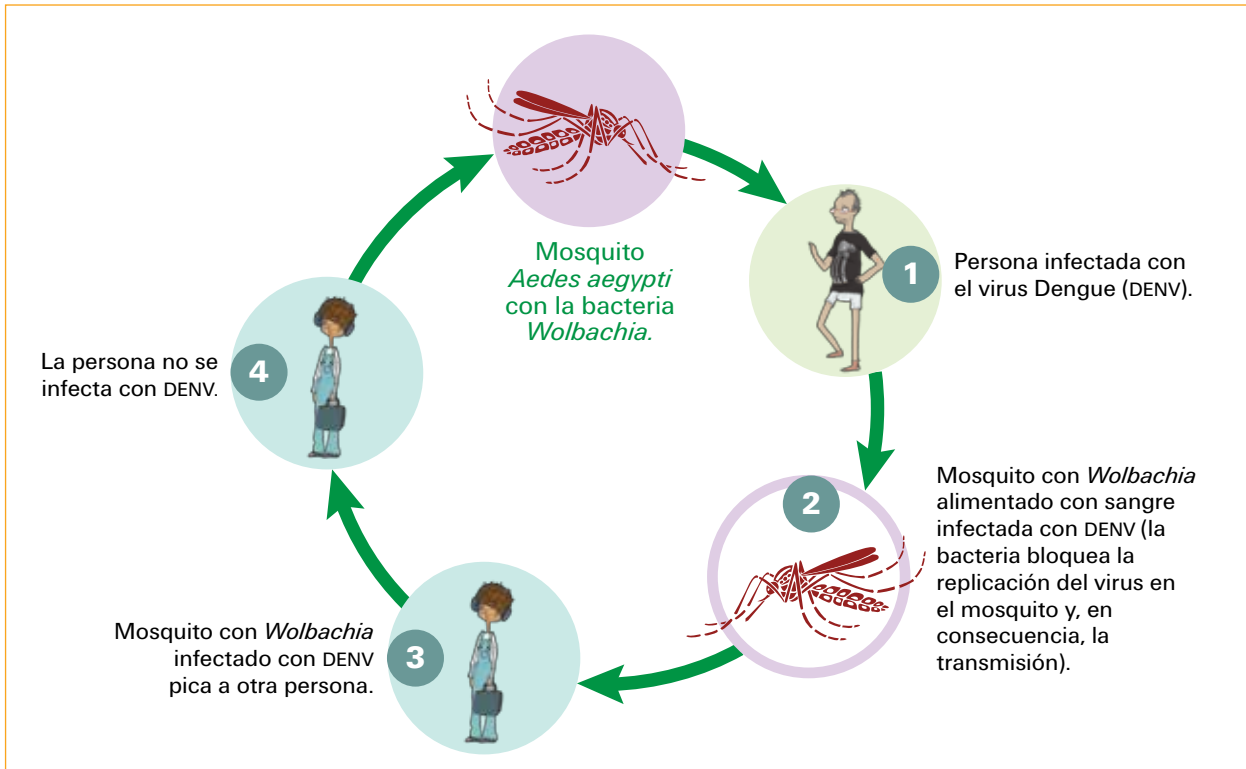
Los métodos de control genético son prometedoras estrategias para el control de mosquitos vectores. El uso de mosquitos refractantes para reemplazar a las poblaciones de mosquitos silvestres y la liberación de mosquitos portadores de genes letales para suprimir las poblaciones de mosquitos son dos de los métodos usados. El primer aprovechamiento es sustentable y solamente requiere de una o pocas liberaciones de mosquitos refractantes para que el gen exógeno incremente su frecuencia y sea fijado en la población silvestre; el segundo aprovechamiento es limitante, dado que es necesario hacer liberaciones repetidas de mosquitos que exportan el gen letal (Wilke y Marrelli, 2012).

La liberación de insectos portadores de genes letales dominantes (*releasing of insects' dominant lethal genes*, RIDL) ofrece una solución para muchos de los inconvenientes del control por medios químicos. Esta técnica consiste en introducir un gen dominante letal que puede estar bajo el control de un promotor específico de los mosquitos hembras, como el gen de la vitelogenina. La expresión del gen letal puede estar reprimida por el tratamiento de tetraciclina; cuando se preparan los mosquitos para su liberación, el represor –en este caso, la tetraciclina– es inactivado y el gen letal será expresado y causará la muerte de todas las hembras. Los machos homocigos liberados encontrarán una hembra silvestre para aparearse y, cuando lo hagan, producirán progenies de heterocigotos de los cuales sólo los machos sobrevivirán. Los machos transgénicos son en sí homocigos para un gen letal dominante y su apareamiento con hembras silvestres resultará en descendencia heterocigota para un gen letal que provoca la muerte de todas las hembras y, por lo tanto, la supresión de la población debido a su incapacidad reproductiva.

Método de control con bacterias simbiotas: paratransgénesis

La paratransgénesis se basa en el uso de bacterias simbióticas para expresar moléculas efectivas dentro del mosquito vector. Por lo general, las bacterias son genéticamente modificadas y, una vez que se expresan las moléculas requeridas, son nuevamente introducidas al mosquito. Las bacterias específicas de mosquitos y que interfieran en las funciones biológicas asociadas con la digestión o que ayuden con el proceso de vitalogénesis y ovogénesis son primordialmente las usadas en esta técnica. La erradicación de estas bacterias conlleva una disminución en la fecundidad y una baja tasa de crecimiento. Asimismo, interferir con la digestión de proteínas en el bolo alimenticio de un mosquito puede reducir la fecundidad y representar un nuevo aprovechamiento para el control de las poblaciones de mosquitos para, de esta manera, prevenir la transmisión de patógenos (Wilke y Marrelli, 2015). Una ventaja mayor de esta técnica radica en la simplicidad para producir un número suficiente de bacterias para expresar mo-





Infección por picadura de mosquito con bacteria *Wolbachia*.

léculas requeridas en el mosquito, en comparación con la producción de mosquitos requeridos para reemplazar a las poblaciones silvestres (Riehle y Jacobs-Lorena, 2005). Beard y cols. (2002) mencionan que son seis los requerimientos para que la estrategia de control paratransgénico sea exitosa: el primero es que exista una relación simbiótica entre la bacteria y el vector; segundo, que la bacteria pueda ser cultivada y pueda ser genéticamente modificada; tercero, la bacteria modificada deberá ser estable; cuarto, que la adecuación y bienestar de la bacteria no se vea comprometida; quinto, la bacteria modificada tendría que producir una bacteria antiparasítica o viral efectiva; por último, se deberá contemplar y tener un medio eficiente de distribución de las bacterias genéticamente modificadas en los mosquitos vectores.

Método de control biológico: *Wolbachia*

Wolbachia es un género de bacterias obligadas intracelulares que se encuentran en nemátodos y artrópodos, incluidos los mosquitos vectores. En las últi-

mas décadas esta alfa proteobacteria endosimbiótica se ha convertido en una prometedora estrategia para el control de mosquitos, debido a que puede alterar la reproducción sexual. Es una bacteria intracelular heredada vía materna que infecta la línea germinal de numerosas especies de invertebrados, incluidos los tejidos reproductivos de mosquitos. *Wolbachia* tiene la capacidad y peculiaridad de alterar el comportamiento reproductivo por medio de un bacteriófago, cuya función aumenta la incompatibilidad citoplasmática inducida por *Wolbachia* (LePage y cols., 2017), la cual resulta en la letalidad de los embriones en las cruces entre machos infectados y hembras no infectadas. Asimismo, se ha visto que *Wolbachia* reduce la replicación de virus de RNA, incluidos los virus Zika, Dengue y Chikungunya, en diversas especies de mosquitos *Aedes* y *Anopheles*. La replicación y la transmisión en insectos infectados con *Wolbachia* se han estudiado con tres sistemas de infección: hospederos de *Wolbachia* infectados naturalmente, hospederos infectados por microinyección con *Wolbachia* (infecciones heredadas y

establemente mantenidas) y hospederos transitoriamente infectados con *Wolbachia*. Estos sistemas se han usado para probar el efecto de *Wolbachia* en diversos patógenos transmitidos por mosquitos, incluidos los virus Dengue, Oeste del Nilo y Plasmodium. No obstante, hay algunas evidencias de que *Wolbachia* puede aumentar la infección del patógeno en algunos hospederos.

Nuevas técnicas para detección de patógenos

Debido a que es imprescindible contar con un monitoreo continuo que lleve a la mitigación o disminución de diversos patógenos transmitidos por mosquitos vectores, así como reducir el rápido crecimiento y distribución mundial de éstos, se han implementado nuevas estrategias para el diagnóstico de mosquitos infectados. Estas pruebas consisten en identificar genes virales en mosquitos capturados en campo –particularmente del virus del Oeste del Nilo, el Ross River y el de encefalitis Murray Valley– por medio de qRT-PCR mediante sondas TaqMan[®], las cuales extraen el material genético a partir de excretas depositadas en tarjetas FTA (Meyer y cols., 2019) o expectoración a partir de la saliva de mosquitos infectados (Hurk y cols., 2007).

Sin embargo, y a pesar de ser una prueba altamente sensible y específica, el traslado de los mosquitos al laboratorio y la extracción del material genético aún la hacen una prueba costosa y con un diagnóstico que podría ser más oportuno; por tal motivo, aún se buscan técnicas para establecerlas en campo o que abaraten los costos. Una de éstas es la amplificación isothermal (*reverse transcription loop-mediated isothermal amplification*, RT-LAMP), la cual se ha usado para el diagnóstico de virus Zika en lisados de mosquito sin la necesidad de llevar a cabo la extracción de material genético (Lamb y cols., 2018). Recientemente se ha reportado el uso de espectroscopia infrarroja para la detección de virus Zika en cabezas y tórax de mosquitos infectados, con una precisión de hasta 99.3 % con respecto al qRT-PCR; esta técnica se basa en identificar las diferencias en el tipo y la concentración de componentes químicos de mosquitos infectados y no infectados en condiciones de laboratorio (Fernandes y cols., 2018); no obstante,

hasta el momento esta técnica no ha sido empleada en mosquitos de campo, en donde las variables de diferentes arbovirosis o incluso la microbiota del mismo mosquito pudieran originar resultados no confiables.

Cassandra González Acosta

Coordinación de las Unidades de Investigación Entomológicas y Bioensayos del Programa de Control de Vectores, Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades.

cgonzalez_vectores@hotmail.com

Jorge Cime Castillo

Centro de Investigaciones sobre Enfermedades Infecciosas, Instituto Nacional de Salud Pública.

jor_cime@yahoo.com.mx

Fabián Correa Morales

Subdirección de Vectores, Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades.

fabiancorrea@msn.com

Referencias específicas

- Alphey, L. (2014), “Genetic control of mosquitoes”, *Annual review of entomology*, 59:205-224.
- Beard, C. B., C. Cordon-Rosales y R. V. Durvasula (2002), “Bacterial symbionts of the *Triatominae* and their potential use in control of Chagas disease transmission”, *Annu Rev Entomol*, 47:123-141.
- Brownlie, J. C. y K. N. Johnson (2009), “Symbiont-mediated protection in insect hosts”, *Trends Microbiol*, 17:348-354.
- Burt, A. (2014), “Heritable strategies for controlling insect vectors of disease”, *Phil Trans, R Soc B*, 369: 20130432.
- Cenaprece (2018a), *Guía de nebulización térmica para la aplicación de adulticida con equipo portátil*. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/354680/Guia_Metodologica_para_la_Nebulizacion_Termica.pdf>, consultado el 25 de noviembre de 2019.
- Cenaprece (2018b), *Guía metodológica para el rociado domiciliario*. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/354678/Gu_a_Metodol_gica_para_el_Rociado_Domiciliario.pdf>, consultado el 25 de noviembre de 2019.

- Cenaprece (2018c), *Guía metodológica para vigilancia entomológica con ovitrampas*. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/354685/Guia_Metodologica_para_Vigilancia_Entomologica_con_Ovitrampas.pdf>, consultado el 25 de noviembre de 2019.
- Cenaprece (2018d), *Guía metodológica para la vigilancia entomoviológica*. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/354682/Guia_Metodologica_para_la_Vigilancia_Entomoviolologica.pdf>, consultado el 25 de noviembre de 2019.
- Cenaprece (2018e), *Guía metodológica para nebulización espacial UBV*. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/354684/Guia_Metodologica_para_Nebulizacion_Espacial_UBV.pdf>, consultado el 25 de noviembre de 2019.
- Devine, G. J., H. J. Overgaard y R. E. Paul (2019), "Global vector guidelines-The need for Co-creation", *Trends Parasitol*, 35(4):267-270.
- Dyck, V. A. et al. (2005), "Management of Area-Wide Integrated Pest Management Programmes that Integrate the Sterile Insect Technique", en V. A. Dyck, J. Hendrichs y A. Robinson (eds.), *Sterile Insect Technique*, Dordrecht, Springer.
- DOF (2015), "Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2014 para la vigilancia epidemiológica, promoción, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores", *Diario Oficial de la Federación*.
- Fernandes, J. N. et al. (2018), "Rapid, noninvasive detection of Zika virus in *Aedes aegypti* mosquitoes by near-infrared spectroscopy", *Sci Adv*, 4:eaat0496.
- Kuri-Morales, P. et al. (2017), "First report of *Stegomyia aegypti* (= *Aedes aegypti*) in Mexico City, Mexico", *Medical Veterinary Entomology*, 31(2):240-242.
- Lamb, L. E. et al. (2018), "Rapid Detection of Zika Virus in Urine Samples and Infected Mosquitos by Reverse Transcription-Loop-Mediated Isothermal Amplification", *Sci Rep*, 8:3803.
- Lees, R. S. et al. (2015), "Back to the future: the sterile insect technique against mosquito disease vectors", *Curr Opin Insect Sci*, 10:156-162.
- LePage, D. P. et al. (2017), "Prophage WO genes recapitulate and enhance *Wolbachia*-induced cytoplasmic incompatibility", *Nature*, 543:243-247.
- Lounibos, L. P. y L. D. Kramer (2016), "Invasiveness of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* and Vectorial Capacity for Chikungunya Virus", *Journal Infectious Diseases*, 214(suppl. 5):S453-S458.
- Meyer, D. et al. (2019), "Development and Field Evaluation of a System to Collect Mosquito Excreta for the Detection of Arboviruses", *J Med Entomol*, 56:1116-1121.
- Niang, E. H. A., H. Bassene, F. Fenollar y O. Mediannikov (2018), "Biological Control of Mosquito-Borne Diseases: The Potential of *Wolbachia*-Based Interventions in an IVM Framework", *J Trop Med*:1470459. doi: 10.1155/2018/1470459
- Noguez Moreno, R. et al. (2017), "Nuevas estrategias de control vectorial: mosquitos transgénicos", *Folia Entomológica Mexicana*, 3(3):114-138.
- OMS y OPS, Organización Mundial de la Salud y Organización Panamericana de la Salud (2017), *Seguimiento de la estrategia de gestión integrada para la prevención y el control del dengue en el marco de la transición hacia el manejo integrado de las arbovirosis*. Disponible en: <<https://www.paho.org/hq/index>>, consultado el 25 de noviembre de 2019.
- Paton, R. y M. Bonsal (2019), "The ecological and epidemiological consequences of reproductive interference between the vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*", *J Royal Soc Interface*, 16:20190270.
- Ramírez, A. L., A. F. van den Hurk, D. B. Meyer y S. A. Ritchie (2018), "Searching for the proverbial needle in a haystack: advances in mosquito-borne arbovirus surveillance", *Parasit Vectors*, 11(1):320.
- Riehle, M. A. y M. Jacobs-Lorena (2005), "Using bacteria to express and display anti-parasite molecules in mosquitoes: Current and future strategies", *Insect Biochem Mol Biol*, 35:699-707.
- Saridaki, A. y K. Bourtzis (2010), "*Wolbachia*: more than just a bug in insects genitals", *Curr Opin Microbiol*, 13:67-72.
- Van den Hurk, A. F. et al. (2007), "Expectoration of flaviviruses during sugar feeding by mosquitoes (Diptera: Culicidae)", *J Med Entomol*, 44:845-850.
- Wilke, A. B. y M. T. Marrelli (2012), "Genetic control of mosquitoes: population suppression strategies", *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*, 54:287-292.
- Wilke, A. B. y M. T. Marrelli (2015), "Paratransgenesis: a promising new strategy for mosquito vector control", *Parasites & Vectors*, 8:342.

