

# Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*



Organización  
Panamericana  
de la Salud



Organización  
Mundial de la Salud

OFICINA REGIONAL PARA LAS Américas



# Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*



Organización  
Panamericana  
de la Salud



Organización  
Mundial de la Salud

OFICINA REGIONAL PARA LAS **Américas**

Washington, D.C. 2019

Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*

ISBN: 978-92-75-32109-6

eISBN: 978-92-75-32110-2

### © Organización Panamericana de la Salud 2019

Todos los derechos reservados. Las publicaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) están disponibles en su sitio web en ([www.paho.org](http://www.paho.org)). Las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, íntegramente o en parte, alguna de sus publicaciones, deberán dirigirse al Programa de Publicaciones a través de su sitio web ([www.paho.org/permissions](http://www.paho.org/permissions)).

**Forma de cita propuesta.** Organización Panamericana de la Salud. Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del *Aedes aegypti*. Washington, D.C.: OPS; 2019.

**Catalogación en la Fuente:** Puede consultarse en <http://iris.paho.org>.

Las publicaciones de la OPS están acogidas a la protección prevista por las disposiciones sobre reproducción de originales del Protocolo 2 de la Convención Universal sobre Derecho de Autor.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la OPS, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la OPS los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan en las publicaciones de la OPS letra inicial mayúscula.

La OPS ha adoptado todas las precauciones razonables para verificar la información que figura en la presente publicación, no obstante lo cual, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni explícita ni implícita. El lector es responsable de la interpretación y el uso que haga de ese material, y en ningún caso la OPS podrá ser considerada responsable de daño alguno causado por su utilización.

# Contenidos

Agradecimientos .....	v
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Actualización de los métodos de vigilancia y control del <i>Aedes aegypti</i>.....</b>	<b>3</b>
2.1. Bioecología del <i>Aedes aegypti</i> y su importancia a efectos de vigilancia y control.....	3
2.2. Vigilancia entomológica .....	5
2.3. Control vectorial .....	9
2.3.1. Métodos de control del <i>Aedes aegypti</i> .....	10
<b>3. Escenarios operativos para el abordaje de la vigilancia y el control del <i>Aedes aegypti</i>.....</b>	<b>15</b>
3.1. Estrategias de vigilancia, prevención y control .....	15
3.2. Estrategias de vigilancia, prevención y control según escenarios operativos .....	17
3.2.1. Sistemas de información y vigilancia según escenarios.....	21
3.2.2. Intervenciones según escenarios .....	22
<b>4. Estratificación del riesgo en el interior de los escenarios.....</b>	<b>25</b>
4.1. Estratificación espacial .....	26
4.2. Temporalidad de las intervenciones .....	30
<b>5. Consideraciones finales .....</b>	<b>35</b>
<b>6. Anexos.....</b>	<b>39</b>
<b>7. Referencias .....</b>	<b>43</b>



## Agradecimientos

La presente edición del *Documento técnico para la implementación de intervenciones basado en escenarios operativos genéricos para el control del Aedes aegypti* fue redactado por el Dr. Pablo Manrique Saide, de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, Dr. Gonzalo Vázquez-Prokopec y Julie Clennon, de la Universidad Emory, Estados Unidos y el Dr. Azael Che-Mendoza, del Ministerio de Salud de Veracruz, México quien también fue el responsable por la sistematización de las sugerencias aportadas al documento.

Se reconoce con gratitud a los siguientes profesionales, que durante la reunión de expertos en la ciudad de Los Cabos (México) del 31 de mayo al 1 de junio de 2018 apoyaron con sus conocimientos especializados la revisión del presente documento: Alexandre de Medeiros (Secretaría Municipal de Salud de Natal, Brasil), Daniel Cardoso Portela (Fundación Oswaldo Cruz, Brasil), Denis Gustavo Escobar Robles (Ministerio de Salud de Honduras), Fabiano Pimenta (Secretaría Municipal de Salud de Belo Horizonte, Brasil), Gonzalo Vázquez-Prokopec (Universidad de Emory, Estados Unidos), Guillermo León Rua Uribe (Universidad de Antioquia, Colombia), Gustavo Sánchez Tejeda (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades, México), Héctor Gómez Dantés (Instituto Nacional de Salud Pública, México), María Jesús Sánchez (OPS/OMS, México), Pablo Manrique Saide (Universidad Autónoma de Yucatán, México) y Roberto Barrera (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades, Puerto Rico).

La edición y revisión final del documento estuvo a cargo de los doctores Giovanini Evelim Coelho y Haroldo Sérgio da Silva Bezerra, ambos de la OPS/OMS. El Dr. Dennis Navarro y Valerie Mize brindaron su revisión técnica adicional.

Esta publicación fue producida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), gracias al apoyo financiero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional bajo el acuerdo n.º AID-LAC-IO-16-00002. Las opiniones expresadas por los autores en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o el Gobierno de los Estados Unidos.





# 1 Introducción

Las arbovirosis como el dengue, el chikungunya y la fiebre de Zika, transmitidas principalmente por los mosquitos *Aedes aegypti* y *A. albopictus*, son problemas de salud pública en la Región de las Américas.

El virus del dengue (DENV) continúa imponiendo la carga de enfermedad global más elevada, particularmente en la Región de las Américas; es endémico en más de 30 países y se estima que anualmente se producen de 13 a 53 millones de casos, con una letalidad del 1,2% (OMS, 2009; Bhatt *et al.*, 2013). En esta misma Región, existen brotes explosivos y epidémicos de chikungunya y de fiebre de Zika. Los virus del chikungunya (CHIKV) y del Zika (ZIKV) se encuentran distribuidos en todos los países de América, excepto Canadá, Chile y Uruguay (Nsoesie *et al.*, 2016; Messina *et al.*, 2016).

El reciente episodio de rápida dispersión del ZIKV en las Américas llamó la atención sobre la importancia de estructurar y fortalecer las actividades de control de *A. aegypti* (Ferguson *et al.*, 2016) y mantiene en constante alerta a todo el sistema de salud del continente americano. También preocupan la potencial reemergencia y el riesgo de reurbanización del virus de la fiebre amarilla, que en el Brasil ha causado brotes explosivos en áreas silvestres, aunque algunas se hallaban próximas a centros urbanos (OMS, 2018).

Históricamente, los costos de operación y gastos de inversión para el mantenimiento de los programas de prevención y control de *A. aegypti* siguen siendo altos, debido al uso de métodos de control que privilegian altas coberturas, principalmente con insecticidas (Fitzpatrick *et al.*, 2017). Más aún, los métodos tradicionales y rutinarios de control (eliminación física para la reducción de hábitats de cría, uso de larvicidas y adulticidas), dirigidos contra los vectores *Aedes*, hasta la fecha solo han tenido un impacto limitado y temporal en la prevención de enfermedades, porque son poco eficaces o porque su cobertura es limitada (Bowman *et al.*, 2016; Tun-Lin *et al.*, 2009).

Las áreas urbanas concentran la mayor carga de las enfermedades transmitidas por *A. aegypti*, a causa de la alta densidad demográfica y la dinámica poblacional, además de los problemas inherentes a la infraestructura de servicios sanitarios, el suministro de agua y la recolección de basura, por lo cual todavía representan un gran desafío para el control del vector. La cobertura de estos programas se da a nivel individual, de vivienda, manzana o colonia o barrio, pero rara vez a nivel de centros urbanos, dado que no existe un programa de salud pública con recursos humanos suficientes para atender a todos los hogares en una ciudad. Es más, los programas verticales no toman en cuenta la heterogeneidad y diversidad de escenarios de la ecología de *A. aegypti* ni los ciclos de transmisión al nivel local (Barrera Pérez *et al.*, 2015).

En las arbovirosis existen múltiples factores que inciden sobre la transmisión y operan simultáneamente a diferentes escalas espaciales y temporales, creando complejos patrones de transmisión, persistencia y dispersión (Vázquez-Prokopec *et al.*, 2010b; Vanlerberghe *et al.*, 2017; Bisanzio *et al.*, 2018). La identificación de estos patrones de transmisión y sus escalas operativas es una necesidad urgente impuesta por la situación epidemiológica que atraviesan los países de América y el Caribe.

Cuando los recursos humanos, materiales y financieros son limitados para abordar las intervenciones de salud pública al nivel de la localidad, hay que estratificar el riesgo en el siguiente nivel inferior: colonia, barrio, área o unidad sociodemográfica (Vanlerberghe *et al.*, 2017). La estratificación identifica los estratos más importantes, es decir, las áreas con mayor riesgo epidemiológico-entomológico, donde habría que enfocar las intervenciones para incidir más en la prevención y el control de la transmisión (Gómez Dantés *et al.*, 1995).

Para la estratificación a nivel de ciudad o localidad, se necesitan análisis espaciales que ayuden a identificar patrones de transmisión y sus escalas operativas, pero también es necesario definir y seleccionar las herramientas y estrategias más costoefectivas de intervención y evaluación para cada escenario y su aplicación oportuna (medidas anticipatorias) (Barrera *et al.*, 2000; Gómez Dantés *et al.*, 2011; Vanlerberghe *et al.*, 2017), requisitos indispensables para lograr el impacto deseado en la transmisión.

El objetivo de este documento es proporcionar un marco de referencia para la planeación e implementación de las acciones de vigilancia, prevención y control de *A. aegypti*, con base en la estratificación del riesgo, para apoyar la construcción de posibles escenarios operativos a nivel local. Los escenarios operativos sirven como referencia para seleccionar las herramientas de control vectorial más adecuadas y utilizarlas de forma más eficiente

## 2 Actualización de los métodos de vigilancia y control del *Aedes aegypti*

La estructura de los programas nacionales de vigilancia y control de *A. aegypti* de los países de la Región tiene particularidades propias en cuanto a los componentes que incorporan y su organización. La mayoría siguen el modelo de gestión denominado “estrategia de gestión integrada para la prevención y el control del dengue en las Américas” o EGI-dengue (San Martín y Brathwaite, 2007).

La presente sección no pretende hacer un análisis exhaustivo de cada uno de los componentes ni de cómo interactúan en cada país, sino que se centrará únicamente en el componente entomológico del manejo integrado del vector (MIV) el cual incluye las acciones propias de la vigilancia y el control de *A. aegypti*.

### 2.1. Bioecología del *Aedes aegypti* y su importancia a efectos de vigilancia y control

El control de *A. aegypti* plantea retos únicos, relacionados con su comportamiento, biología y ecología. Las personas favorecen involuntariamente la reproducción del mosquito en viviendas y otras estructuras de carácter privado, a los que no tienen acceso directo los inspectores o las brigadas de salud. Se ha demostrado que una alta proporción de viviendas cerradas o cuyos habitantes niegan el acceso es un factor determinante para que fracase el control de *A. aegypti* (Chadee, 1988).

Las fases inmaduras del mosquito se desarrollan en recipientes que muchas veces son indispensables para las personas (tanques o tambores para almacenar agua, bebederos de mascotas, etc.). Los mosquitos adultos con su hábito de reposar, picar y hasta de oviponer dentro de las casas lo aísla y lo protege del rociado espacial de insecticidas aplicado desde los exteriores (Castle *et al.*, 1999; Perich *et al.*, 2000).

Otro aspecto importante es que *A. aegypti* puede transmitir los arbovirus aun cuando la densidad poblacional es muy baja. Los modelos matemáticos sugieren que basta con menos de una hembra por persona y día para causar la transmisión local del dengue en zonas a 28 °C con una inmunidad poblacional de entre 0% y 67% (Focks *et al.*, 2000).

Otra característica notoria es la gran capacidad reproductiva de *A. aegypti*, cuyo potencial se maximiza cuando se encuentra a bajas densidades, como ocurre después de las medidas de control. Además, en años recientes se ha descrito con frecuencia el uso de hábitats acuáticos crípticos por parte de *A. aegypti*, como drenajes de aguas pluviales en calles y casas, pozos sépticos, tanques elevados, etc. Estos criaderos no se pueden localizar visualmente por su naturaleza oculta o de difícil acceso, son inmunes a los métodos tradicionales de control vectorial, pueden producir más mosquitos que otros recipientes y conllevan un riesgo de transmisión del dengue (Barrera *et al.*, 2008; Manrique Saide *et al.*, 2013; Russell *et al.*, 1993).

Tal vez el aspecto más crítico en el control de *A. aegypti* es la resistencia de los huevos a la desecación, que pueden permanecer viables en los recipientes por meses. Esta adaptación le confiere una gran “resistencia”, como población, ante las medidas de control y los fenómenos ambientales adversos como las sequías. En la actualidad no existen ovidas comerciales y los larvicidas no tienen la duración suficiente para superar el período que los huevos permanecen viables. En la temporada de secas, muchos lotes de huevos de *A. aegypti* permanecen en latencia en las superficies internas de los recipientes. Iniciada la temporada de lluvias, estos recipientes se saturan de agua hasta alcanzar y cubrir los huevos, efecto que estimula su eclosión. El fenómeno se reproduce masivamente en las reservas de contenedores, produciendo en poco tiempo elevadas poblaciones de adultos de este mosquito. Ello le confiere al *A. aegypti* una gran “resiliencia” o capacidad de recuperarse luego de una perturbación (Barrera, 2015a).

Finalmente, la resistencia a los insecticidas en las poblaciones de *Aedes* compromete la efectividad del control químico de las arbovirosis (Vázquez-Prokopec *et al.*, 2017), lo que resulta particularmente relevante para los programas de control locales, que en su mayoría optan por insecticidas químicos sintéticos como primera opción para el control de mosquitos. En particular, la resistencia del *A. aegypti* a los insecticidas ha tendido en la última década a intensificarse y expandirse geográficamente. A medida que el dengue ha resurgido a escala mundial, el aumento de las intervenciones químicas en respuesta a los brotes grandes y recurrentes, junto con la dependencia a largo plazo de los piretroides para el control urbano de vectores, han sido factores clave del aumento rápido y generalizado de la resistencia a los insecticidas (Ranson *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2016; Vontas *et al.*, 2012).

## 2.2. Vigilancia entomológica

Los programas de vigilancia entomológica tienen en común los propósitos generales de determinar cambios en la distribución geográfica de *A. aegypti*, obtener mediciones relativas de sus poblaciones a lo largo del tiempo, evaluar la cobertura y el impacto de las intervenciones antivectoriales, y monitorear la susceptibilidad y la resistencia de las poblaciones a los principales insecticidas usados en el control vectorial (OPS, 2017). Además, recientemente se ha integrado el monitoreo de la presencia de arbovirus en mosquitos (vigilancia entomoviroológica).

La vigilancia entomológica contempla (potencialmente) el muestreo sistemático de todas las fases del desarrollo de *A. aegypti*: huevo, larva, pupa y adulto. La selección de los indicadores y los métodos de muestreo (incluyendo el esfuerzo de muestreo) dependen de los objetivos de la vigilancia y de los niveles de infestación (cuadro 1) y, sin duda, de las capacidades disponibles para llevarlos a la práctica. En general se recomiendan los índices de pupas y/o de adultos como indicadores de riesgo o de éxito, más que los índices basados en ovitrampas y los muestreos larvarios, dado que los adultos (hembras) representan el último eslabón en la transmisión y tienen un alto valor epidemiológico.

Aunque se ha cuestionado la utilidad y pertinencia de los indicadores larvarios para establecer áreas y niveles de riesgo de transmisión (Bowman *et al.*, 2014), son los más empleados en primera instancia, ya que no requieren mayores habilidades técnicas del personal (se basan en la inspección visual de los contenedores) y son útiles para obtener información a corto plazo. La confiabilidad de los índices larvarios podría verse afectada por la presencia de criaderos crípticos, por lo que se recomienda descartar su existencia dentro del área de estudio (Barrera, 2016).

A pesar de que los indicadores basados en pupas o adultos son los más ambicionados para medir la infestación y el riesgo de transmisión, estableciéndose incluso umbrales de densidad de la transmisión (particularmente de DENV), dichos umbrales no han sido validados por completo en campo ni se ha demostrado sólidamente su capacidad predictiva del riesgo de transmisión (Barrera, 2016).

Recientemente, la vigilancia entomológica de algunos países ha integrado el monitoreo de la susceptibilidad a los insecticidas y la determinación de los mecanismos de resistencia (bioquímicos y moleculares). Dicho monitoreo aporta evidencias para seleccionar los insecticidas, un elemento clave en las estrategias integradas de manejo de la resistencia.

Siguiendo las directrices mundiales (CDC, 2010; OMS, 2013), estos estudios pueden consistir en:

- evaluación de formulaciones o nuevos compuestos para el control (pruebas de eficacia biológica);
- bioensayos para determinar la susceptibilidad e intensidad de la resistencia a los insecticidas;
- determinación de los mecanismos de resistencia con ensayos bioquímicos y pruebas moleculares (detección de mutaciones).

La incorporación de estos estudios en un programa de monitoreo periódico y sistemático permitirá obtener un diagnóstico basal de la resistencia y, con el tiempo, conocer mejor los perfiles de resistencia de las poblaciones locales de mosquitos, algo necesario para adoptar la estrategia más adecuada de manejo de la resistencia (figura 1). Pensando que la resistencia puede ser revertida, aplicar una estrategia de manejo siempre es beneficioso en cuanto a costoefectividad a largo plazo.

Aunque menos común dentro de los programas de control y vigilancia de *A. aegypti*, está la vigilancia de arbovirus en mosquitos adultos, con el objetivo de detectar oportunamente áreas de riesgo de transmisión (mosquitos infectados) que desencadenen una respuesta inmediata de control de manera anticipatoria.

Sumado a todo lo anterior, se ha propuesto el empleo de indicadores no entomológicos, aunque potencialmente asociados con la crianza de mosquitos, que serían indicadores del riesgo de transmisión del virus, tales como la distribución y densidad de las poblaciones humanas, las condiciones socioeconómicas, de vivienda y de servicios públicos, el clima, etc. Dichos indicadores pretenden medir la vulnerabilidad de un área o región geográfica a la transmisión de virus por *A. aegypti*. No obstante, al igual que con los indicadores entomológicos, la sensibilidad y especificidad de los índices de vulnerabilidad no han sido validadas epidemiológicamente. Además, pueden variar entre áreas geográficas de un país, según las diferentes condiciones que definan el riesgo de transmisión de virus.

En todo caso, conviene adoptar los métodos de vigilancia entomológica más informativos en el escenario entomológico-epidemiológico, según las capacidades disponibles para ponerlos en práctica. El método debe adaptarse a los programas locales antes de su aplicación ordinaria. Por último, es preferible adoptar métodos basados en pupas o adultos.

**Cuadro 1. Indicadores entomológicos (métodos disponibles) y principales índices entomológicos para la vigilancia del *A. aegypti*.**

Método de vigilancia	Utilidad	Ventajas	Desventajas	Principales indicadores entomológicos
<b>Muestreos con ovitrampas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveen información sobre la distribución espacial (presencia/ ausencia y agregación) y temporal (fluctuación) de mosquitos hembra.</li> <li>• Monitoreo de la infestación/ reinfestación en áreas libres del vector o de baja transmisión.</li> <li>• Evaluación de intervenciones basadas en el control de adultos.</li> <li>• Proveen material para establecer colonias y realizar estudios de susceptibilidad/ resistencia a insecticidas y/o búsqueda de virus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económicas.</li> <li>• Operadas con poco personal con amplia cobertura en poco tiempo.</li> <li>• Poco intrusivas.</li> <li>• Requieren poco mantenimiento.</li> <li>• Son altamente sensibles para monitorear el impacto de las intervenciones de control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compiten en forma desventajosa con los criaderos existentes, que pueden ser más atractivos, y pueden dar información errónea.</li> <li>• La relación respecto a la abundancia de adultos no es clara.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de ovitrampas positivas (IOP): Número de casas con ovitrampas positivas a <i>Aedes</i> por cada 100 casas.</li> <li>• Índice de huevos por ovitrampa (IHO): Tasa de ovipostura de <i>Aedes</i>.</li> </ul>
<b>Muestreos larvarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer los niveles de infestación (casas y abundancia de criaderos en un universo dado) anteriores a la aplicación de las medidas de control y el impacto de estas, en particular las de control de criaderos con saneamiento específico y/o uso de larvicidas químicos o biológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son las medidas más usadas (y en muchos casos las únicas) para describir el grado de infestación por <i>A. aegypti</i>.</li> <li>• Proporcionan información sobre los hábitats larvarios más abundantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependen de la localización visual de los contenedores en el ambiente doméstico y rara vez se aplican en otros ambientes o espacios públicos, lo que limita la identificación de criaderos crípticos importantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de casas positivas (ICP): Número de casas con <i>Aedes</i> inmaduros por cada 100 casas.</li> <li>• Índice de recipientes positivos (IRP): Número de recipientes con larvas de <i>Aedes</i> por cada 100 recipientes con agua.</li> <li>• Índice larvario de Breteau (IB): Número de recipientes con <i>Aedes</i> inmaduros por cada 100 casas.</li> </ul>

Método de vigilancia	Utilidad	Ventajas	Desventajas	Principales indicadores entomológicos
<b>Muestreos pupales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicador de la abundancia/densidad de mosquitos adultos.</li> <li>Identificación de los criaderos responsables de producir (contener en un momento dado, p. ej., en épocas del año y en ciertos criaderos) la mayor proporción de pupas, lo que sugiere que también producen la mayor proporción de mosquitos adultos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Localiza los criaderos más productivos para enfocar el control sobre ellos.</li> <li>Indica el riesgo de transmisión a través del conteo de pupas y personas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere un muestreo exhaustivo, con la consiguiente inversión de tiempo.</li> <li>Requiere personal entrenado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice pupa/persona por hectárea, manzana.</li> <li>Productividad: Estimación de la importancia relativa de cada tipo de criadero, calculada a partir del porcentaje de pupas de <i>Aedes</i> del total recolectadas por tipo de criadero.</li> </ul>
<b>Muestreos de adultos</b>	<p>Medida directa de la abundancia de adultos, con alto valor epidemiológico, sobre todo si se hace búsqueda de virus.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es el indicador teórico recomendado para medir infestación-contacto-infección-riesgo de transmisión.</li> <li>Proporciona una estimación de la población por unidad de área (vivienda).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede ser un método intrusivo.</li> <li>Requiere inversión de tiempo, equipamiento y personal entrenado, lo que aumenta sus costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice de casas con adultos (ICA): Número de casas con adultos de <i>Aedes</i> por cada 100 casas.</li> <li>Índice de densidad de adultos (IDA): Abundancia relativa del vector <i>Aedes</i>.</li> </ul>

La confiabilidad de la información de los sistemas de vigilancia entomológica estará sujeta a la escala espacial (cobertura) y temporal (frecuencia) en la cual se obtienen los índices. La información obtenida únicamente será válida para el área monitoreada (manzana, barrio, colonia, etc.) y durante el tiempo que se realizaron los muestreos, y no podrá generalizarse a una escala mayor, ya que las condiciones ambientales cambian de un lugar a otro y las poblaciones de mosquitos fluctúan en el tiempo y el espacio (LaCon *et al.*, 2014).



## 2.3. Control vectorial

El propósito del control vectorial es, en general, prevenir la picadura de mosquitos, mantener las poblaciones a densidades “aceptables”, minimizar el contacto vector-humano y reducir la longevidad de las hembras adultas (Foster y Walker, 2002). Cabe esperar que dichas medidas se traduzcan en una reducción de la incidencia, prevalencia y morbimortalidad de las enfermedades a un nivel aceptable (que no rebase la capacidad de atención de los sistemas de salud) o, si es posible, en su eliminación. La erradicación de las poblaciones de *A. aegypti* es posible pero rara vez perdura; por lo tanto, el mandato de los programas de control es controlar, a niveles por debajo de cierto umbral, más que eliminar las poblaciones del vector (McCall y Kittayapong, 2007).

Las estrategias de control de *A. aegypti* se pueden clasificar de la siguiente forma:

- 1. Búsqueda y eliminación:** El agente de control se lleva adonde suponemos que se encuentran los mosquitos e incluye todas las técnicas de control en uso: remoción o modificación de recipientes que acumulan agua en casas y áreas públicas, uso de larvicidas y aplicación de insecticidas en forma espacial y residual. Para que esta estrategia funcione, hay que acceder a la mayoría de los sitios donde esperamos que se críen o reposen los *A. aegypti*.
- 2. Atracción y eliminación:** Esta estrategia emplea atrayentes físicos (color, tamaño), químicos (olor) o ambos para atraer a los *A. aegypti* a estaciones de captura, como las trampas para mosquitos, o a estaciones de alimentación con azúcar con pesticidas (cebo envenenado). Estas técnicas son novedosas y se encuentran en proceso de prueba en condiciones de campo. Para que sean efectivas, se requiere que la trampa sea altamente eficiente, que se distribuyan suficientes trampas por vivienda y que la mayoría de las viviendas sean tratadas. Este tipo de enfoque comienza a mostrar muy buenos resultados (Barrera *et al.*, 2017; Barrera *et al.*, 2018) y su aplicación se presta muy bien a la participación comunitaria, debido a su alto grado de aceptación.
- 3. Autodiseminación del agente de control:** Esta estrategia utiliza a los propios mosquitos, mediante liberaciones masivas, principalmente de machos, como agentes de control para eliminar o esterilizar a los mosquitos que se encuentran en la naturaleza. Por ejemplo, se pueden liberar machos infectados con bacterias u hongos entomopatógenos, contaminantes de ambientes acuáticos con inhibidores de la emergencia de mosquitos adultos y mosquitos irradiados o modificados genéticamente (Alphey *et al.*, 2013; Bellini *et al.*, 2013; Mains *et al.*, 2015; O'Connor *et al.*, 2012; Scholte *et al.*, 2004). Para que estas técnicas sean efectivas es preciso contar con machos con capacidad normal de vuelo y cópula, liberar suficientes machos en proporción a los machos silvestres, liberarlos con la frecuencia adecuada, no liberar hembras junto con los machos y alcanzar una cobertura efectiva, particularmente teniendo en cuenta la limitada dispersión de los adultos de *A. aegypti*.

### 2.3.1. Métodos de control del *Aedes aegypti*

Existen diversos métodos de control, según las etapas del ciclo de vida de *Aedes* en las que inciden (cuadro 2). Su adopción en cada programa operativo depende del contexto cultural y de la capacidad disponible para llevarlos a la práctica. La Organización Mundial de la Salud (2008) promueve que estos métodos se apliquen bajo un esquema de (MIV), consistente en un espectro de intervenciones, a menudo en combinación y aplicadas de manera simultánea (en sinergia) y seleccionadas según el conocimiento de los factores locales que influyen en la biología del vector, la transmisión y la morbilidad de la enfermedad, con la finalidad de optimizar los recursos para el control vectorial (McCall *et al.*, 2009).

El control de *A. aegypti* en la Región de la Américas y Caribe depende de programas de control locales, organizados dentro de los ministerios de salud con cierto nivel de participación comunitaria, para fomentar el control proactivo de los hábitats de inmaduros (p. ej., reduciendo, eliminando, adaptando o modificando los criaderos potenciales) y la adopción de medidas de protección personal apoyadas con campañas educativas, manejo ambiental y legislación como medidas mínimas.

Los principales métodos de control disponibles se presentan en el cuadro 2.

El control físico-químico de inmaduros y adultos de *A. aegypti* es una parte importante de las estrategias integradas para la prevención y el control de las arbovirosis en la mayoría de los países de la Región. Sin embargo, recientemente se ha puesto en entredicho el impacto de estas intervenciones sobre la abundancia de *Aedes* y la transmisión del DENV. La mayoría de los autores concluyen que no hay pruebas sólidas para apoyar la efectividad de las intervenciones de los programas locales de control de vectores (Ballenger-Browning y Elder, 2009; Bowman *et al.*, 2016).

En concreto, se ha cuestionado la eficacia del rociado espacial a ultrabajo volumen o UBV (terrestre o aéreo), y se ha señalado una probabilidad muy baja de contacto para afectar a las poblaciones intradomiciliarias de *A. aegypti* (Castle *et al.*, 1999; Perich *et al.*, 2000). Se recomienda el rociado espacial a UBV como respuesta de emergencia ante los brotes, para reducir rápidamente las poblaciones de mosquitos adultos, pero su efecto es efímero (Esu *et al.*, 2010; Pilger *et al.*, 2010). Su función principal es eliminar los mosquitos adultos que se encuentran infectados, pero no es una herramienta de manejo poblacional del vector. Los últimos datos científicos sugieren que el rociado espacial a UBV dirigido al interior de las viviendas puede tener una eficacia superior al 60% (Gunning *et al.*, 2018) e incluso más del 90% de reducción (Perich *et al.*, 2003) sobre las poblaciones de mosquitos intradomiciliarias.

Una alternativa recomendada recientemente por la Organización Mundial de la Salud son los tratamientos residuales, en particular la modalidad de rociado residual en sitios de reposo de las especies de *Aedes* en el interior de las viviendas. Aunque su laboriosidad en cuanto al

tiempo requerido y los recursos humanos necesarios ha limitado la adopción generalizada en los programas de control, la evidencia demuestra que, cuando se aplica adecuadamente, el rociado residual intradomiciliario puede tener una mayor repercusión sobre la abundancia de mosquitos *A. aegypti* y la transmisión del DENV (Vázquez-Prokopec *et al.*, 2010b; Vázquez-Prokopec *et al.*, 2017) que otros métodos de control de adultos, así como un mayor poder de mortalidad intergeneracional.

Se han observado resultados alentadores con una aproximación un tanto similar, consistente en usar mallas impregnadas con insecticidas de larga duración (con una vida útil de hasta tres años declarada por el fabricante) para controlar las poblaciones de mosquitos vectores. Los resultados de algunos estudios realizados en Haití, Venezuela, México y Guatemala sugieren que las mallas mosquiteras fijas en puertas o ventanas (Che-Mendoza *et al.*, 2015; Che-Mendoza *et al.*, 2018), en forma de cortinas en puertas y ventanas (Lenhart *et al.*, 2008; Rizzo *et al.*, 2012; Loroño-Pino *et al.*, 2013) o como cubiertas de tambos (Kroeger *et al.*, 2006) podrían ser efectivas para reducir las poblaciones de *A. aegypti* dentro de la vivienda, como factor protector ante la presencia del vector. Las mallas de mosquitero fijas en puertas y ventanas, con o sin insecticida, son un factor de protección importante, vinculado a una reducción del número de mosquitos en la vivienda (Waterman *et al.*, 1985; Che-Mendoza *et al.*, 2015). En virtud de estos resultados, algunos países de la Región, particularmente México y el Brasil, están fomentando las “viviendas a pruebas de *Aedes*” (sin criaderos de *A. aegypti* y con malla mosquitera en puertas y ventanas) como elemento central para el MIV en relación con los arbovirus.

Estos estudios demuestran que los métodos de control vectorial, cuando se ejecutan bien, pueden tener un importante impacto entomológico y epidemiológico. En general se acepta que las herramientas y las estrategias existentes son efectivos para reducir la transmisión de las enfermedades vectorizadas por *Aedes*, siempre y cuando se apliquen bien en los programas de control (OMS, 2016).

En cualquier estrategia de control vectorial, es imprescindible incluir siempre el componente de participación comunitaria o movilización social para garantizar una mayor repercusión (Alvarado-Castro *et al.*, 2017; Bowman *et al.*, 2016; Erlanger *et al.*, 2008).

Existe un conjunto de nuevas tecnologías enfocadas a la supresión o sustitución poblacional mediante la liberación masiva de mosquitos irradiados, genéticamente modificados o infectados con bacterias del género *Wolbachia* (cuadro 2). Sin embargo, aún se encuentran en fase de estudio para comprobar su impacto y determinar cómo llevarlas a la práctica. (Se recomienda revisar el documento de la OPS [2018a] sobre la evaluación de nuevas tecnologías para el control de *A. aegypti*.)

**Cuadro 2. Principales métodos disponibles para el control de *A. aegypti* en la Región de las Américas (modificado a partir de OPS, 1994 y McCall y Kittayapong, 2007)**

Método	Descripción	Modo de aplicación	Ejemplos	Impacto
<b>Control químico</b>	Control de estadios inmaduros (huevos, larvas y pupas)	Los larvicidas pueden aplicarse manualmente (cuando el criadero es accesible) o con equipos terrestres o aéreos, para cubrir una mayor área de tratamiento en menor tiempo.	Larvicidas químicos sintéticos (temefós, clorpirifós, fentiión, pirimifós-metilo). <sup>1</sup>  Larvicidas biorracionales: <sup>1</sup> reguladores del crecimiento (metropeno, piriproxifeno), inhibidores de la síntesis de quitina (benzoilfenilureas), derivados de toxinas bacterianas ( <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i> y <i>spinosad</i> ).	Su eficacia es mayor cuando los inmaduros se encuentran restringidos a criaderos accesibles y limitados en tamaño y número.
	Control de adultos	Los adulticidas pueden aplicarse como tratamientos residuales sobre superficies dentro y fuera de las viviendas (rociado residual con bombas manuales) o como tratamientos espaciales (rociado espacial a UBV en frío o térmico, con equipos portátiles o manuales, montados en vehículos terrestres o aéreos). <sup>2</sup>	La mayoría de los programas locales realizan el control de adultos con insecticidas —con los principales grupos químicos: piretroides, organofosforados y carbamatos— recomendados por el plan de evaluación de plaguicidas de la Organización Mundial de la Salud (WHOPES), tanto para fumigación de interiores como exteriores <sup>3</sup> o con los aceptados por las autoridades locales en cada país.	La nebulización a UBV busca reducir de manera inmediata las densidades de mosquitos hembra, su longevidad y otros parámetros de transmisión; está recomendada en situaciones epidémicas, pero su efecto es efímero.  El rociado residual busca reducir el contacto vector-virus-humano mediante una barrera química intradomiciliaria <sup>4</sup> que actúe por tiempo prolongado (3-6 meses), eliminando, disuadiendo o repeliendo a los mosquitos.

<sup>1</sup> Más información en [http://www.who.int/whopes/Mosquito\\_Larvicides\\_Sept\\_2012.pdf](http://www.who.int/whopes/Mosquito_Larvicides_Sept_2012.pdf)

<sup>2</sup> OMS, 2003a.

<sup>3</sup> OMS, 2006.

<sup>4</sup> OMS, 2015.

Método	Descripción	Modo de aplicación	Ejemplos	Impacto
	Protección personal	Insecticidas domésticos y comerciales (aerosoles, espirales y vaporizadores), repelentes (naturales o sintéticos), materiales impregnados o no con insecticidas (pabellones, cortinas y mallas mosquiteras) y pinturas que liberan insecticidas (menos frecuente).	<p>Larvicidas químicos Los insecticidas comerciales de uso doméstico son los productos que más se utilizan. En su gran mayoría, el principal ingrediente activo es un piretroide.</p> <p>Los repelentes recomendados son los de ingredientes activos como los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DEET (N,N-dietil-3-metilbenzamida);</li> <li>• IR3535 (éster etílico del ácido 3-[N-acetil-N-butil]-aminopropiónico);</li> <li>• picaridina, también denominada KBR 3023 e icaridina (éster 2-(2-hidroxietil)-1-metilpropílico del ácido 1-piperidincarboxílico);</li> <li>• aceite de <i>Corymbia citriodora</i> (eucalipto olor de limón) o P-mentano-3,8-diol (PMD).<sup>5</sup></li> </ul>	Pueden reducir el contacto vector-humano de dos maneras: funcionando como una barrera física y por su efecto insecticida o repelente.
<b>Control biológico</b>	Control de estadios inmaduros (larvas y pupas)	Introducción de organismos que parasitan, compiten o de alguna manera reducen las poblaciones de la especie.	Restringido al uso de algunas especies de peces, <sup>6</sup> por ejemplo los géneros <i>Gambusia</i> y <i>Poecilia</i> (Poeciliidae) y los copépodos (Copepoda: Cyclopoidea), <sup>7</sup> preferentemente autóctonas.	Aunque su eficacia ha sido probada en el contexto operacional en hábitats y contenedores específicos, rara vez a gran escala, se usan poco en la Región de las Américas.

<sup>5</sup> Confieren una protección de 3-7 horas, dependiendo de la concentración de estos ingredientes (Rodríguez *et al.*, 2017; Uc-Puc *et al.*, 2016).

<sup>6</sup> OMS, 2003b.

<sup>7</sup> Benelli *et al.*, 2016.

Método	Descripción	Modo de aplicación	Ejemplos	Impacto
Manejo ambiental	Modificación	Transformaciones físicas permanentes en las características de los hábitats de los inmaduros.	Instalación de una red de suministro confiable de agua potable entubada, servicios de recolección domiciliaria frecuente y destino final de residuos sólidos, relleno o nivelación permanente de hábitats (pisos y techos inundados), drenaje de espacios públicos.	Busca modificar el ambiente para prevenir o minimizar la propagación del vector y el contacto vector-humano mediante la destrucción, la alteración, la eliminación o el reciclaje de contenedores inservibles (no útiles) que funcionan como hábitats del vector. <sup>8</sup>
	Manipulación	Cambios temporales que afectan a los principales elementos de los hábitats del vector.	Campañas masivas de eliminación, limpieza, reciclaje, almacenaje y destrucción de residuos sólidos con participación comunitaria, incluyendo limpieza (lavado de interiores) y manipulación (protección física, uso de mallas o tapas) de los contenedores.	
	Cambios estructurales en los refugios o viviendas humanas y en la conducta humana	Acciones para reducir el contacto humano-vector, como instalación de mallas mosquiteras en ventanas, puertas y otros puntos de entrada y uso de pabellones mientras se duerme durante el día.	Instalación de mallas mosquiteras en puertas y ventanas u otros puntos de acceso, pinturas y recubrimiento de paredes para eliminar hábitats y refugios naturales.	
Nuevas tecnologías	Control de adultos		Liberación de machos infectados con bacterias del género <i>Wolbachia</i> . Liberación de mosquitos genéticamente modificados. Mosquitos esterilizados mediante radiación. Autodiseminación por mosquitos autocidas.	En fase de evaluación mediante estudios piloto de campo en la Región de las Américas: Brasil, Colombia, México, Cuba y Estados Unidos

<sup>8</sup> OMS, 1982.

## 3 Escenarios operativos para el abordaje de la vigilancia y el control del *Aedes aegypti*

### 3.1. Estrategias de vigilancia, prevención y control

Los programas locales de control de vectores a menudo utilizan la información epidemiológica y entomológica disponible dentro del sistema de vigilancia integrada con el fin de evaluar, identificar y priorizar las áreas de riesgo para introducir las intervenciones de control vectorial (Hernández Ávila *et al.*, 2013). A grandes rasgos, las estrategias de MIV que contemplan los programas son las siguientes:

- **Acciones de prevención rutinaria.** Cuando no hay transmisión de la enfermedad (condiciones interepidémicas), las acciones se concentran en sitios de transmisión reciente (con el fin de eliminar la infección por transmisión vertical) o en áreas de elevado riesgo entomológico (definidas por la vigilancia entomológica). Como parte del manejo ambiental, algunos programas realizan campañas o jornadas masivas de eliminación de hábitats de cría (criaderos) con participación de la comunidad, ya sea con fines preventivos o antes de que aparezcan casos, estrategias que pueden tener un efecto inmediato en la reducción de potenciales sitios de reproducción de los mosquitos (Barrera Pérez *et al.*, 2015).
- **Respuesta ante la notificación de casos.** Ante la notificación de casos, se realizan acciones de control focalizadas en el perímetro de la vivienda del caso (hasta 300 m a la redonda). El tratamiento focalizado es un elemento central del control de la transmisión en sus primeras fases, en vista de la evidencia inicial sobre la transmisión peridoméstica del DENV en torno al caso índice (Martínez Vega *et al.*, 2015). Una vez que se ha establecido la cadena de transmisión, el DENV se disemina en la comunidad por la movilidad de los casos. El tratamiento focalizado consiste en el ataque intensivo del domicilio del caso sospechoso o confirmado, con un espectro de intervenciones, a menudo en combinación y aplicadas de manera simultánea (en sinergia). La efectividad de este enfoque depende en

gran medida de la detección precoz del caso y de la documentación epidemiológica sobre el posible lugar de la infección. Esta técnica se ha usado con éxito en áreas no endémicas donde cada caso es investigado en profundidad, incluyendo los lugares visitados en días anteriores a los síntomas (trabajo, casas de familiares). Una gran limitación es que la mayoría de las infecciones por DENV y ZIKV no producen síntomas, pero las personas asintomáticas pueden infectar a los mosquitos.

- **Respuesta a los brotes (respuesta de emergencia).** Comprende un conjunto de acciones sincronizadas de control vectorial de amplia cobertura, que abarcan uno o varios sectores de la ciudad o localidad (barrios, colonias o áreas), cuando la transmisión es generalizada o persistente y el número de casos comunicados rebasa la capacidad de respuesta de la atención focalizada al caso. Rara vez abarcan toda la localidad, debido a los costos que conlleva, pero hay ejemplos de rociado espacial con aviones. Generalmente se trata de acciones de acción inmediata para reducir las poblaciones de mosquitos adultos y por ende la transmisión. Dado que las epidemias pueden prolongarse varios meses, siempre se intensifican las medidas de control rutinarias.

Una de las principales limitaciones de los programas de control de *A. aegypti* es que tienden a ser reactivos, es decir, se despliegan en respuesta a la notificación de casos clínicamente aparentes (según las definiciones operacionales de “caso”), dirigiendo las acciones de control vectorial al perímetro de la residencia habitual del caso. Además, dependen en gran medida de intervenciones con insecticidas químicos, principalmente el rociado espacial a UBV o, en algunos casos, diferentes acciones de control (tanto químico como físico) sincronizadas en un área definida de riesgo. Estas intervenciones se ven enormemente limitadas durante los grandes brotes, en términos de personal y recursos, lo cual se suma al infrarregistro y a los retrasos en la notificación de casos propios de los sistemas de vigilancia pasiva (Vázquez-Prokopec *et al.*, 2010a).

En este sentido, muchas de estas intervenciones de control rutinarias no han tenido los resultados deseados (Bowman *et al.*, 2016; Horstick *et al.*, 2010), por causa de la cobertura insuficiente, por los efectos transitorios, por la falta de implementación como estrategia integrada y, por último, pero no menos importante, porque suelen ser intensos solo durante los períodos de transmisión, es decir, en situaciones de emergencia. La sostenibilidad del programa es clave, ya que las poblaciones de mosquitos se recuperan rápidamente una vez que los métodos de prevención se relajan (Nathan, 2012).

La evidencia indica que, para garantizar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de un programa de control de *A. aegypti*, es esencial que exista una colaboración entre las instancias de gobierno locales y las comunidades afectadas (Espinoza Gómez *et al.*, 2002; Pilger *et al.*, 2010).



Por otro lado, los recursos no son suficientes para cubrir todas las zonas urbanas. Los programas locales de control deben avanzar con la utilización de los sistemas de información, para tomar decisiones que incluyan datos epidemiológicos, entomológicos y de otra índole, de manera que sea posible identificar prioridades (áreas o períodos de riesgo) y aplicar intervenciones con especial énfasis en las áreas y períodos de mayor riesgo.

Bisanzio *et al.* (2018) utilizaron datos históricos de casos de dengue, chikungunya y Zika para encontrar los puntos calientes de transmisión de dengue, que se asociaron con las zonas de introducción y agregación de las otras dos enfermedades. La información rutinariamente colectada para fundamentar las decisiones tiene un valor agregado que actualmente se desaprovecha en el control de *Aedes*.

Finalmente, el desarrollo de escenarios operativos donde se demarquen las áreas y los períodos de mayor riesgo abre la oportunidad para introducir acciones proactivas (preventivas) y no reactivas, maximizando el impacto sobre la transmisión de arbovirus. Los modelos señalan que las intervenciones químicas de demostrada eficacia (como el rociado residual intradomiciliario con insecticidas a los que no sean resistentes las poblaciones de mosquitos) podrían reducir en casi el 90% los casos de dengue en el primer año y en un 78% anual en los primeros cinco años consecutivos, siempre que se apliquen con una cobertura amplia (al menos el 75% de las viviendas tratadas una vez al año) y con carácter proactivo (antes de la temporada de mayor transmisión) (Hladish *et al.*, 2018).

### 3.2. Estrategias de vigilancia, prevención y control según escenarios operativos

La construcción de los escenarios genéricos para la vigilancia, la prevención y el control de *A. aegypti* es el punto de partida para determinar, ante cada posible escenario, la estrategia de intervención más costoefectiva que permita racionalizar los recursos.

Un primer paso, a una escala macro, es catalogar o estratificar las localidades dentro de un país o distrito. Para ello se debe contar con información sobre las variables ambientales y sociodemográficas y los antecedentes entomológico-epidemiológicos. La construcción de los escenarios se debe basar en los riesgos de transmisión. Un elemento sustantivo de esta clasificación es la disponibilidad de datos de incidencia del DENV como variable principal para definir los diferentes escenarios, ya que es una variable disponible en la mayoría de los países y muy sencilla de obtener con un sistema de vigilancia epidemiológica mínimamente estructurado (basado en la comunicación de casos clínicos por la red de unidades de salud y la confirmación de los casos por serología, vigilancia clínica y laboratorio).

En este sentido, los responsables de tomar decisiones deberán tener en cuenta los registros históricos de transmisión en cada área para ubicar el escenario de riesgo. Así, se han sugerido los siguientes escenarios para el control de *A. aegypti* en la Región de las Américas (OPS, 2018c):

- Áreas sin transmisión pero con riesgo entomológico (solo presencia de *A. aegypti*): Áreas urbanas sin registro de casos autóctonos de DENV y con presencia limitada de poblaciones del vector en los domicilios.
- Áreas de transmisión baja del DENV: Áreas urbanas con incidencia inferior a la media en los últimos cinco años, según los datos generados por el sistema de vigilancia epidemiológica. La transmisión es ocasional y hay poblaciones establecidas del vector, pero limitadas.
- Áreas de transmisión intermedia de DENV: Áreas urbanas con incidencia inferior a la media en al menos tres de los últimos cinco años, según los datos generados por el sistema de vigilancia epidemiológica. Con poblaciones establecidas del vector, la transmisión es fuertemente estacional y se concentra en el período (semanas) que define la temporada de lluvias.
- Áreas de transmisión alta de DENV: Áreas urbanas con incidencia superior a la media en al menos tres de los últimos cinco años, según los datos generados por el sistema de vigilancia epidemiológica. Hay poblaciones establecidas del vector, transmisión persistente y diversos brotes durante el año, con un comportamiento estacional, y se comunican casos graves.
- Áreas de epizootia: Áreas urbanas con presencia de los vectores *A. aegypti* o *A. albopictus*, próximas a áreas silvestres con registro de primates no humanos muertos o enfermos de fiebre amarilla.

**Cuadro 3. Variables o indicadores mínimos relacionados con las características epidemiológicas, factores relacionados con el vector y factores demográficos, por escenario operativo, que deben contemplarse en los sistemas de información y vigilancia de los países**

Componentes	Escenarios				
	Sin transmisión	Transmisión baja	Transmisión intermedia	Transmisión alta	Epizootia
<b>Características epidemiológicas</b>	Identificación del período de mayor riesgo y ubicación de grupos vulnerables al DENV, el ZIKV y el CHIKV (niños, ancianos y embarazadas).	Tasa de incidencia de DENV, ZIKV y CHIKV por semana epidemiológica, por grupo etario y por localidad. <i>Vigilancia en la etapa de transmisión.</i>	Tasa de incidencia de DENV, ZIKV y CHIKV por semana epidemiológica, por grupo etario, por localidad. Tasa de hospitalización y letalidad. Proporción de casos por tipo de arbovirus. <i>Vigilancia continual</i>	Tasa de incidencia de DENV, ZIKV y CHIKV por semana epidemiológica, por grupo etario, por localidad. Tasa de hospitalización y letalidad. Proporción de casos por tipo de arbovirus. Proporción de coinfecciones por arbovirus. <i>Vigilancia continua.</i>	Incidencia acumulada de casos de fiebre amarilla en primates no humanos. Incidencia acumulada de casos en humanos. <i>Vigilancia en la etapa de transmisión.</i>

Componentes	Escenarios				
	Sin transmisión	Transmisión baja	Transmisión intermedia	Transmisión alta	Epizootia
<b>Factores relacionados con el vector</b>	<p>Índice de positividad de ovitrampas (IPO).</p> <p>Índice de densidad de huevos (IDO).</p> <p>Susceptibilidad a los insecticidas: bioensayos.</p> <p><i>Vigilancia en sitios de riesgo.</i></p>	<p>Índice de positividad de ovitrampas (IPO).</p> <p>Índice de densidad de huevos (IDO).</p> <p>Índices larvarios: Índice de casas (IC), índice de Breteau (IB), índice de tipo de recipientes (ITR).</p> <p>Caracterización de los tipos de hábitats larvarios.</p> <p>Susceptibilidad a los insecticidas: bioensayos.</p> <p><i>Vigilancia en la etapa de transmisión.</i></p>	<p>Índice de positividad de ovitrampas (IPO).</p> <p>Índice de densidad de huevos (IDO).</p> <p>Índices larvarios: Índice de casas (IC), índice de Breteau (IB), índice de tipo de recipientes (ITR).</p> <p>Caracterización de los tipos de hábitats larvarios.</p> <p>Factores de riesgo ambientales (p. ej., lotes baldíos, cementerios, llanteras, mercados, áreas con alta movilidad y concentración poblacional).</p> <p>Susceptibilidad a los insecticidas: bioensayos.</p> <p><i>Vigilancia continual</i></p>	<p>Índice de positividad de ovitrampas (IPO).</p> <p>Índice de densidad de huevos (IDO).</p> <p>Índices larvarios: Índice de casas (IC), índice de Breteau (IB), índice de tipo de recipientes (ITR).</p> <p>Caracterización de los tipos de hábitats larvarios.</p> <p>Índices de pupas y/o adultos: abundancia de adultos por vivienda y/o identificación de criaderos productivos.</p> <p>Vigilancia entomoviológica (diagnóstico de virus en mosquitos).</p> <p>Factores de riesgo ambientales (p.ej., lotes baldíos, cementerios, llanteras, mercados, áreas con alta movilidad y concentración poblacional).</p> <p>Susceptibilidad a los insecticidas: bioensayos, pruebas bioquímicas y moleculares.</p> <p><i>Vigilancia continua.</i></p>	<p>Índice de positividad de ovitrampas (IPO).</p> <p>Índice de densidad de huevos (IDO).</p> <p>Caracterización de los tipos de hábitats larvarios.</p> <p>Susceptibilidad a los insecticidas: bioensayos.</p> <p><i>Vigilancia en sitios de riesgo.</i></p>

Componentes	Escenarios				
	Sin transmisión	Transmisión baja	Transmisión intermedia	Transmisión alta	Epizootia
<b>Factores demográficos</b>	Tamaño de la población (habitantes). Densidad de población (habitantes/km <sup>2</sup> ). Porcentaje de población urbana (%). Total de viviendas.	Tamaño de la población (habitantes). Densidad de población (habitantes/km <sup>2</sup> ). Porcentaje de población urbana (%). Total de viviendas. Porcentaje de mujeres en edad fértil (%).	Tamaño de la población (habitantes). Densidad de población (habitantes/km <sup>2</sup> ). Porcentaje de población urbana. Total de viviendas. Porcentaje de mujeres en edad fértil (%). Porcentaje de población migrante (%).	Tamaño de la población (habitantes). Densidad de población (habitantes/km <sup>2</sup> ). Porcentaje de población urbana. Total de viviendas. Porcentaje de mujeres en edad fértil. Porcentaje de población migrante. Porcentaje de viviendas sin agua entubada. Porcentaje de viviendas sin recolección de basura. Proporción de mujeres embarazadas por manzana, barrio o área.	Abundancia de primates no humanos en la zona y número de primates con enfermedad compatible con fiebre amarilla; número de primates no humanos muertos por fiebre amarilla.

### 3.2.1. Sistemas de información y vigilancia según escenarios

Es importante establecer las variables mínimas necesarias que deben contemplarse en los sistemas de información y vigilancia de los países en cada uno de los escenarios de riesgo definidos. Las variables se pueden agrupar en tres clases: 1) características epidemiológicas; 2) factores relacionados con el vector; y 3) factores demográficos humanos. En el cuadro 3 se enumeran varios indicadores para incluir en la construcción de un modelo conceptual; abarcan desde prácticas simples, cotidianas y de bajo costo (p. ej., vigilancia pasiva de casos, uso de ovitrampas restringido a áreas de riesgo), prácticas que son técnicamente más elaboradas y costosas (p. ej., muestreo entomológico y definición de riesgos ambientales) y acciones muy especializadas y de alto costo que requieren de personal capacitado (p. ej., identificación de virus en mosquitos, detección de coinfecciones en humanos y estudios moleculares para determinar el perfil de resistencia a los insecticidas en las poblaciones de mosquitos). Estos indicadores deben ajustarse a cada país, teniendo en cuenta la disponibilidad y la calidad de los datos.

### 3.2.2. Intervenciones según escenarios

Si bien no existe una sola estrategia uniforme de vigilancia y control que sea aplicable a todos los escenarios, pueden agruparse y describirse actividades generales para cada situación. En orden de menor a mayor complejidad según los escenarios definidos, el paquete de intervenciones comprendería los elementos siguientes (véase el cuadro 4):

- Manejo ambiental y legislación.
- Control y eliminación física de criaderos con promoción de la salud y participación comunitaria (campañas educativas).
- Tratamiento físico-químico o biológico de hábitats, focalizado en recipientes importantes (criaderos productivos).
- Tratamiento focalizado en los casos (perímetro de 100-300 m).
- Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.
- Nuevas tecnologías que han demostrado impacto epidemiológico.

**Manejo ambiental y legislación.** La persistencia de la transmisión en los grandes centros urbanos se asocia, en parte, con deficiencias en el saneamiento doméstico y los servicios de distribución de agua entubada y recolección de desechos sólidos. La nueva visión se orienta a lograr que la comunidad conozca los riesgos ambientales en su entorno doméstico y laboral. Asimismo, es preciso incorporar a los municipios o departamentos para fomentar la participación social organizada a medio plazo, resolver las deficiencias en los servicios de agua y residuos sólidos y reducir los riesgos ambientales. Por ejemplo, pueden adoptarse intervenciones legales, en el marco legislativo y normativo de salud pública, para reducir los riesgos ambientales en establecimientos que comporten un riesgo alto para la población adyacente: llanteras, talleres, hojalaterías, deshuesaderos, chatarrería, plantas de reciclaje de envases de PET (politereftalato de etileno), lotes baldíos, etc.

La responsabilidad del control de los vectores no solo debe recaer en el sector de la salud, sino en todos los sectores, incluidas las autoridades locales o municipales. El sector de desarrollo humano y vivienda puede fomentar el uso de mosquiteros o miriñaques en puertas y ventanas, como mejora de la calidad de las viviendas y prevención de enfermedades vectoriales (Vázquez-Prokopec *et al.*, 2016). Es fundamental que se constituyan comités o consejos locales de salud, que albergarán las reuniones con el gobierno regional o local, las unidades de salud, los centros educativos, las entidades públicas y privadas y las instituciones religiosas, para la promoción y sensibilización contra las arbovirosis. Asimismo, en el seno de estas reuniones se realizan acuerdos para aplicar las estrategias y se pactan colaboraciones, aunando esfuerzos multidisciplinarios para obtener resultados óptimos e integrales.

**Control y eliminación de criaderos con promoción de la salud y participación comunitaria.** Se debe privilegiar la participación social activa y organizada para destruir los criaderos de mosquitos mediante campañas educativas permanentes. Esto es especialmente relevante en áreas donde *A. aegypti* se cría en pequeños recipientes inservibles en las viviendas o en lugares que acumulan posibles criaderos, como cubiertas de vehículos, basureros, estaciones de reciclaje, etc.

**Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes (criaderos productivos).** El tratamiento físico o químico de los hábitats o criaderos es quizá la medida de prevención más efectiva para reducir la densidad de las poblaciones de *A. aegypti*. Sin embargo, el universo de trabajo puede ser extenso y no siempre abarcable. Contra la expansión de los criaderos, se propone la focalización de las acciones sobre los más productivos. El empleo de la información sobre la productividad pupal de los diferentes tipos de criaderos ha sido evaluada con éxito en diferentes países para identificar los tipos de criaderos más productivos (contenedores clave). El conteo de pupas y personas (vigilancia pupal-demográfica) es una técnica para recabar información sobre la importancia epidemiológica de los diferentes contenedores con agua que están relacionados con el riesgo de transmisión y sobre el grado de supresión necesario para limitar dicha transmisión (Focks, 2003). Estos estudios son útiles para ponderar la relevancia de los criaderos y desarrollar una estrategia enfocada a los más productivos. Se recomienda realizar al menos dos estudios pupales, uno previo y otro posterior a la estación de lluvias. La clasificación de los criaderos según su productividad redundará en un control más efectivo y económico si las medidas aplicadas tienen en consideración los criaderos más importantes.

**Tratamiento focalizado de casos (perímetro de 100-300 m).** El tratamiento focalizado consiste en el ataque intensivo del domicilio del caso sospechoso o confirmado, con un espectro de intervenciones, a menudo en combinación y aplicadas de manera simultánea (en sinergia), que pueden incluir:

- Eliminación de criaderos, reduciendo físicamente su número o aplicando larvicidas químicos o biorracionales.
- Rociado espacial a UBV (con equipos montados en vehículos o portátiles) perifocal o en el área que circunda la vivienda del caso. Las aplicaciones pueden ser por la mañana o crepusculares, en solo una aplicación o en varios ciclos de aplicaciones semanales.
- Rociado intradomiciliario, que puede aplicarse en forma residual (rociado rápido en sitios de refugio y reposo de *Aedes*) o a UBV, en frío o térmico en la vivienda del caso y en su periferia (casas o manzanas aledañas). Para más detalles sobre el rociado residual, se puede consultar el manual de la OPS de rociado residual intradomiciliario en zonas urbanas (OPS, 2018b).
- Promoción de medidas preventivas a nivel de la vivienda y de protección personal (p. ej., uso de pabellones en grupos vulnerables, como embarazadas).

**Aplicaciones de rociado espacial a UBV con amplias coberturas.** Estas intervenciones se reservan para brotes o epidemias cuando los casos comunicados rebasan la capacidad del tratamiento focalizado (control de emergencia). El rociado espacial a UBV como medida de respuesta temprana debe restringirse a las zonas con transmisión y de alto riesgo (véase más adelante).

**Nuevas tecnologías.** El tipo de tecnología y su aplicación dependerá de la capacidad de la infraestructura y del personal técnico del programa. Para más información sobre las nuevas tecnologías, se puede consultar el informe de OPS sobre el tema (OPS, 2018a).

**Cuadro 4. Intervenciones integradas de control vectorial o paquete de intervenciones conforme a cada escenario operativo**

Escenarios	Paquete de intervenciones
<b>Sin transmisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> </ul>
<b>Transmisión baja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> </ul>
<b>Transmisión intermedia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> </ul>
<b>Transmisión alta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> <li>• Nuevas tecnologías.</li> </ul>
<b>Epizootia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos (humanos).</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> </ul>

Como guía de estratificación del riesgo, la sección siguiente presenta algunos métodos empleados para demarcar o clasificar las áreas de riesgo, paso fundamental para definir las intervenciones por prioridad según el riesgo y su temporalidad en el interior de los escenarios.



## 4 Estratificación del riesgo en el interior de los escenarios

Una vez definido el escenario operativo para la vigilancia, la prevención y el control de *A. aegypti*, surge la pregunta: ¿hacia dónde deben dirigirse las acciones? O, bien ¿dónde deben reforzarse?

La respuesta está en estratificar, es decir, categorizar o clasificar la información con el objeto de establecer órdenes de importancia. La estratificación permite dilucidar dónde se produce la mayor cantidad o proporción de casos (suponiendo que la distribución de los casos no sea homogénea entre los estratos), demarcando así las zonas de mayor riesgo. Es habitual que los programas estratifiquen las localidades de alto riesgo de transmisión según los antecedentes, principalmente de DENV, la persistencia de casos en la localidad y la población en riesgo (Gómez Dantés *et al.*, 2011). La estratificación espacial<sup>9</sup> también puede servir para identificar el riesgo en el interior de las localidades, a nivel de unidades administrativas, es decir, de colonia o barrio, zona, sector u otro nivel administrativo, manzana, etc.

En las ciudades donde el dengue es endémico, se ha demostrado que algunas áreas siempre muestran la mayor incidencia y persistencia de transmisión en el tiempo (Bisanzio *et al.*, 2018; Barrera *et al.*, 2000). Por ejemplo, el 70% de todos los casos de dengue notificados durante varios años en San Juan (Puerto Rico) se concentraron en el 35% del área urbana (Barrera *et al.*, 2000). Estas áreas presentan mayores deficiencias en servicios públicos, más mosquitos por vivienda y mayor concentración de personas (Barrera *et al.*, 2002).

De la misma manera, en Mérida (México), los puntos calientes de transmisión de dengue (que concentran el 50% de los casos en el 30% de la ciudad) se asociaron estadísticamente con los puntos calientes de chikungunya y Zika, mostrando una alta coherencia espacial en la distribución de los tres virus (Bisanzio *et al.*, 2018).

<sup>9</sup> La estratificación puede ser a escalas no espaciales (p. ej., los casos pueden estratificarse por sexo, edad, nivel socioeconómico, etc.) y espaciales (geográficas).

Cabe prever que el control efectivo de *A. aegypti* y de la transmisión de arbovirus en los puntos calientes disminuya la exportación de mosquitos y virus a otras zonas de la ciudad, donde las condiciones para la transmisión no son tan favorables, causando una disminución de la enfermedad en áreas no tratadas (Barrera *et al.*, 2000; Vanlerberghe *et al.*, 2017).

El reconocimiento de los puntos calientes a partir de los antecedentes de infecciones es una herramienta importante para establecer programas de prevención de epidemias y desarrollar estrategias más eficientes y costoefectivas.

## 4.1. Estratificación espacial

Para la estratificación a nivel de ciudad o localidad, se requieren métodos analíticos y teóricos, con el objeto de estudiar los patrones espaciales de la incidencia o mortalidad de un evento de salud. Estos patrones pueden presentarse como agregaciones espaciales “inusuales” de casos de una enfermedad (conglomerados o clusters) o áreas que concentran una cantidad desproporcionada de casos (puntos calientes o *hotspots*) (Lawson, 2010).

Estos patrones pueden identificarse con métodos descriptivos sencillos, como la observación y el análisis visual de la información (datos históricos de casos, incidencias o datos entomológicos), auxiliados con mapas (visualización de los datos espaciales) o con análisis espaciales más complejos como los estudios de correlación geográfica (análisis ecológico) y agrupamiento de la enfermedad (cuadro 5). A diferencia de los visuales, los métodos estadísticos permiten determinar con mayor certeza si los patrones inusuales son, en efecto, producto de una distribución desproporcionada de casos dentro de determinadas áreas de la localidad.

El principal objetivo de la epidemiología espacial es conocer el patrón espacial de las enfermedades, es decir, determinar si los eventos de salud se distribuyen de manera regular, aleatoria o agregada en tiempo y espacio (Tango, 2010). Estos eventos de salud podrían identificarse como casos de arbovirus (pacientes confirmados clínicamente o por laboratorio).

Antes de cualquier análisis, es importante identificar el tipo de datos con los que contamos (en relación con los casos) para realizar la estratificación espacial:

- **Datos de áreas.** Los datos espaciales son el número de casos por subunidades espaciales con límites bien definidos, dentro de una unidad mayor: por ejemplo, casos georreferenciados de DENV agregados en subunidades como barrios dentro de la unidad superior de la ciudad. Los datos también se pueden agregar en subunidades arbitrarias de formas regulares, como cuadrículas (*grids*) o cualquier otra forma geométrica.
- **Datos de puntos georreferenciados (patrón de puntos espaciales).** Los datos son los casos que cuentan con el registro de sus coordenadas geográficas (generalmente del domicilio habitual del enfermo). Estos datos espaciales se generan al transformar los

datos epidemiológicos (direcciones de la incidencia de los casos) a datos espaciales. Generalmente, los sistemas de salud registran los casos con una dirección física (número de casa, calle, cruzamientos, código postal, localidad, municipio, provincia o estado, etc.) y la ubicación física se transforma a información geográfica, en un proceso llamado geocodificación, en forma de latitud y longitud. Para ello se emplean herramientas de información geográfica de acceso libre.

**Cuadro 5. Principales métodos para estudiar los patrones espaciales de un evento de salud, ordenados de menor a mayor dificultad, requerimiento de datos y poder de cálculo; modificado de Vázquez-Prokopec (2018)**

Métodos	Cartografía de incidencia y distribución de casos	Interpolación (densidad de kernel, kriging)	Análisis de puntos calientes (LISA, Gi*)	Modelos de efectos espaciales (GLMM, CAR, SAR, GWR)	Modelos matemáticos y de simulación
Ejemplos	Mapas de incidencia, conteo de casos, casos individuales.	Densidad de huevos de Aedes o casos (número/habitantes), mapas de densidad de prevalencia (densidad de casos/densidad de población).	Puntos calientes y fríos de incidencias, conglomerados de alta abundancia de mosquitos.	Tasas de incidencia posterior.	Número de susceptibles, infecciones en incubación e inmunidad de personas y mosquitos.
Ventajas	Rápido, obtenido directamente de las bases de datos.	Rápido, obtenido de las bases de datos con un mínimo de análisis de la información.	Parametrización de datos que requieren conocimientos previos pero no habilidades sofisticadas.	Informa sobre asociaciones espaciales, efectos y flujos temporales e inmunidad colectiva.	Flexibilidad máxima e interacciones o efectos espaciales.
Desventajas	Escasa potencia para detectar conglomerados, subjetiva.	Sin evaluación estadística, propenso a sesgos si el ancho de banda no se establece correctamente.	Debe validarse con datos de campo, propenso a resultados nulos ante la ausencia de datos ("ND").	Escala dependiente (escala de datos), propenso a resultados nulos con datos muy dispersos; requiere un alto nivel de capacitación.	Muchas decisiones para la estimación de parámetros, afectadas por la incertidumbre; requiere analista altamente capacitado.

**LISA:** *local indicators of spatial association* (indicadores locales de asociación espacial); **Gi\*:** Estadístico de Getis-Ord; **GLMM:** *generalized linear mixed models* (modelos mixtos lineales generalizados); **CAR:** *conditional autoregressive models* (modelos autorregresivos condicionales); **SAR:** *spatial autoregression* (autorregresión espacial); **GWR:** *geographically weighted regression* (regresión con ponderación geográfica).

Los casos georreferenciados pueden agregarse a un subnivel administrativo y convertirse en datos de área mediante un proceso llamado “unión espacial” (*spatial joint*) dentro de una plataforma de sistema de información geográfica (SIG). Una de las virtudes del uso de plataformas de información geográfica es que integran datos de diferentes fuentes, que permiten asociar datos entomológicos, como colectas de mosquitos (huevos o adultos), con información epidemiológica y demográfica humana.

Existen varios métodos para identificar las áreas de riesgo de transmisión de dengue y otras enfermedades vectorizadas por *Aedes*. Estos métodos no solo tienen ventajas y desventajas, sino que también dependen del tipo de datos con los que se cuenta (cuadro 5). Aquí daremos tres ejemplos de diferentes alternativas, teniendo en consideración que el requisito principal es que empleen métodos estadísticos robustos.

Un ejemplo de un análisis espacial descriptivo, apoyado con SIG y análisis de correlaciones estadísticas, es el estudio realizado en Maracay (Venezuela) por Barrera *et al.* (2000) para encontrar puntos calientes por sectores o barrios. Se consideró como variable de estratificación la persistencia de la transmisión por barrio, es decir, el número máximo de meses consecutivos que un barrio presentó casos de dengue. Los casos se agregaron a nivel de barrio en hojas de cálculo y posteriormente se exportaron a un SIG para su análisis y representación gráfica. El resultado fue la estratificación del área urbana y la clasificación de los barrios según la prevalencia y la persistencia del dengue entre 1993 y 1998. A partir de relaciones lineales simples (correlación de Pearson), los autores encontraron que, en ese sexenio, los barrios con mayor número de casos de dengue también registraron el mayor número de casos hemorrágicos por dengue (correlación positiva y significativa entre casos de dengue y casos hemorrágicos) y que los barrios que produjeron muchos casos en un año continuaron produciendo muchos casos en los otros años (correlación positiva y significativa entre el número de casos por año y el barrio). Con este análisis detectaron 14 barrios que presentaron casos durante períodos de entre 16 y 50 meses seguidos y 41 barrios que produjeron casos en períodos de entre 6 y 15 meses consecutivos. Este patrón espacial señala que las acciones de control vectorial podrían priorizarse en el 4% o 16% del universo total de barrios (de un total de 349 barrios), dependiendo de las capacidades del programa.

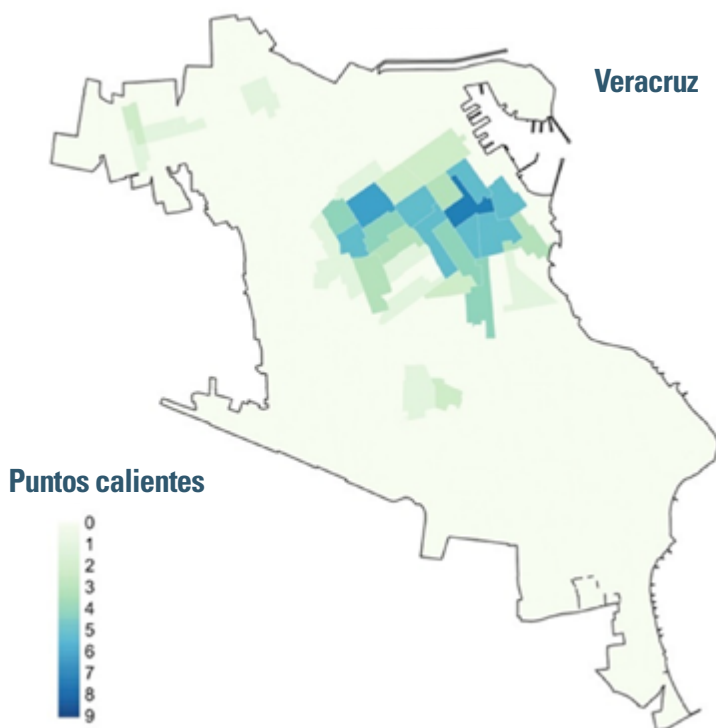
Ejemplos concretos de análisis espaciales más complejos para la estratificación dentro de las localidades son dos proyectos que están llevándose a cabo en estos momentos, uno en México y el otro en el Brasil: el primero se basa en la identificación de puntos calientes de transmisión; el segundo, en la propuesta ArboAlvo para caracterizar la vulnerabilidad de transmisión de los arbovirus.

El ejemplo de México explora el modelo para determinar los puntos calientes a partir de la geocodificación de los casos históricos de dengue, el cálculo de la proporción de casos comunicados en un año dentro de un área geográfica concreta (p. ej., intensidad de la transmisión por área censal o barrio) y la aplicación de la estadística espacial para definir qué áreas son

puntos calientes en cada período (generalmente, cada año) (Bisanzio *et al.*, 2018). En este estudio, se utilizó el número de casos por unidad censal (denominada AGEB) para identificar, utilizando el estadístico de Getis-Ord ( $G_i^*$ ), los puntos calientes de elevado número de casos. Al realizar este análisis con los casos de dengue notificados durante 2008-2015, los autores estimaron una medida de persistencia de la transmisión sumando los años en los que cada unidad censal se consideró un punto caliente. Un 30% de la ciudad, identificada como punto caliente, acumuló más del 50% de los casos notificados; dicha área coincidió con las zonas de comunicación inicial de las epidemias de chikungunya y Zika (Bisanzio *et al.*, 2018).

Utilizando la misma metodología de Bisanzio *et al.* (2018), se constata que otras ciudades también presentan una alta agregación de la transmisión en áreas específicas, en este caso Veracruz (México) (figura 1; véanse los anexos, que detallan el método).

**Figura 1. Modelo de estratificación por puntos calientes de transmisión de DENV según el análisis de casos confirmados a lo largo de nueve años en Veracruz, México**



**Nota:** Análisis realizado con datos de área (unidades administrativas sociodemográficas, llamadas “AGEB”). La intensidad en la coloración señala el número de veces por año que un área se convirtió en punto caliente.

El análisis espacial permite cuantificar el riesgo de transmisión según los datos epidemiológicos. Otro método es el cálculo de la vulnerabilidad de un área a la transmisión del DENV y de otros arbovirus, a partir de variables que se asocian con la abundancia del vector o el riesgo de transmisión, como la distribución y la densidad de las poblaciones humanas, las condiciones socioeconómicas y de vivienda, la infraestructura sanitaria, el clima, etc. Este método incluye varios supuestos sobre los factores que se asocian con el riesgo de transmisión en una ciudad determinada y emplea análisis no espaciales multivariados (componentes principales, análisis de regresión) para delimitar el espacio de variables que se asocian con el mayor riesgo de transmisión. Si bien los análisis pueden realizarse sin contar con datos epidemiológicos, la inclusión de los casos notificados por área permite incrementar la validez de las predicciones de los análisis multivariados. Un ejemplo del cálculo de vulnerabilidad espacial es el proyecto ArboAlvo que está evaluándose en el Brasil (véanse los anexos, que contienen más detalles).

Cualquiera que sea el método, la estratificación debe ser un proceso dinámico, en revisión y evaluación periódica. Al final de cada año, se debe revisar y actualizar la estratificación, considerando la posibilidad de que los puntos calientes se desplacen a otras zonas de la ciudad y determinando si el control preventivo surte efecto en las zonas históricas de transmisión o si cambian las condiciones demográficas y entomológicas.

## 4.2. Temporalidad de las intervenciones

El siguiente nivel de decisión corresponde a la pregunta siguiente: ¿cuándo, durante cuánto tiempo y qué acciones hay que realizar dentro de las áreas de riesgo definidas por la estratificación?

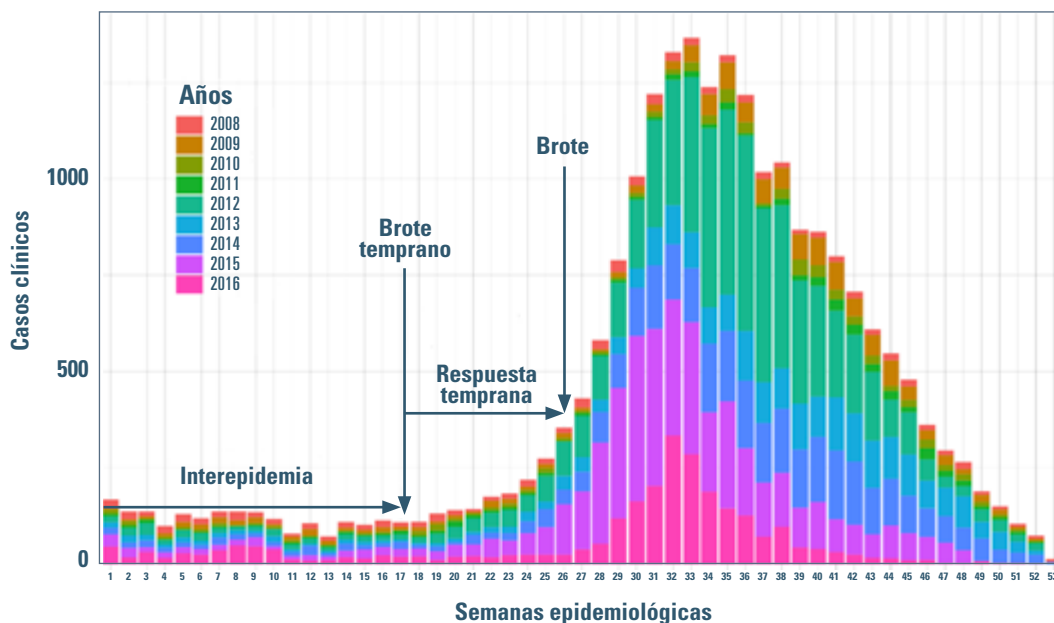
En el plan de abordaje se deben contemplar medidas anticipatorias, que incluyan un paquete de intervenciones de control del vector estructurado en dos fases (figura 2):

- Acciones preventivas durante el período interepidémico.
- Acciones de respuesta temprana en la fase previa al período de alta transmisión (brote temprano).

La finalidad es aplicar medidas integradas y simultáneas para evitar brotes en los puntos calientes (de mayor riesgo), sin dejar de lado las acciones de respuesta para la atención a los brotes (dentro de las mismas áreas de riesgo o fuera de ellas), es decir, las medidas de intensificación que el programa adopta en la etapa de alta transmisión de la enfermedad (respuesta de emergencia<sup>10</sup>).

<sup>10</sup> Actividad intensa, a corto plazo, orientada a una reducción rápida de la población de mosquitos adultos para suprimir la transmisión en una situación epidémica o cuando la epidemia parezca inminente.

**Figura 2.** Ejemplo de curva histórica de casos. Se aprecian las fases para las acciones anticipatorias: el período interepidémico (acciones preventivas) y el brote temprano de la enfermedad (acciones de respuesta temprana).



**Nota:** Elaborado con los datos de casos (2008-2016) de Veracruz (México).

Dependiendo de la capacidad de los programas locales, podría definirse un paquete de intervenciones más intensivas que únicamente se aplicarían en determinadas áreas prioritarias de la localidad, como las señaladas como puntos calientes, dentro de las medidas anticipatorias para la contención de brotes.

Aunque no se plantean intervenciones novedosas, existe la convicción de que las estrategias y herramientas seleccionadas rendirán un impacto efectivo para contener la transmisión si se aplican oportunamente, de forma simultánea, con una alta cobertura y con intensidad, si son sostenibles en su duración y si se focalizan durante las primeras etapas de la transmisión en las zonas de mayor riesgo (Gómez Dantés *et al.*, 2011). La oportunidad de las intervenciones, aplicadas de manera escalonada según la etapa de transmisión, es fundamental para el control de las poblaciones de *A. aegypti* (cuadro 6).

**Acciones preventivas (interepidémicas).** Durante esta fase se privilegia el control de hábitats de mosquitos inmaduros (preferentemente acciones ambientales o biorracionales, más que intervenciones con insecticidas químicos sintéticos) y el tratamiento focalizado de los casos. Las principales actividades comprenden campañas educativas para orientar a la

población y aumentar la conciencia pública sobre el mantenimiento de las medidas de salud pública (protección personal y de la vivienda). La eliminación y el control de hábitats de mosquitos inmaduros posterior a la época de transmisión pretenden mermar la transmisión vertical de la infección y disminuir el riesgo de que se reanude la infección a principios de año con las nuevas generaciones de hembras infectadas verticalmente.

Puesto que se trabajarán áreas con límites bien definidos (barrio, sector u otra unidad espacial) de universos conocidos (número de habitantes, viviendas, manzanas, etc.), se pueden ejecutar acciones focalizadas con planeación previa para aumentar la conciencia pública y la movilización social. Para ello, se pueden difundir las medidas preventivas y la campaña de eliminación de residuos sólidos en diferentes medios de comunicación (radio y prensa) y mediante mercadotecnia social (colocación de lonas, mantas, carteles y repartición de volantes, sobre todo en casas cerradas).

Existe una importante justificación para el control preventivo de *A. aegypti*. La alta tasa de transmisión asintomática (Ten Bosch *et al.*, 2018) impide la detección inicial de los brotes, lo que significa que las acciones reactivas ante los casos siempre van por detrás de la ola de transmisión. Un modelo matemático demuestra que las intervenciones capaces de reducir la abundancia de *A. aegypti* durante varios meses, como el rociado intradomiciliario residual, son más efectivas si se aplican con fines preventivos antes de la temporada de transmisión (Hladish *et al.*, 2018).

El problema del control preventivo es la dificultad de realizarse en toda una ciudad, en especial en los grandes centros urbanos. El mapeo del riesgo, así, proporciona el marco geográfico y la justificación para aplicar métodos de control de alta calidad en áreas que tienen más probabilidad de iniciar o concentrar los casos en la temporada de transmisión. Focalizar acciones preventivas con alta cobertura en puntos calientes representa no solo un cambio notable de paradigma en el control de *A. aegypti*, sino también un paso necesario para reducir la carga de enfermedad a nivel local.

La acción preventiva en los puntos calientes permitirá mejorar el MIV, no solo con los métodos de control clásicos sino también con otras estrategias efectivas para disminuir las poblaciones de vectores o el contacto entre el vector y la población (pabellones, mallas mosquiteras impregnadas con insecticidas de larga duración, en forma de cortinas o instaladas de manera permanente en puertas y ventanas, ovitrampas letales, etc.) e incluso con nuevas tecnologías una vez que se conozca su impacto epidemiológico (p. ej., liberación de mosquitos autocidas, infectados con *Wolbachia* o genéticamente modificados).

**Acciones de respuesta temprana (brote temprano).** Deben comprender acciones intensivas y concretas (sostenibles y factibles). El inicio de las acciones de respuesta temprana dependerá de la curva histórica de casos y del inicio del brote (figura 2).



El paquete de intervenciones para la fase de respuesta temprana puede incluir una o más de las siguientes acciones:

- Manejo ambiental y legislación.
- Control y eliminación física de criaderos con promoción de la salud y participación comunitaria (campañas educativas).
- Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes (criaderos productivos).
- Tratamiento focalizado de los casos (perímetro de 100-300 m).
- Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.

Al igual que con el control preventivo, existirá la posibilidad de aplicar el MIV en las primeras fases de los brotes, integrando los métodos de control clásico con nuevas tecnologías de rápida distribución (p. ej., emanadores pasivos de metoflutrina o transflutrina, trampas AGO). Lo importante en este período es determinar si los puntos calientes están contribuyendo con gran cantidad de casos al brote y, de ser así, plantear estrategias de respuesta rápida y de alta cobertura para reducir la probabilidad de propagación generalizada al nivel de la ciudad.

### **Cuadro 6. Medidas anticipatorias de control del vector según la etapa de transmisión y el escenario operativo dentro de las áreas de mayor riesgo**

Escenarios	Preventivo (período interepidémico)	Respuesta temprana
<b>Sin transmisión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> </ul>	
<b>Transmisión baja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> </ul>
<b>Transmisión intermedia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Focalización preventiva de acciones en puntos calientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> </ul>

Escenarios	Preventivo (período interepidémico)	Respuesta temprana
<b>Transmisión alta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Nuevas tecnologías.</li> <li>• Focalización preventiva de acciones en puntos calientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento físico-químico o biorracional de hábitats, focalizado en recipientes importantes.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos.</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> <li>• Nuevas tecnologías.</li> </ul>
<b>Epizootia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo ambiental y legislación.</li> <li>• Campañas educativas.</li> <li>• Tratamiento focalizado de casos (humanos).</li> <li>• Rociado espacial a UBV con amplia cobertura.</li> </ul>

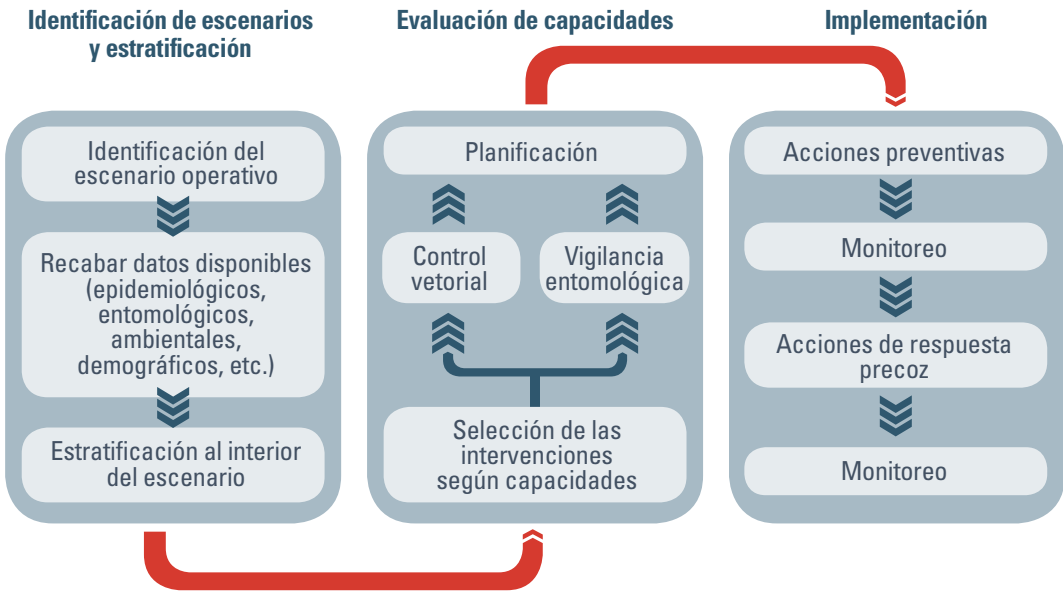
## 5 Consideraciones finales

En el contexto actual de la transmisión del dengue y de otros arbovirus a través del *A. aegypti*, los modelos de estratificación del riesgo son una herramienta útil para aprovechar de forma eficiente y efectiva los recursos de los programas locales de vectores. Esta estrategia se basa en la premisa de que la reducción del riesgo de transmisión en los puntos calientes se reflejará en una reducción de la transmisión en las áreas aledañas; es decir, al apagar los puntos calientes se reduciría en gran medida la diseminación de casos en el resto de las áreas del contexto urbano.

El proceso de estratificación propuesto puede definirse en los siguientes pasos (figura 3):

- catalogación de localidades dentro de los diferentes escenarios operativos a partir de variables epidemiológicas, entomológicas y demográficas;
- selección del modelo de estratificación de riesgo según la disponibilidad y la calidad de la información recabada y de las capacidades técnicas establecidas;
- selección del paquete de intervenciones de control y vigilancia entomoepidemiológica, previa evaluación y planificación de los recursos disponibles y las capacidades técnicas para su aplicación;
- diseño y planeación de las estrategias de intervención para los estratos de riesgo definidos;
- aplicación de las intervenciones anticipatorias (acciones preventivas durante la fase interepidémica y acciones de respuesta temprana ante el brote temprano);
- monitoreo del impacto sobre los indicadores entomológicos y epidemiológicos.

**Figura 3. Proceso de estratificación del riesgo**



**Nota:** El monitoreo de la resistencia a los insecticidas se incluye como parte de la vigilancia entomológica.

La selección del paquete de intervenciones para el control eficaz de *A. aegypti* debe considerar métodos con las siguientes características:

- Un agente de control efectivo (p. ej., insecticida, depredador, trampa, machos modificados, etc.), privilegiando los que garantizan una mayor duración de efecto (residualidad). La eficacia se refiere a la capacidad del agente de control de lograr el efecto que se espera. Por ejemplo, si se usa un insecticida contra el cual existe resistencia en el *A. aegypti* (baja eficacia), cabe prever que su “efectividad” — la capacidad de lograr el control de este mosquito en la naturaleza y prevenir o controlar epidemias — no será significativa.
- Métodos eficientes de distribución o aplicación del agente que abarquen toda el área ocupada por *A. aegypti*. Para ello se precisa una adecuada calibración de equipos, entrenamiento, supervisión de campo y cobertura, a fin de garantizar una aplicación efectiva del agente. El uso de un agente efectivo de control, combinado con una administración adecuada, debe llegar a afectar a más del 80% de la población de *A. aegypti*. Por ejemplo, si el método de control requiere visitas domiciliarias y la mitad de las viviendas no se pueden tratar, es difícil lograr un impacto significativo sobre la población local de *A. aegypti*. De manera similar, si se fumiga espacialmente con equipos montados sobre camiones o aviones y un insecticida 100% efectivo, pero las gotas del insecticida no penetran en los lugares de reposo de los mosquitos, no se lograría la eficiencia en la distribución del agente de control como para lograr la efectividad.

- Determinación de la frecuencia adecuada de aplicación del agente de control.
- Integración de varios agentes de control y sistemas de aplicación. Existe consenso sobre lo difícil que resulta controlar a *A. aegypti* utilizando una sola herramienta o técnica de control. La combinación de agentes de control podría abaratar los costos del programa.
- Confianza y aceptación por parte de la comunidad.
- Colaboración estrecha con las comunidades siguiendo un enfoque mixto, es decir, que el programa de control de vectores proporcione herramientas a las personas para colaborar en forma sostenida en la reducción de *A. aegypti*.
- Evaluación de la sostenibilidad de la estrategia de control. Se debe dar preferencia a las estrategias de control que tiendan a mantener a las poblaciones de *A. aegypti* en niveles bajos y sostenidos, y cuya aplicación sea igualmente sostenible y no episódica (reacción a epidemias).

Antes de la aplicación (etapa de planeación) es muy recomendable, independientemente de los métodos seleccionados para el sistema de vigilancia entomológica, contar con un diagnóstico previo que incluya:

- Evaluación entomológica para identificar los criaderos más importantes (productivos y crípticos), a fin de definir mejor las intervenciones de control y usar esta información desde un enfoque preventivo.
- Seguimiento de la evolución de los patrones de resistencia de *A. aegypti* al agente de control. Para la aplicación eficaz de los larvicidas, se deben realizar bioensayos antes de introducirlos en los programas o usarlos de forma masiva y luego evaluar si se produce algún cambio que sugiera resistencia. Al igual que con los adulticidas, se debe contar con estudios de resistencia que permitan elegir el producto más eficaz y prevenir la evolución de resistencia contra el insecticida en uso u otros insecticidas con modos similares de acción. Lo recomendable es elaborar un plan de rotación de los agentes de control que impida la aparición de resistencia.

La evaluación del impacto de las intervenciones debe contemplar indicadores específicos y precisos de la densidad de mosquitos en todas sus etapas de desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto). Los efectos de las intervenciones de control de *A. aegypti* deben medir:

- La reducción porcentual de la población  $[(1 - \text{densidad de } A. aegypti \text{ posterior} / \text{densidad de } A. aegypti \text{ previa}) \times 100]$  o  $[(1 - \text{densidad en el área de control} / \text{densidad en un área sin control}) \times 100]$ .
- La duración de la reducción.

Se debe aplicar más de una medida de abundancia o densidad de *A. aegypti* cuando se estandarice un protocolo de control. Por ejemplo, si se quiere reducir la producción de *A. aegypti* con un larvicida, se debe medir la reducción de larvas o pupas, pero también la variación del número de adultos, como método independiente. El monitoreo de las hembras de *A. aegypti* es ideal, ya que son estas las que transmiten los virus. El monitoreo de estos indicadores entomológicos debe realizarse de manera continua (semanal-mensual) durante todo el año dentro del área de riesgo. La evaluación y validación de protocolos de control debería demostrar su efectividad en la prevención y el control de las arbovirosis como el dengue, el chikungunya y la fiebre de Zika. El indicador de éxito será cuando las densidades sean menores comparativamente con un área definida como centinela (área sin control).

Presuponiendo que la aplicación de medidas anticipatorias sobre los puntos calientes puede disminuir el riesgo de exposición y transmisión, contener epidemias y bajar la incidencia, es necesario generar la evidencia epidemiológica del impacto de esta estrategia. Esta evidencia se puede ir construyendo con los resultados de diferentes estudios en los diferentes escenarios de la Región de las Américas y Caribe. Por ejemplo, la comparación de datos epidemiológicos históricos (antes y después de la intervención, áreas tratadas y no tratadas, etc.), recabados y analizados correctamente, podría contribuir a generar la evidencia de su impacto.

Por último, se reconoce el gran potencial de integrar las nuevas tecnologías con los diferentes métodos de control disponibles. Integrar las nuevas tecnologías con otras intervenciones de control vectorial requerirá definir protocolos para su aplicación simultánea o secuencial y su posterior evaluación. Cabe aclarar que se está trabajando en estudios piloto de estas estrategias y que no forman parte en este momento de las estrategias de control rutinarias de los programas.

## 6 Anexos

### Anexo I. Modelo de puntos calientes de transmisión

El objetivo es determinar si existe variabilidad espacial y temporal, que podría ayudar a identificar la existencia de puntos calientes (*hotspots*), es decir, áreas que contribuyen desproporcionadamente a la transmisión y donde existe la mayor probabilidad de que se inicien los brotes.

**Fuentes de información.** Se recurre a las diferentes fuentes de información disponibles a nivel local:

- 1) bases de datos de la vigilancia epidemiológica local de los sistemas locales o nacionales de salud, donde se encuentran depositados los registros de los casos confirmados y sus respectivos datos (direcciones de incidencia o domicilios) en relación con un determinado período (preferentemente, superior a 5 años);
- 2) bases de datos sociodemográficas y socioeconómicas locales a diferentes escalas espaciales (estado o provincia, localidad, colonia, barrio, manzana, sector u otra unidad socioeconómica o administrativa);
- 3) en su caso, otras bases de datos, por ejemplo, de vigilancia de adultos o entomoviroológica o de vigilancia entomológica con ovitrampas.

Para los análisis dentro de las ciudades o localidades, deberá demarcarse el área mínima en la cual se agregarán los datos (barrio, manzana censal). Debe tenerse en cuenta que un área muy grande implicará una pérdida de poder estadístico y menor posibilidad de obtener altas coberturas de las acciones de control.

**Geocodificación.** Para poder transformar los datos epidemiológicos (direcciones de la incidencia de los casos o domicilios) y entomológicos (adultos positivos a arbovirus y/o número de adultos o casas) a datos espaciales, se realiza la geocodificación, convirtiendo las

direcciones de colecta o la dirección del caso en coordenadas geográficas (latitud y longitud). En este paso se usan diferentes herramientas de información geográfica libres y se verifica la sensibilidad y especificidad de cada herramienta tomando 100 casos con sus direcciones y sus coordenadas geográficas proporcionadas por un GPS. Se utiliza la mejor herramienta para la geocodificación de los datos.

**Agregación de los datos epidemiológicos.** Una vez geocodificada la información epidemiológica, se realiza el conteo de los casos en la escala espacial operativa identificada previamente (p. ej., área censal mínima) y a escala temporal (casos de diferentes años). La proporción de casos comunicados en un año que ocurren en una determinada escala espacial y temporal se interpreta como una medida de la intensidad y persistencia de la transmisión.

**Puntos calientes de transmisión de DENV, CHIKV y ZIKV.** Se realizan pruebas de análisis espacial (como el estadístico de Getis-Ord) para señalar las áreas que contribuyen con una cantidad desproporcionada de casos de cada virus (puntos calientes) durante cada año disponible. Para abordar la persistencia espacial y temporal de los puntos calientes, estos se calculan entre años, en diferentes épocas del año (lluvias y estación seca), entre años epidémicos y no epidémicos (Bisanzio *et al.*, 2018).

Asimismo, para incluir el factor del movimiento humano, se determinan los puntos calientes con dos enfoques:

- 1) puntos calientes en grupos de menores de edad (11 años), ya que es el grupo de edad que menos se mueve;
- 2) puntos calientes con dos esquemas de matriz de adyacencias (la adyacencia de las áreas vecinas y la distancia inversa de los pesos ponderados).

La primera presupone que el riesgo se distribuye en toda la matriz o toda el área. La segunda presupone que el riesgo está en función inversa de la distancia ( $1 / \text{distancia euclidiana}$ ) entre cada área y el área de residencia de cada caso.

**Concordancia espacial de los puntos calientes.** Se cuantifica el número de veces que un área determinada fue un punto caliente (años, períodos de lluvias o estación seca, etc., dependiendo de cómo se analicen los datos) y se utiliza el resultado como medida de persistencia de la transmisión por áreas.

La incorporación de dicha información mediante un SIG permite comprobar visualmente la extensión del área de riesgo. Puede realizarse una validación más formal de los patrones comparando la distribución de los puntos calientes de dengue con los de Zika y chikungunya (Bisanzio *et al.*, 2018) o con la presencia de adultos de *A. aegypti* positivos a cada virus (cuando los haya) y la dirección de los casos de microcefalia neonatal (en caso de haberlos). Para los datos binarios epidemiológicos y entomológicos, un porcentaje de casos positivos o



*pools* positivos altamente significativo en los puntos calientes proporcionaría una validación externa de su influencia en la transmisión.

Puntos calientes y factores de riesgo de su aparición. A fin de determinar si los puntos calientes de dengue, chikungunya y Zika son áreas con gran abundancia de mosquitos (colectados por huevos, pupas o adultos), se pueden realizar análisis de regresión logística y binomial negativa utilizando la abundancia como variable independiente y la pertenencia de la vivienda a un punto caliente como dependiente (binaria). Pueden utilizarse otras variables provenientes del censo, como el número de habitantes, el tipo de vivienda, la calidad de los servicios públicos, etc., en áreas donde no haya datos entomológicos o para reforzar los modelos que incluyan entomología (Bisanzio *et al.*, 2018).

## **Anexo 2. Modelo ArboAlvo: Propuesta metodológica de estratificación de áreas de riesgo de dengue, chikungunya y Zika en ciudades endémicas brasileñas**

El proyecto ArboAlvo tiene por objetivo elaborar una propuesta metodológica para estratificar las áreas de riesgo de transmisión de arbovirosis, con parámetros sociodemográficos, ambientales, entomológicos y epidemiológicos, en cuatro ciudades endémicas del Brasil: Natal (Río Grande del Norte) y Recife (Pernambuco), en la región nordeste del país; Belo Horizonte (Minas Gerais), en la región sureste; y Campo Grande (Mato Grosso del Sur), en la región centro-oeste. Las ciudades fueron elegidas según los antecedentes de transmisión endémica del DENV, la calidad e integridad de los bancos de datos y la existencia de límites de barrios legalmente definidos.

Para caracterizar la vulnerabilidad social a las arbovirosis en esas ciudades, se generan indicadores de infraestructura sanitaria, condiciones de vivienda y de entorno, densidad de población pobre y demografía. Para caracterizar la receptividad territorial para el *A. aegypti*, se construyen indicadores referentes a las dimensiones del clima (temperaturas de superficie nocturna-diurna y pluviosidad) y uso del suelo (crecimiento de la mancha urbana, área territorial ocupada, crecimiento de las villas, verticalización de los domicilios, altimetría por barrios y vegetación).

La caracterización de la infestación por mosquitos del género *Aedes* se evalúa según la frecuencia, la intensidad y la persistencia en el tiempo y en el espacio y se lleva a cabo, mayormente, con datos de ovipostura producidos de ordinario por los programas locales y con datos de encuestas larvianas provenientes del programa Levantamiento Rápido de Índices de *A. aegypti* (LIRAA).

Para la caracterización epidemiológica, se utilizan los datos de los casos declarados de DENV, CHIKV y ZIKV en el sistema de información para la notificación de enfermedades de

declaración obligatoria (SINAN). La caracterización de las epidemias ha permitido definir barrios con características de persistencia epidémica, así como barrios donde se iniciaron los procesos epidémicos. Se generan, para ello, indicadores epidemiológicos (para caracterizar la dinámica espacial y temporal de las epidemias de arbovirosis), indicadores diagnósticos (para caracterizar la accesibilidad y disponibilidad del servicio de salud) e indicadores sintomatológicos (para caracterizar los casos de mayor gravedad y de defunciones).

El proyecto emplea modelos de análisis de cierta complejidad, como el análisis de componentes principales, para crear un pequeño número de indicadores sociodemográficos que condensan la información contenida en otros indicadores, obtenidos a escala de los barrios. Los datos climáticos que faltan se obtienen con técnicas de serie temporales. Los índices de positividad y densidad de los huevos se calculan a partir de los recuentos de huevos de ovitrampas.

Una vez procesadas y analizadas con carácter exploratorio las bases de datos de cada uno de los componentes técnicos del proyecto (ambiental, sociodemográfico, entomológico y epidemiológico), se ajustan los modelos espaciotemporales para explicar los recuentos epidemiológicos en función de los índices entomológicos, los indicadores sociodemográficos y las variables ambientales. También se ajustan los modelos espaciotemporales para explicar los conteos de huevos en función de las variables sociodemográficas y ambientales. Dichos modelos pretenden servir como instrumentos predictivos para direccionar las acciones de prevención y control de las arbovirosis.

Como estrategia clave para su implementación y desarrollo, fortalece las capacidades locales por medio de la capacitación del personal (de los servicios de salud municipal involucrados) en las tecnologías y herramientas utilizadas en el proyecto. El proyecto ArboAlvo todavía se enfrenta al reto de definir estrategias de comunicación y movilización dirigidas a la población, que es un actor clave para la garantía de las intervenciones con base comunitaria.

## 7 Referencias

- Alphay L, McKemey A, Nimmo D, Neira Oviedo M, Lacroix R, Matzen K, *et al.* (2013) Genetic control of *Aedes* mosquitoes. *Pathog Glob Health* 107 (4): 170-179.
- Alvarado Castro V, Paredes Solís S, Nava Aguilera E, Morales Pérez A, Alarcón Morales L, Balderas Vargas NA, *et al.* (2017). Assessing the effects of interventions for *Aedes aegypti* control: systematic review and meta-analysis of cluster randomised controlled trials. *BMC Public Health* 17 (Suppl 1): 384.
- Ballenger-Browning KK, Elder JP (2009). Multi-modal *Aedes aegypti* mosquito reduction interventions and dengue fever prevention. *Trop Med Int Health* 14 (12): 1542-1551.
- Barrera Pérez MA, Pavía Ruz N, Mendoza Mézquita JE, Torres Arcila N, Hernández Hernández R, Castro Gamboa F, *et al.* (2015). Control de criaderos de *Aedes aegypti* con el programa *Recicla por tu bienestar* en Mérida, México. *Salud Publica Mex* 57 (3): 201-210.
- Barrera R (2015a). Considerations for disrupting dengue virus transmission; ecology of *Aedes aegypti* and current (non-genetic) methods of control. En: Adelman Z. *Genetic control of malaria and dengue*. Londres: Elsevier. Capítulo 6; p. 103-124.
- Barrera R (2015b). Control de los mosquitos vectores del dengue y del chikunguña: ¿es necesario reexaminar las estrategias actuales? *Biomedica* 35 (3): 297-299.
- Barrera R (2016). Recomendaciones para la vigilancia de *Aedes aegypti*. *Biomedica* 36 (3): 454-462.
- Barrera R, Acevedo V, Félix G, Hemme RR, Vázquez J, Muñoz JL, *et al.* (2017). Impact of autocidal gravid ovitraps on chikungunya virus incidence in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in areas with and without traps. *J Med Entomol* 54 (2): 387-395.
- Barrera R, Amador M, Díaz A, Smith J, Muñoz Jordan JL, Rosario Y (2008). Unusual productivity of *Aedes aegypti* in septic tanks and its implications for dengue control. *Med Vet Entomol* 22 (1): 62-69.

- Barrera R, Amador M, Muñoz J, Acevedo V (2018). Integrated vector control of *Aedes aegypti* mosquitoes around target houses. *Parasites and Vectors* 11 (1): 88.
- Barrera R, Delgado N, Jiménez M, Valero S (2002). Eco-epidemiological factors associated with hyperendemic dengue haemorrhagic fever in Maracay City, Venezuela. *Dengue Bull* 26: 84-95.
- Barrera R, Delgado N, Jiménez M, Villalobos I, Romero I (2000). Estratificación de una ciudad hiperendémica en dengue hemorrágico. *Rev Panam Salud Publica* 8 (4): 225-233.
- Bellini R, Medici A, Puggioli A, Balestrino F, Carrieri M (2013). Pilot field trials with *Aedes albopictus* irradiated sterile males in Italian urban areas. *J Med Entomol* 50 (2): 317-325.
- Benelli G, Jeffries CL, Walker T (2016). Biological control of mosquito vectors: past, present, and future. *Insects* 3; 7 (4); pii: E52.
- Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, *et al.* (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496: 504-507.
- Bisanzio D, Dzul Manzanilla F, Gómez Dantés H, Pavía Ruz N, Hladish TJ, Lenhart A, *et al.* (2018). Spatio-temporal coherence of dengue, chikungunya and Zika outbreaks in Merida, Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 12 (3): e0006298.
- Bowman LR, Donegan S, McCall PJ (2016). Is dengue vector control deficient in effectiveness or evidence? systematic review and meta-analysis. *PLoS Negl Trop Dis* 10 (3): e0004551.
- Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ (2014). Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: a systematic review of the evidence. *PLoS Negl Trop Dis* 8 (8): e2848.
- Castle T, Amador M, Rawlins S, Figueroa JP, Reiter P (1999). Absence of impact of aerial malathion treatment on *Aedes aegypti* during a dengue outbreak in Kingston, Jamaica. *Pan Am J of Public Health* 5: 100-105.
- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) (2010). *Guideline for Evaluating Insecticide Resistance in Vectors Using the CDC Bottle Bioassay*. Atlanta: CDC.
- Chadee DD (1988). Effects of 'closed' houses on the *Aedes aegypti* eradication programme in Trinidad. *Med Vet Entomol* 2 (2): 193-198.
- Che-Mendoza A, Guillermo May G, Herrera Bojórquez J, Barrera Pérez M, Dzul Manzanilla F, Gutiérrez Castro C, *et al.* (2015). Long-lasting insecticide treated house screens and targeted treatment of productive breeding-sites for dengue vector control in Acapulco, Mexico. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 109 (2): 106-115.
- Che-Mendoza A, Medina Barreiro A, Koyoc Cardeña E, Uc Puc V, Contreras Perera Y, Herrera Bojórquez J, *et al.* (2018). House screening with insecticide-treated netting provides sustained reductions in domestic populations of *Aedes aegypti* in Merida, Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 12 (3): e0006283.

- Erlanger TE, Keiser J, Utzinger J (2008). Effect of dengue vector control interventions on entomological parameters in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *Med Vet Entomol* 22: 203-221.
- Espinoza Gómez F, Hernández Suárez M, Coll Cárdenas R (2002). Educational campaign versus malathion spraying for the control of *Aedes aegypti* in Colima, Mexico. *J Epidemiol Community Health* 56 (2): 148-152.
- Esu E, Lenhart A, Smith L, Horstick O (2010). Effectiveness of peridomestic space spraying with insecticide on dengue transmission; systematic review. *Trop Med Int Health* 15 (5): 619-631.
- Ferguson NM, Cucunubá ZM, Dorigatti I, Nedjati-Gilani GL, Donnelly CA, Basáñez MG, et al. (2016). Countering the Zika epidemic in Latin America. *Science* 353 (6297): 353-354.
- Fitzpatrick C, Haines A, Bangert M, Farlow A, Hemingway J, Velayudhan R (2017). An economic evaluation of vector control in the age of a dengue vaccine. *PLoS Negl Trop Dis* 11 (8): e0005785.
- Focks DA (2003). *A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors*. TDR/IDE/Den/O3.1. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Focks DA, Brenner RJ, Hayes J, Daniels E (2000). Transmission thresholds for dengue in terms of *Aedes aegypti* pupae per person with discussion of their utility in source reduction efforts. *Am J Trop Med Hyg* 62 (1): 11-18.
- Foster WA, Walker ED (2002). Mosquitoes (Culicidae). En: Mullen G, Durden L (eds.). *Medical and Veterinary Entomology*. San Diego: Academic Press; p. 203-262.
- Gómez Dantés H, Ramos Bonifaz B, Tapia Conyer R (1995). El riesgo de transmisión del dengue: un espacio para la estratificación. *Salud Pública Mex* 37 (S): 88-97.
- Gómez Dantés H, San Martín JL, Danis Lozano R, Manrique Saide P, Grupo de Dengue (2011). Integrated prevention and control strategy for dengue in Mesoamerica. *Salud Pública Mex* 53 (suppl 3): S349-S357.
- Gunning CE, Okamoto KW, Astete H, Vásquez GM, Erhardt E, Del Águila C, et al. (2018). Efficacy of *Aedes aegypti* control by indoor UltraLow Volume (ULV) insecticide spraying in Iquitos, Peru. *PLoS Negl Trop Dis* 12 (4): e0006378.
- Hernández Ávila JE, Rodríguez MH, Santos Luna R, Sánchez Castañeda V, Román Pérez S, Ríos Salgado VH, et al. (2013). Nation-wide, web-based, geographic information system for the integrated surveillance and control of dengue fever in Mexico. *PLOS One* 8 (8): e70231.
- Hladish TJ, Pearson CAB, Patricia Rojas D, Gómez Dantés H, Halloran ME, Vázquez-Prokopec GM, et al. (2018). Forecasting the effectiveness of indoor residual spraying for reducing dengue burden. *PLoS Negl Trop Dis* 25; 12(6): e0006570.

- Horstick O, Runge-Ranzinger S, Nathan MB, Kroeger A (2010). Dengue vector-control services: how do they work? A systematic literature review and country case studies. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 104 (6): 379-386.
- Johnson BJ, Ritchie SA, Fonseca DM (2017). The state of the art of lethal oviposition trap-based mass interventions for arboviral control. *Insects* 8 (1): 5.
- Kroeger A, Lenhart A, Ochoa M, Villegas E, Levy M, Alexander N, *et al.* (2006). Effective control of dengue vectors with curtains and water container covers treated with insecticide in Mexico and Venezuela: cluster randomised trials. *BMJ* 332: 1247-1252.
- LaCon G, Morrison AC, Astete H, Stoddard ST, Paz-Soldan VA, Elder JP, *et al.* (2014). Shifting patterns of *Aedes aegypti* fine scale spatial clustering in Iquitos, Peru. *PLoS Negl Trop Dis* 8 (8): e3038.
- Lawson AB (2010). Hotspot detection and clustering: ways and means. *Environ Ecol Stat* 17 (2): 231-245.
- Lenhart A, Orelus N, Maskill R, Alexander N, Streit T, McCall PJ (2008). Insecticide-treated bednets to control dengue vectors: preliminary evidence from a controlled trial in Haiti. *Trop Med Int Health* 13 (1): 56-67.
- Loroño Pino MA, García Rejón JE, Machain-Williams C, Gómez Carro S, Núñez Ayala G, Nájera Vázquez MR, *et al.* (2013). Towards a Casa Segura: a consumer product study of the effect of insecticide-treated curtains on *Aedes aegypti* and dengue virus infections in the home. *Am J Trop Med Hyg* 89 (2): 385-97.
- Mains JW, Brelsfoard CL, Dobson SL (2015). Male mosquitoes as vehicles for insecticide. *PLoS Negl Trop Dis* 9 (1): e0003406.
- Manrique Saide P, Arisqueta Chablé C, Geded Moreno E, Herrera Bojórquez J, Uc V, Chablé Santos J, *et al.* (2013). An assessment of the importance of subsurface catch basins for *Aedes aegypti* adult production during the dry season in a neighborhood of Mérida, México. *J Am Mosq Control Assoc* 29 (2): 164-167.
- Martínez Vega RA, Danis Lozano R, Díaz Quijano FA, Velasco Hernández J, Santos Luna R, Román Pérez S, *et al.* (2015). Peridomestic infection as a determining factor of dengue transmission. *PLoS Negl Trop Dis* 9 (12): e0004296.
- McCall PJ, Kittayapong P (2007). Control of dengue vectors: tools and strategies. En: *Report of the Scientific Working Group Meeting on Dengue*. Ginebra: OMS/TDR; p. 110-119.
- McCall PJ, Lloyd L, Nathan MB (2009). Vector management and delivery of vector control services. En: *Dengue Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control* (3.ª ed.). Ginebra: OMS.
- Messina JP, MUG Kraemer, Brady OJ, Pigott DM, Shearer FM, Weiss DJ, *et al.* (2016). Mapping global environmental suitability for Zika virus. *Elife* 5; pii: e15272.

- Nathan M (2012). Introduction. *Pathog Glob Health* 106 (8): 427.
- Nsoesie EO, Kraemer MU, Golding N, Pigott DM, Brady OJ, Moyes CL, *et al.* (2016). Global distribution and environmental suitability for chikungunya virus, 1952 to 2015. *Euro Surveill* 21 (20); pii: 30234.
- O'Connor L, Plichart C, Sang AC, Brelsfoard CL, Bossin HC, Dobson SL (2012). Open release of male mosquitoes infected with a Wolbachia biopesticide: Field performance and infection containment. *PLoS Negl Trop Dis* 6 (11): e1797.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1982). *Manual on environmental management for mosquito control, with special emphasis on malaria vectors*. WHO Offset Publication No. 66. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2003a). *Space spray application of insecticides for vector and public health pest control. A practitioner's guide*. WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2003.5. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2003b). *Use of fish for mosquito control*. El Cairo: Oficina Regional de la OMS para el Mediterráneo Oriental.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). *Pesticides and their application for the control of vectors and pests of public health importance*. (6.ª edición). WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/2006.1. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2008). *WHO position statement on integrated vector management*. WHO/HTM/NTD/VEM/2008.2. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2009). *Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control*. WHO/HTM/NTD/DEN/2009.1. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2013). *Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes*. (2.ª edición). Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015). *Indoor residual spraying. An operational manual for indoor residual spraying (IRS) for malaria transmission control and elimination*. (2.ª edición). WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/2007.3. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2016). *Mosquito (vector) control emergency response and preparedness for Zika virus*.  
[http://www.who.int/neglected\\_diseases/news/mosquito\\_vector\\_control\\_response/en](http://www.who.int/neglected_diseases/news/mosquito_vector_control_response/en).
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018). *Yellow fever – Brazil. Disease outbreak News*.  
<http://www.who.int/csr/don/27-february-2018-yellow-fever-brazil/en>.

- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2017). *Recommendations of the Technical Advisory Group on Public Health Entomology and Vector Control (TAG-PHEVC)*. Washington: OPS.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2018a). Reunión del grupo externo de evaluación de nuevas tecnologías (GE) para el control de *Aedes*. Informe ejecutivo, 5 al 6 de diciembre de 2017, en Washington D.C. En prensa.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2018b). *Manual para aplicar el rociado residual intra-domiciliario en zonas urbanas para el control de Aedes aegypti*. En prensa.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2018c). *Taller para elaboración de los lineamientos de construcción de escenarios para control del Aedes aegypti*. Informe ejecutivo, 16 a 19 de mayo del 2017. Medellín, Colombia.
- Perich MJ, Davila G, Turner A, Garcia A, Nelson M (2000). Behavior of resting *Aedes aegypti* (Culicidae: Diptera) and its relation to ultra-low volume adulticide efficacy in Panama City, Panama. *J Med Entomol* 37 (4): 541-546.
- Perich MJ, Rocha NO, Castro AL, Alfaro AW, Platt KB, Solano T, *et al.* (2003). Evaluation of the efficacy of lambda-cyhalothrin applied by three spray application methods for emergency control of *Aedes aegypti* in Costa Rica. *J Am Mosq Control Assoc* 19 (1): 58-62.
- Pilger DD, De Maesschalck M, Horstick O, San Martín J (2010). Dengue outbreak response: documented effective interventions and evidence gaps. *TropIKA.net* 1 (1).
- Ranson H, Burhani J, Lumjuan N, Black WC (2010). Insecticide resistance in dengue vectors. *TropIKA.net* 1 (1).
- Rizzo N, Gramajo R, Cabrera Escobar M, Arana B, Kroeger A, Manrique Saide P, *et al.* 2012. Dengue vector management using insecticide treated materials and targeted interventions on productive breeding-sites in Guatemala. *BMC Public Health* 12: 931.
- Rodríguez SD, Chung H-N, Gonzales KK, Vulcan J, Li Y, Ahumada JA, Romero HM, *et al.* (2017). Efficacy of some wearable devices compared with spray-on insect repellents for the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). *J Insect Sci* 17 (1): 24.
- Russell BM, McBride WJ, Mullner H, Kay BH (2002). Epidemiological significance of subterranean *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) breeding sites to dengue virus infection in Charters Towers, 1993. *J Med Entomol* 39 (1): 143-145.
- San Martín JL, Brathwaite-Dick O (2007). La estrategia de Gestión Integrada para la prevención y el control del dengue en la región de las Américas. *Rev Panam Salud Publica* 21: 55-63.
- Scholte EJ, Knols BGJ, Samson RA, Takken W (2004). Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review. *J Insect Sci* 4: 19.



- Smith LB, Kasai S, Scott JG (2016). Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: important mosquito vectors of human diseases. *Pestic Biochem Physiol* 133: 1-12.
- Tango T (2010). *Statistical Methods for Disease Clustering*. Springer: Nueva York.
- Ten Bosch QA, Clapham HE, Lambrechts L, Duong V, Buchy P, Althouse BM, *et al.* (2018). Contributions from the silent majority dominate dengue virus transmission. *PLoS Pathog* 3; 14 (5): e1006965.
- Tun-Lin W, Lenhart A, Nam VS, Rebollar Téllez E, Morrison AC, Barbazan P, *et al.* (2009). Reducing costs and operational constraints of dengue vector control by targeting productive breeding places: a multi-country non-inferiority cluster-randomized trial. *Trop Med Int Health* 14 (9): 1143-1153.
- Uc Puc V, Herrera Bojórquez J, Carmona Carballo C, Che Mendoza A, Medina Barreiro A, Chablé Santos J, *et al.* (2016). Efectividad de repelentes comerciales disponibles contra el mosquito *Aedes aegypti* (L.) vector del virus de dengue y Chikungunya en Yucatán, México. *Salud Pública Mex* 58 (4): 472-475.
- Vanlerberghe V, Gómez Dantés H, Vázquez-Prokopec G, Alexander N, Manrique Saide P, Coelho G, *et al.* (2017). Changing paradigms in *Aedes* control: considering the spatial heterogeneity of dengue transmission. *Pan Am J of Public Health* 41: 2-6.
- Vázquez-Prokopec GM, Chaves LF, Ritchie SA, Davis J, Kitron U (2010a). Unforeseen costs of cutting mosquito surveillance budgets. *PLoS Negl Trop Dis* 4 (10): e858.
- Vázquez-Prokopec GM, Kitron U, Montgomery B, Horne P, Ritchie SA (2010b). Quantifying the spatial dimension of dengue virus epidemic spread within a tropical urban environment. *PLoS Negl Trop Dis* 4 (12): e920.
- Vázquez-Prokopec GM, Lenhart A, Manrique Saide P (2016). Housing improvement: a novel paradigm for urban vector-borne disease control? *Trans R Soc Trop Med Hyg* 110 (10): 567- 569.
- Vázquez-Prokopec GM, Medina Barreiro A, Che Mendoza A, Dzul Manzanilla F, Correa Morales F, Guillermo May G, *et al.* (2017). Deltamethrin resistance in *Aedes aegypti* results in treatment failure in Merida, Mexico. *PLoS Negl Trop Dis* 11 (6): e0005656.
- Vontas J, Kioulos E, Pavlidi N, Morou E, Della Torre A, Ranson H (2012). Insecticide resistance in the major dengue vectors *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti*. *Pestic Biochem Physiol* 104: 126-131.
- Waterman SH, Novak RJ, Sather GE, Bailey RE, Ríos I, Gubler J (1985). Dengue transmission in two Puerto Rican communities in 1982. *Am J Trop Med Hyg* 34 (3): 625-632.



Organización  
Panamericana  
de la Salud



Organización  
Mundial de la Salud  
OFICINA REGIONAL PARA LAS  
**Américas**

525 Twenty-third Street, NW  
Washington, D.C., 20037  
Estados Unidos de América  
Tel.: +1 (202) 974-3000  
[www.paho.org](http://www.paho.org)

