Aedes aegypti y **arbovirosis**

Factores que determinan la presencia del vector y pautas para su control integral sostenido

Instituto Nacional
de Salud Pública

Aedes aegypti y **arbovirosis**

Factores que determinan la presencia del vector y pautas para su control integral sostenido

Ángel Francisco Betanzos Reyes, Mario Henry Rodríguez López,
Herón Huerta Jiménez, Tannia Gioconda Mejía Mendoza,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales, Josué Larios Morales

Instituto Nacional
de Salud Pública

Agradecemos el apoyo del H. Ayuntamiento de Cuernavaca del Estado de Morelos, del Programa Nacional de Enfermedades Transmitidas por Vector del Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades de la Secretaría de Salud, del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y de la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Asimismo, agradecemos a Gisela Aramiriam León Espinosa (Laboratorio Estatal de Salud Pública de Nuevo León), a José de Jesús Siller Martínez (Laboratorio Estatal de Salud Pública de San Luis Potosí) y a Clemente Rafael Ibáñez Piñón (Programa de Vectores del estado de Oaxaca) por su permiso y autorización del uso de fotografías para ilustrar los capítulos 1, 2 y 4.

Aedes aegypti y arbovirosis. Factores que determinan la presencia del vector y pautas para su control integral sostenido

Primera edición, 2024

D.R. © Instituto Nacional de Salud Pública
Av. Universidad 655, col. Santa María Ahuatitlán
62100 Cuernavaca, Morelos, México

ISBN: 978-607-511-245-9

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Esta obra es un trabajo colaborativo que contó con la participación de los siguientes centros pertenecientes al Instituto Nacional de Salud Pública: Centro de Investigación sobre Enfermedades Infecciosas (CISEI), Centro de Investigación en Sistemas de Salud (CISP), así como de otras entidades gubernamentales como el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (Indre), el Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades (Cenaprece) y Servicios de Salud de Morelos (SSM).

Autores: Ángel Francisco Betanzos Reyes (CISEI), Mario Henry Rodríguez López (CISEI), Herón Huerta Jiménez (Indre), Tannia Gioconda Mejía Mendoza (CISEI), Felipe Antonio Dzul Manzanilla (CISP), Fabián Correa Morales (Cenaprece), Josué Larios Morales (SSM).
Coordinación editorial: Carlos Oropeza Abúndez
Edición: Francisco Reveles, Jessica Gallegos
Diseño y formación: Diana Ballastra
Portada: Juan Pablo Luna

Citación sugerida:
Betanzos-Reyes AF, Rodríguez-López MH, Huerta-Jiménez H, Mejía-Mendoza TG, Dzul-Manzanilla FA, Correa-Morales F, *et al. Aedes aegypti* y arbovirosis. Factores que determinan la presencia del vector y pautas para su control integral sostenido. Cuernavaca, Morelos: Instituto Nacional de Salud Pública, 2025.

Capítulos

Prólogo	7
Presentación	9
1. Huevo	11
2. Larva	14
3. Pupa	19
4. Adulto	22
5. Especies exóticas y diversidad de mosquitos	26
6. Naturaleza y origen del *Aedes aegypti*	34
7. Biología y determinantes de la transmisión	41
8. Infección y epidemiología	47
9. Focos operativos de transmisión	55
10. Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue	63
11. Prevención y control sostenido del dengue con Ecosalud	71
Epílogo	84

Prólogo

Las enfermedades transmitidas por vector comprenden un grupo fenomenológico de carácter complejo en el que interactúan diversos componentes en sistemas biológicos modulados por factores del entorno físico y climático, ecosistemas que son inseparables de los contextos sociales, económicos y culturales con los que se relacionan de manera bidireccional. La agrupación conceptual en los componentes (patógenos, vectores y comunidades en riesgo) permite analizar las características de cada uno, sus interacciones (que determinan la exposición de la población en riesgo), la infección de los vectores y, eventualmente, la transmisión de los patógenos a la población humana.

Asimismo, la participación de estos componentes en la transmisión de las enfermedades ocasionadas por vector, como el dengue, Zika y chikungunya, ha limitado la efectividad de las intervenciones para su control. Así, aunque se reconocen los aspectos clave de cada componente, su incorporación en estrategias que atiendan el proceso fenomenológico de manera integral requiere de un pensamiento sistémico. Al respecto, la vigilancia epidemiológica y entomológica han acumulado registros extensos que permiten identificar poblaciones y áreas de alta transmisión, pero su utilidad ha sido limitada para dirigir las actividades de control debido a la demora en sus análisis.

Del mismo modo, las intervenciones dirigidas a abatir las poblaciones de mosquitos, como las nebulizaciones con insecticidas, siguen siendo insuficientes por su carácter efímero, su falta de oportunidad y lo breve de su efecto. Los programas para eliminar los criaderos potenciales de larvas de mosquitos, aplicados mediante acciones verticales y sin la participación efectiva de los habitantes de los predios tratados, fomentan la dependencia de estos últimos a la protección exclusiva por parte de las autoridades gubernamentales. Es por ello que la promoción mediática para la participación de la población en riesgo en jornadas para la eliminación de criaderos larvarios de los mosquitos requiere de estrategias para limitar su acumulación y para el reclutamiento de las comunidades en esfuerzos corresponsables y duraderos de prevención que incluyan la atención oportuna de casos sospechosos y el mantenimiento saludable de entornos domésticos y públicos.

Este documento presenta y discute los componentes principales para el desarrollo de estrategias integrales transdisciplinarias y transectoriales para el control de enfermedades ocasionadas por dengue, Zika y chikungunya, las cuales son transmitidas por mosquitos *Aedes aegypti*. También, este manual identifica (como componente principal de las estrategias de prevención y control) la participación —responsabilidad y acción— de las comunidades en riesgo en conjunto con la rectoría, liderazgo y dirección de las autoridades de salud, a la par de otros sectores gubernamentales e instituciones educativas.

De igual forma, este documento reconoce, como instrumento principal para el desarrollo de estrategias participativas, el entendimiento (en común con todas las partes involucradas) de los determinantes de la transmisión de estas enfermedades y, como inculpado primario, al *Aedes aegypti*, vector al que están dirigidas la gran mayoría de las actividades de prevención y control. A este respecto, la estrategia que se propone es vigilar las poblaciones de mosquitos mediante el control de sus criaderos en las comunidades en riesgo.

Así pues, para el entendimiento en común de los determinantes de la transmisión se presenta la información detallada de las condiciones climáticas y sociales que influyen en el desarrollo de los mosquitos, en donde se incluyen características, fisiología y hábitats, esto con fines didácticos para reconocer y tomar conciencia de su importancia en la constitución de poblaciones de mosquitos, sus hábitos de picadura y capacidad de transmitir virus. A la par, para la instrumentación de la vigilancia epidemiológica y entomológica se presenta una metodología innovadora, ya probada, para la localización de áreas de alta transmisión (focos calientes o *hotspots*), la cual puede servir de guía para la focalización de las intervenciones de prevención y control.

En línea con lo anterior, la aportación más innovadora de este documento es una estrategia que funciona para reclutar la participación comunitaria en el control de los mosquitos. Dicha estrategia parte de la premisa de que para convencer de involucrarse a los miembros de las comunidades en riesgo es necesario que éstos cuenten con información de las condiciones y causas que los exponen cotidianamente al peligro de ser picados por mosquitos infectados. Para ello, se presentan los resultados de un proyecto en curso, nombrado Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue (Copeden), en donde participan instituciones educativas (escuelas primarias y secundarias) y alumnos, quienes son los que conducen actividades de monitoreo de criaderos de mosquitos y se encargan del registro de sus observaciones mediante teléfonos móviles, formatos y una plataforma informática, todo ello como parte de sus cursos formativos.

Finalmente, si bien la información recabada por la comunidad escolar al respecto de las enfermedades transmitidas por vector es reforzada con las pesquisas en sus domicilios, esta actividad es una propuesta innovadora para generar conciencia en la población y eventualmente obtener un cambio cultural para la promoción de ambientes saludables. La estrategia forma parte de un programa de vigilancia del sector salud con participación municipal para el control de criaderos de mosquitos *Aedes* y está construida con los principales componentes del enfoque sistémico de Ecosalud, el cual incluye intervenciones transdisciplinas, participación social y comunitaria, así como sustentabilidad ambiental.

Mario Henry Rodríguez López

Presentación

Durante la última década, el dengue y otras enfermedades virales transmitidas por mosquitos *Aedes* spp. ocupan un lugar prioritario en la agenda de salud pública de países tropicales y subtropicales del mundo. El mosquito *Aedes aegypti* es el vector principal de la transmisión de estas enfermedades virales o arbovirus (dengue, chikungunya, Zika y fiebre amarilla, entre otras). Otras especies como el *Aedes albopictus* han surgido como vectores potenciales gracias a un proceso evolutivo natural de adaptación, sobrevivencia y dispersión en coexistencia con poblaciones humanas que se exponen al piquete de estos mosquitos en ambientes sociales y ecológicos favorables.

El dengue, en particular, destaca por su dispersión, incidencia y repercusiones sociales, económicas y políticas en países endémicos. México, al igual que otros países de América Latina y el Caribe, presenta una tendencia al incremento de infecciones con repuntes epidémicos anuales en intervalos de tres a cinco años con una dispersión territorial que acompaña al crecimiento poblacional, servicios limitados de la infraestructura urbana, dinámica creciente en el desplazamiento de personas y control del vector con efectos limitados en espacio y tiempo, condiciones que se exacerban por las consecuencias generadas por el cambio climático y la emergencia de eventos naturales (huracanes, ciclones, sismos, entre otros).

Los mosquitos, en procesos naturales de interacción con los humanos, forman parte de la ecología desde los escenarios en donde transmiten los virus patógenos. Dichos mosquitos han sido el blanco principal para interrumpir la transmisión de los virus del dengue (competencia vectorial) y el contacto con personas vulnerables (capacidad vectorial).

Para el control de las arbovirosis (en particular el dengue) transmitidas por estos mosquitos se han implementado actividades de saneamiento urbano para eliminar criaderos larvarios, prácticas que ayudan a disminuir el contacto de la población humana con los mosquitos y que son complementarias al abatimiento del vector adulto mediante

fumigación con insecticidas por los sistemas de salud. Sin embargo, estas estrategias, aunque con efectividad mensurable a corto plazo, han demostrado limitaciones a largo plazo.

El ordenamiento, interpretación y comprensión de la dinámica diversa y variada de factores sociales, biológicos y ecológicos involucrados en la complejidad de la transmisión del dengue tienen el potencial de optimizar las capacidades sociales y decisión fundamentada de las actividades pertinentes dirigidas a modificar estos factores, los cuales resultan determinantes en la transmisión con mayor alcance en su efectividad y permanencia de la protección de la salud en la población vulnerable. Para ello, serán necesarias actividades más efectivas con el fin de controlar y prevenir, de manera sostenida, la cadena de transmisión; esto se debe hacer con base en evidencia científica y experiencia técnica, las cuales optimicen la eficacia del control vectorial. Otras medidas innovadoras de protección inmunológica –a través de vacunas y modificación biológica de mosquitos para reducir su competencia y capacidad vectorial– están en el horizonte, sin embargo, su aplicación aún requiere de mejores estrategias para interrumpir la transmisión.

El presente manual de mosquitos *Aedes* spp. se basa en la caracterización integrada de determinantes y oportunidades para interrumpir la convivencia de mosquitos con humanos y la dinámica de transmisión del dengue y otras arbovirosis. Con información accesible para una audiencia diversa, este manual tiene como propósito compartir y sustentar estrategias de gestión y prácticas para la prevención y el control, todo ello con la participación integral de la comunidad, municipios y actores (a nivel transectorial) gubernamentales y académicos.

Ángel Francisco Betanzos Reyes

1

Huevo

Herón Huerta Jiménez, Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales

Esta es la primera etapa de vida y desarrollo del mosquito; en ésta es necesario que los mosquitos se mantengan en un ambiente acuático que les permita completar su desarrollo. Los huevos tienen forma de "banano", miden menos de 1 mm, son de color blanco en el momento de la oviposición (comportamiento de la hembra para colocar el huevecillo en un ambiente acuático) y, conforme pasan las horas, adquieren un color negro brillante (figura 1). Los huevos son depositados por la hembra de uno en uno al ras o justo por encima del agua, en donde se quedan adheridos a las paredes del criadero, recipiente o plantas flotantes. Las hembras pueden colocar de uno a varios huevecillos en diferentes criaderos como medida de sobrevivencia.[1]

Desarrollo

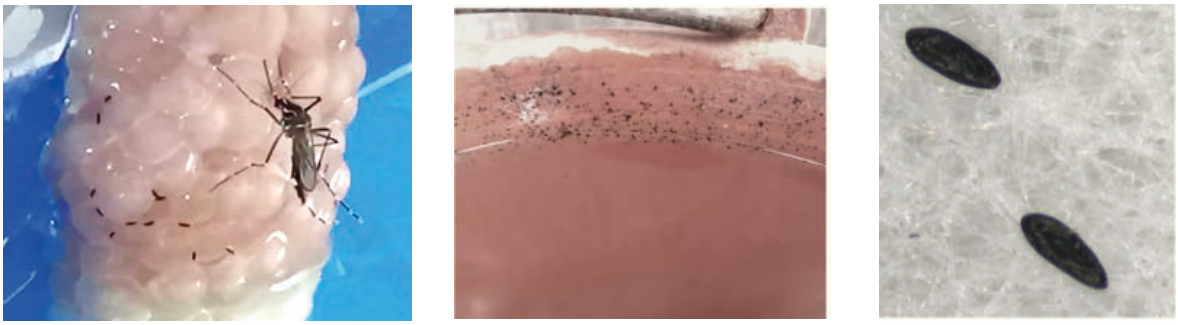
Una vez depositado el huevecillo en un ambiente propicio, las primeras horas del desarrollo embrionario son críticas y los factores microclimáticos son cruciales para la supervivencia del embrión,[2] el cual se desarrolla –si se encuentra bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad– en un lapso de dos a tres días.[3]

Por otro lado, la fecundación del huevo ocurre al momento de la postura (oviposición), debido a que los espermatozoides del macho son transferidos durante la cópula y se almacenan en una estructura denominada espermateca. Al pasar por el conducto (oviducto), los huevos reciben un espermatozoide que fecunda al óvulo, iniciando el desarrollo embrionario que transcurre generalmente en las primeras 48 horas.[3,4] Si la temperatura no es óptima, el desarrollo se puede prolongar por más tiempo.[5]

Cabe anotar que la cubierta delgada o "cáscara" del huevo está formada por cutícula, que es una estructura que contiene una capa denominada exocorión y endocorión, la cual provee de protección al huevo. Esta cubierta contiene diminutas estructuras como el micrópilo que permite el paso de gases respiratorios y evita la pérdida de agua.[4] Aquí, el periodo de viabilidad de los huevos puede verse afectado por el grado de desecación al que estén expuestos y a una humedad crítica, por ello, esta etapa es decisiva para su desarrollo.[3]

A la par, la estimulación de la eclosión de los huevos se da cuando éstos se sumergen en agua, en donde la concentración de oxígeno es baja; dicha oxigenación es posible gracias a la presencia de algunos compuestos u organismos que dan como resultado una actividad microbiana que reduce la tensión de oxígeno, lo cual es ideal para estimular el proceso de eclosión.[3] Algunos huevos eclosionan a los 15 minutos después de entrar en contacto con agua, pero otros huevecillos pueden no responder hasta que han sido sumergidos varias veces. Esta respuesta de los huevos al oxígeno disuelto está correlacionada con la abundancia de alimento.[6]

La eclosión de la larva ocurre a través de la ruptura del huevo y se realiza por medio de una línea transversal en el extremo más ancho del huevo, lo que posibilita la salida de la larva en un primer estadio.[3]



Oviposición de la hembra colocando los huevecillos en un criadero artificial

Huevecillos adheridos a las paredes del criadero artificial

Huevecillos recolectados en una ovitrampa

Figura 1. Huevecillos de género *Aedes*

Los huevos no fecundados generalmente permanecen en el agua sin eclosión.

Al respecto, existen notables diferencias entre especies de mosquitos: los mosquitos *Culex* (el mosquito común de las casas) coloca sus huevecillos unidos y formando una estructura en forma de "balsa" ovalada que flota en la superficie del agua; estas balsas de huevecillos suelen contener entre 150 a 300 huevecillos.[7] La balsa permanece flotando en la superficie del agua hasta la emergencia de las larvas. Por su parte, en el caso de los mosquitos *Anopheles* (mosquito vector del paludismo o malaria), las hembras colocan sus huevecillos individual y directamente sobre el agua, éstos se distinguen porque tienen una estructura denominada "flotadores" que les permite permanecer sobre la superficie del agua, pero no son capaces de resistir la desecación.[8]

Diapausa

La diapausa es un estado fisiológico endógeno (originado por el propio organismo) en donde determinados procesos de desarrollo se suspenden, lo cual a menudo se presenta bajo condiciones ambientales desfavorables, tales como temperaturas extremas, sequía o carencia de alimento.[3,9]

Una característica importante de los huevos de los mosquitos *Aedes* es que son tolerantes y resistentes a la desecación, esta condición les permite sobrevivir en ambientes secos, además de favorecer su transporte en diversos recipientes (como llantas, barriles, tambos, plantas, entre otros). Los huevos pueden entrar en diapausa cuando se presenta una baja temperatura y humedad o un ambiente muy seco,[3] incluso pueden sobrevivir en estas condiciones durante varios meses –aproximadamente un año– y eclosionar una vez que entran en contacto con el agua, lo cual generalmente favorece su dispersión y supervivencia en las estaciones secas.[3] Los huevos eclosionan de forma asincrónica varias semanas o incluso meses después cuando las condiciones son más favorables,[2] aunque es importante mencionar que los efectos de la temperatura y la humedad pueden afectar la mortalidad y viabilidad de los huevos.[8] A este respecto, cabe anotar que los requerimientos metabólicos –como los lípidos– son necesarios para satisfacer las necesidades energéticas al volver a entrar en el agua y permitir su eclosión y la supervivencia tras la rehidratación.[3]

Asimismo, los huevos pueden transportarse a largas distancias en contenedores secos, por ejemplo, la dispersión del mosquito *Aedes albopictus* –"tigre asiático"– fue favorecida por la distribución del transporte de neumáticos en Matamoros, Tamaulipas en 1988. Este mosquito es originario de Asia tropical y probablemente se introdujo por medio del transporte de neumáticos usados que fueron importados desde Asia.[10] Desde entonces, este vector se ha dispersado

ampliamente en México y, actualmente, se distribuye en diversas regiones tropicales y subtropicales de la República mexicana.[11] Además, es una de las especies de mosquitos más importantes, debido a la variedad de patógenos que puede transmitir y la rápida dispersión en México, por lo que se debe considerar como un riesgo y amenaza potencial para la salud pública.

En este sentido, es importante tomar en cuenta la resistencia a la desecación que los huevos poseen, pues es uno de los factores biológicos más relevantes en el control de los mosquitos vectores, ya que esto le ha permitido extenderse en una amplia distribución geográfica, a lo largo de diferentes continentes incluyendo las Américas.[12,13] También, la viabilidad y sobrevivencia de los huevos es muy relevante debido a que pueden infectarse de varias especies de virus cuando sus madres están infectadas (transmisión vertical)[14] y las hembras que se originan de huevos infectados –que sobreviven la desecación– pueden iniciar nuevos ciclos de transmisión de las enfermedades.

Referencias

1. Rey JR, Lounibos P. Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión de enfermedades. Biomedica. 2015;35(2):177-85. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i2.2514
2. Farnesi LC, Martins AJ, Valle D, Rezende GL. Embryonic development of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): influence of different constant temperatures. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2009;104(1):124-6. https://doi.org/10.1590/S0074-02762009000100020
3. Christophers SR. *Aedes aegypti* (L.). The yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Londres: Cambridge University Press, 2009; 739 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19602901825
4. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 1. Development, nutrition and reproduction. Reino Unido: Chapman & Hall, 1992; 535 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851993744.0000
5. Nelson MJ. *Aedes aegypti*: biology and ecology. Washington, D.C.: Pan American Health Organization, 1986. Disponible en: https://iris.paho.org/handle/10665.2/28514
6. Metz HC, Miller AK, You J, Akorli J, Avila FW, Buckner EA, *et al*. Evolution of a mosquito's hatching behavior to match its human-provided habitat. Am Naturalist. 2023;201(2):200-14. https://doi.org/10.1086/722481
7. Wood DM, Dang PT, Ellis RA. The mosquitoes of Canada (Diptera: Culicidae) Part 6. The Insects and arachnids of Canada. Research Branch. Canada: Department of Agriculture Publication, 1979; 274-6 p. Disponible en: https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/agrhist/A42-42-1979-6-eng.pdf
8. Leite LN, Bascuñán P, Dotson EM, Benedict MQ. Anopheles egg collection, disinfection, and hatching. Cold Spring Harb Protoc. 2024;1(3):108-86. https://doi.org/10.1101/pdb.prot108186
9. Wilkerson RC, Linton Y-M, Strickman D. Mosquitoes of the world. Volumen 1 and 2. EUA: Johns Hopkins University Press, 2021; 1308 p. Disponible en: https://doi.org/10.1353/book.79680
10. Craven RB, Eliason DA, Francy DB, Reiter P, Campos EG, Jakob WL, *et al*. Importation of *Aedes albopictus* and other exotic mosquito species into the United States in used tires from Asia. J Am Mosquito Control Assoc. 1988;4(2):138-42. Disponible en: https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/JAMCA_V04_N2_P138-142.pdf
11. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQN, Shearer FM, Barker CM, *et al*. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. Elife. 2015;4:e08347. https://doi.org/10.7554/eLife.08347
12. Ortega-Morales AI, Pérez-Rentería C, Ordóñez-Álvarez J, Salazar JA, Dzul-Manzanilla F, *et al*. Update on the dispersal of *Aedes albopictus* in Mexico: 1988–2021. Front Trop Dis. 2022;2:814205. https://doi.org/10.3389/fitd.2021.814205
13. Gubler DJ. Resurgent vector-borne diseases as a global health problem. Emer Infect Dis. 1998;4(3):442-50. https://doi.org/10.3201/eid0403.980326
14. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 3. Viral and bacterial pathogens and bacterial symbionts. Reino Unido: Cambridge University Press, 2012; 571 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845932428.0000

2

Larva

Herón Huerta Jiménez, Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales

En esta segunda etapa de desarrollo del mosquito es indispensable un ambiente acuático para la supervivencia de las larvas, las cuales se desarrollan en cuatro diferentes etapas: larvas de primer estadio, segundo estadio, tercer estadio y cuarto estadio o larva madura. Las diferencias entre estos estadios son principalmente por su tamaño, en este sentido, la larva recién emergida del huevo es de primer estadio y conforme se desarrollan pasan por las diferentes etapas ya descritas.

El cuerpo de la larva es generalmente aplanado dorsoventralmente con gran variedad de sedas que revisten la superficie del cuerpo y se observan –de manera general– tres partes distintivas: cabeza, tórax y abdomen[1] (figura 1). La cabeza contiene el aparato bucal y antenas, el tórax es robusto y globular y el abdomen contiene nueve segmentos en cuya parte posterior se distingue un sifón cónico o tubular para la respiración, el cual, para el caso específico de los mosquitos *Anopheles*, se modifica en un par de orificios (espiráculos) que son dispuestos sobre la superficie del agua.

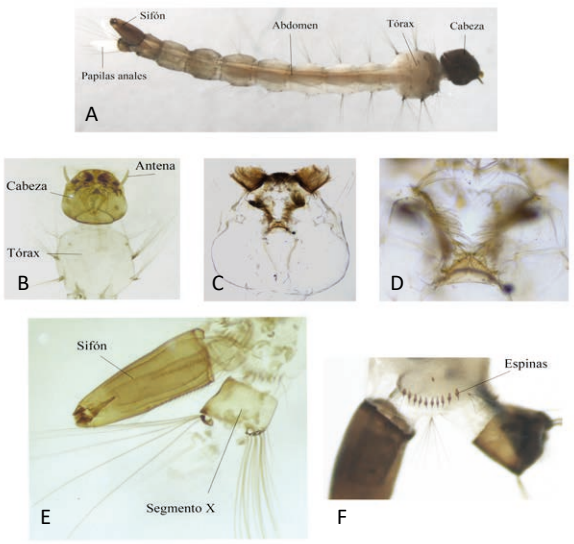
Alimentación

La mayoría de las larvas se alimentan por la filtración de agua proveniente de diminutas plantas y animales (denominados microplancton), incluyendo gran variedad de bacterias, algas, protozoarios, esporas de hongos, granos de polen y partículas de materia orgánica que flotan en el medio y que se encuentran suspendidas en la columna de agua.[2,3] Las larvas se encuentran en constante movimiento debido a este proceso.

La cabeza de la larva contiene las piezas bucales que actúan como un mecanismo de filtración, las cuales incluyen –de manera general– la cavidad preoral, cepillos bucales, mandíbulas, maxilas, labio, hipofaringe y *labrum*, piezas que durante la alimentación se mueven en sintonía para tomar el alimento del medio[2,3] (figura 1).

Por otra parte, ciertas especies de mosquitos son específicamente depredadoras, éstas se alimentan principalmente de otras larvas de insectos, lo cual ha modificado sus piezas bucales. Esto está presente en algunos grupos de los géneros *Culex*, *Psorophora* y *Toxorhynchites*. Al respecto, algunas larvas pueden presentar variaciones de color, lo cual puede estar relacionado con su alimentación o con la acumulación de pigmento en las células epidérmicas.[4]

Asimismo, algunos factores ambientales, principalmente la temperatura, salinidad, pH y la disponibilidad del recurso alimenticio, afectan directamente el desarrollo de la larva.[5] La tasa de crecimiento de la larva está directamente relacionada con la temperatura y suministro de alimentación adecuada; en condiciones de inanición, la fase larvaria puede prolongarse varios meses para desarrollarse.[4] También, el tamaño de la larva puede afectarse por la variación de temperaturas, por ejemplo, en altas temperaturas las larvas alcanzan un tamaño pequeño, en contraste con bajas temperaturas, en donde se producen larvas más grandes.[2] Cuando las larvas están sometidas a temperatu-



A. Larva en vista dorsal
B. Cabeza y tórax en vista ventral
C. Cabeza en vista ventral con el aparato bucal
D. Cabeza en vista ventral, detalle del aparato bucal
E. Sifón y segmento X del abdomen en vista lateral
F. Espinas del segmento VIII del abdomen

Figura 1. Características de la larva

ras fluctuantes existe una tendencia a que el desarrollo sea más rápido, en comparación con una temperatura constante.[2] A bajas temperaturas se puede afectar la probabilidad de sobrevivencia, excepto en aquellas especies adaptadas a dichas condiciones.[6]

Criaderos

Los criaderos son los ambientes acuáticos propicios para el desarrollo de los huevecillos, larvas y pupas de mosquitos. Se han descrito principalmente dos tipos: el ambiente natural (por ejemplo, estanques, charcos, huecos de árbol, rocas y plantas que almacenan agua) y el ambiente artificial (por ejemplo, tambos, cubetas, llantas y una gran variedad de recipientes que almacenan agua) (figuras 2 y 3). En este sentido, la urbanización conlleva al aumento de la cantidad de contenedores artificiales, los cuales se presentan en todo el mundo debido a las actividades humanas.[7]

Para la mayoría de las especies de mosquitos, las larvas requieren agua dulce (con menos grado de salinidad en comparación con aguas salinas), asimismo, la distribución de las larvas en criaderos naturales puede variar de acuerdo con las condiciones de alcalinidad y la salinidad del agua[6] o también, algunas larvas de mosquitos *Culex* pueden desarrollarse en aguas con cierto nivel de contaminación o en drenajes.[7] Existen algunas especies de mosquitos, como *Culex salinarius*, con capacidad para desarrollarse en condiciones de alta salinidad que no son propicias para el desarrollo de otras especies de mosquitos.[2,3]

Por otro lado, los ambientes artificiales son los recipientes manufacturados por el humano, los cuales propician el desarrollo de los huevecillos, larvas y pupas debido a las condiciones ecológicas bióticas (plantas y animales asociados) y abióticas (agua, aire, luz temperatura, minerales, etc).[8] Estos recipientes se encuentran ampliamente distribuidos en las áreas urbanas y suburbanas y están relacionados directamente con los hábitos (uso, disposición, ubicación, acumulación y reciclado de materiales) de la población humana.[8,9] Pueden encontrarse en el interior de las viviendas (intradomicilio) o en el exterior de las viviendas (peridomicilio) y en todos los espacios públicos. Tienen una amplia diversidad de tamaños, formas, color, manufactura y diferentes volúmenes (por ejemplo, llantas, cubetas, tambos, latas, floreros, etc.), los cuales facilitan la acumulación de agua temporal o permanente, permitiendo la acumulación de materia orgánica de origen vegetal y animal, condiciones que favorecen el desarrollo de los mosquitos.[8,9] Los cementerios son considerados ambientes importantes para el desarrollo de los mosquitos debido a la acumulación regular de agua en los contenedores o floreros.[9] Otros lugares que son importantes son los predios a cielo abierto en donde se encuentran llantas, vertederos, tiraderos, rellenos sanitarios o basureros, depósitos de chatarra o vehículos, los cuales propician la acumulación de agua de lluvia.[10]

En este entendido, cabe señalar que la diversidad de especies de mosquitos que utilizan estos criaderos es baja, ya que éstos son aprovechados principalmente por especies invasoras como *Aedes aegypti*, *Aedes al-*

Figura 2. Criaderos artificiales

Figura 3. Criaderos artificiales

bopictus y otras especies locales, como *Aedes epactius* y *Culex quinquefasciatus*, por lo que estas especies pueden establecerse en los criaderos con condiciones más favorables para el desarrollo de su progenie, lo que condiciona a que la estructura de las comunidades de mosquitos proliferen en el mismo ambiente (humanos y poblaciones de mosquitos).[11]

En general, las hembras son muy selectivas en la elección de los criaderos donde poner sus huevos. Para ello utilizan mecanismos sensoriales olfatorios,

Larvas de mosquitos *Aedes*

Larvas de mosquitos *Culex*. A diferencia de otros grupos de mosquitos, el sifón es alargado

Figura 4. Larvas desarrollándose en un criadero

visuales, táctiles que les permiten localizar sitios adecuados, por lo tanto, la distribución de criaderos en un área está directamente condicionada a la selección de las hembras y su oviposición.[12] Incluso algunos experimentos han sugerido que las hembras podrían seleccionar criaderos por las condiciones favorables o por la detección de otros individuos de la misma especie.[13,14]

A su vez, los criaderos más favorables son determinados por la disponibilidad de los diferentes recursos que necesitan los mosquitos (condiciones ambientales estables, refugio, pocos depredadores, diferentes fuentes de alimento, heterogeneidad de macro y microambientes) (figura 4). Finalmente, la oviposición de los mosquitos puede ocurrir en diversos tipos de criaderos como una estrategia para favorecer su éxito reproductivo.[10,11] En las áreas en donde coexisten dos diferentes especies de mosquitos vectores, por ejemplo, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, puede establecerse una segregación de los ambientes de ovipostura; esto es, la primera prefiere primordialmente las áreas urbanas y, la otra, abunda mayormente en áreas rurales o semi rurales con mayor vegetación, sin embargo, ambas pueden coexistir en las áreas periurbanas.[12]

Referencias

1. Harbach RE. Composition and nature of the Culicidae (mosquitoes). Glasgow, Reino Unido: Royal Entomological Society, 2024; 572 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781800628014.0000
2. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 1. Development, nutrition and reproduction. Reino Unido: Chapman & Hall, 1992; 535 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851993744.0000
3. Clements AN. The biology of mosquitoes: Volumen 2. Sensory reception and behaviour. Wallingford, Reino Unido: CABI, 1999; 758 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851993133.0000
4. Christophers S. *Aedes aegypti* (L). The yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Londres: Cambridge University Press, 1960; 739 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19602901825
5. Yee DA, Kneitel JM, Juliano SA. Environmental correlates of abundances of mosquito species and stages in discarded vehicle tires.

J Med Entomol. 2010;47(1):53-62. https://doi.org/10.1603/033.047.0107

6. Wood DM, Dang PT, Ellis RA. The mosquitoes of Canada (Diptera: Culicidae) Part 6. The insects and arachnids of Canada. Research Branch. Canada: Department of Agriculture Publication, 1979; 274-6 p. Disponible en: https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/agrhist/A42-42-1979-6-eng.pdf
7. Vezzani D. Review: artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. Trop Med Int Health. 2007;12(2):299-313. https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2006.01781.x.
8. Huzortey AA, Kudom A, Mensah BA, Sefa-Ntiri B, Anderson B, Akyea A. Water quality assessment in mosquito breeding habitats based on dissolved organic matter and chlorophyll measurements by laser-induced fluorescence spectroscopy. PLoS One. 2022;17(7):e0252248. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252248
9. Grech MG, Ludueña-Almeida FF. Mosquitos que crían en microambientes artificiales. En: Berón CM, Campos RE, Gleiser RM, Díaz-Nieto LM, Salomón OD, Schweigmann N, editores. Investigaciones sobre mosquitos de Argentina. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2017. 142-155 p. Disponible en: http://hdl.handle.net/11336/106998
10. Villegas-Trejo A, Che-Mendoza A, González-Fernández M, Guillermo-May G, González-Bejarano H, Dzul-Manzanilla F, *et al.* Control enfocado de *Aedes aegypti* en localidades de alto riesgo de transmisión de dengue en Morelos, México. Salud Publica Mex. 2011;53(2):141-51. Disponible en: https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7035/9060
11. Washburn JO. Regulatory factors affecting larval mosquito populations in container and pool habitats: implications for biological control. J Am Mosquito Control Assoc. 1995;11(2):279-83. Disponible en: https://www.biodiversitylibrary.org/content/part/JAMCA/JAMCA_V11_N2_P279-283.Pdf
12. Rey JR, Lounibos P. Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión de enfermedades. Biomedica. 2015;35(2):177-85. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i2.2514
13. Chadee DD, Corbft PS, Grennwood JJD. Egg laying yellow fever mosquitoes avoid sites containing eggs laid by themselves or by conspecifics. Entomol Exp Appl. 1990;57:295-8. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1990.tb01442.x
14. Almirón WR, Ludueña AFF, Domínguez MC. Preferencia de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) por sitios para oviposición con diferentes niveles de precolonización y exposición al sol. Rev Soc Entomol Argentina. 1999;58(3-4):159-64. Disponible en: https://www.biotaxa.org/RSEA/article/view/32595

3

Pupa

Herón Huerta Jiménez, Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales

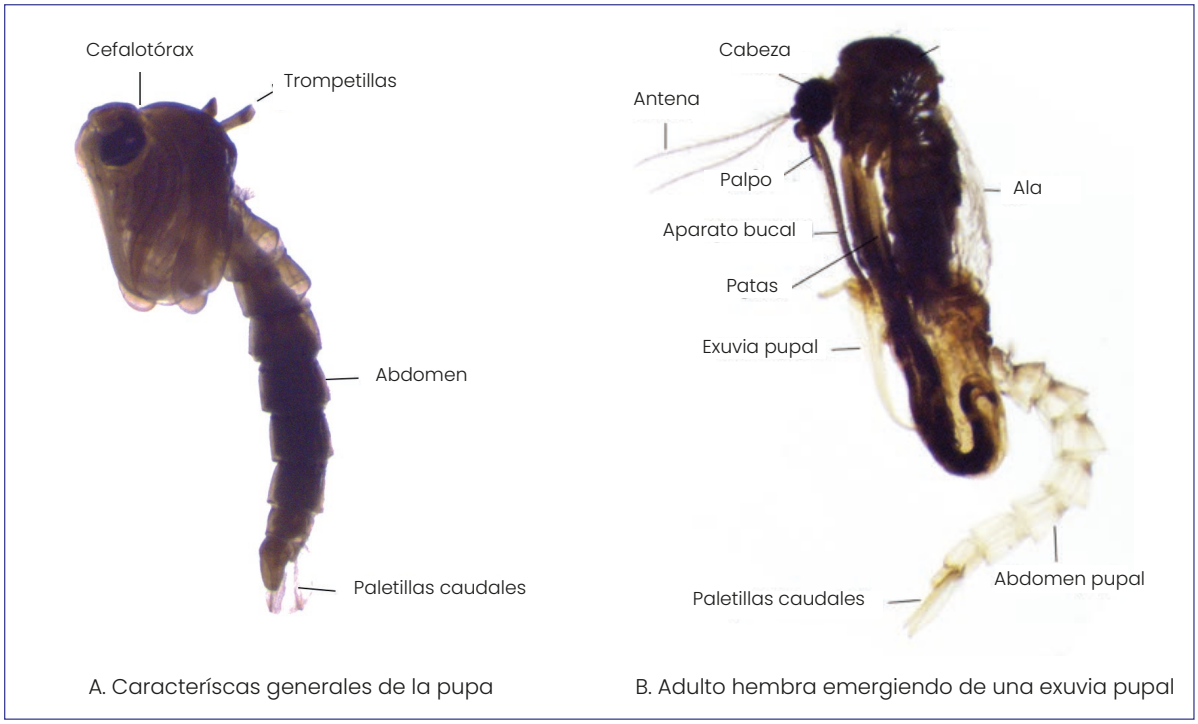
La etapa de pupa corresponde al tercer estado del ciclo del mosquito; en éste, la pupa se desarrolla estrictamente en ambientes acuáticos (aunque cabe anotar que las pupas pueden sobrevivir algunas horas sin agua)[1] y su cuerpo tiene una forma que aparenta el signo de una coma (figura 1), la porción anterior denominada cefalotórax (estructuras que conforman la cabeza y el tórax) tiene forma globular y en la porción posterior se dispone el abdomen, que es más delgado y generalmente flexionado por debajo del cefalotórax.[1]

Una vez formada la pupa, ésta deja de alimentarse, pues su función principal es formar y desarrollar los órganos y estructuras del cuerpo del mosquito adulto a través de cambios estructurales y fisiológicos utilizando los nutrientes que adquirió en su etapa larvaria.[2] De manera general, esta etapa transcurre en un periodo de dos a tres días en condiciones óptimas de temperatura. Las pupas recién formadas son generalmente más pequeñas que las pupas maduras y son de color pálido claro, estas últimas ya contienen los órganos y estructuras desarrolladas del mosquito adulto, por lo que es sencillo observar (a través de un microscopio) si una pupa será hembra o macho. Lo anterior se detecta mediante las características de la antena o estructuras genitales del abdomen.

Adicionalmente, la pupa tiene la capacidad de flotar y moverse rápidamente en el agua del criadero y, por lo general, hacen contacto con la tensión superficial del agua a través de los órganos de respiración denominados trompetillas, las cuales son estructuras en forma de tubos que conducen al sistema respiratorio de la pupa y se ubican lateralmente en el cefalotórax[3] (figura 2). La actividad de las pupas generalmente ocurre en la superficie del agua y, ante cualquier estimulo de luz, sombra, vibración o perturbación, tienden a nadar hacia abajo del criadero y vuelven subir a la superficie para respirar, de ahí el nombre común de maromeros. El movimiento de la pupa es impulsado por unas estructuras a manera de remos denominadas paletillas caudales, que se encuentran en el último segmento abdominal y con las cuales se desplazan rápidamente de un lugar a otro.

La emersión del mosquito adulto de la pupa puede durar algunos minutos (en algunas especies este proceso ocurre al amanecer o al atardecer); éste sale lentamente a través de la exuvia (cutícula restante o cubierta exterior) y se posa sobre la superficie del agua hasta que sale por completo, extiende las alas hasta secarse y, posteriormente, sale volando del criadero[1] (figura 1). En cuanto a la exuvia, ésta tiende a endurecerse y quedar en la superficie del agua.[4] Cabe señalar que los mosquitos macho suelen emerger primero que las hembras.

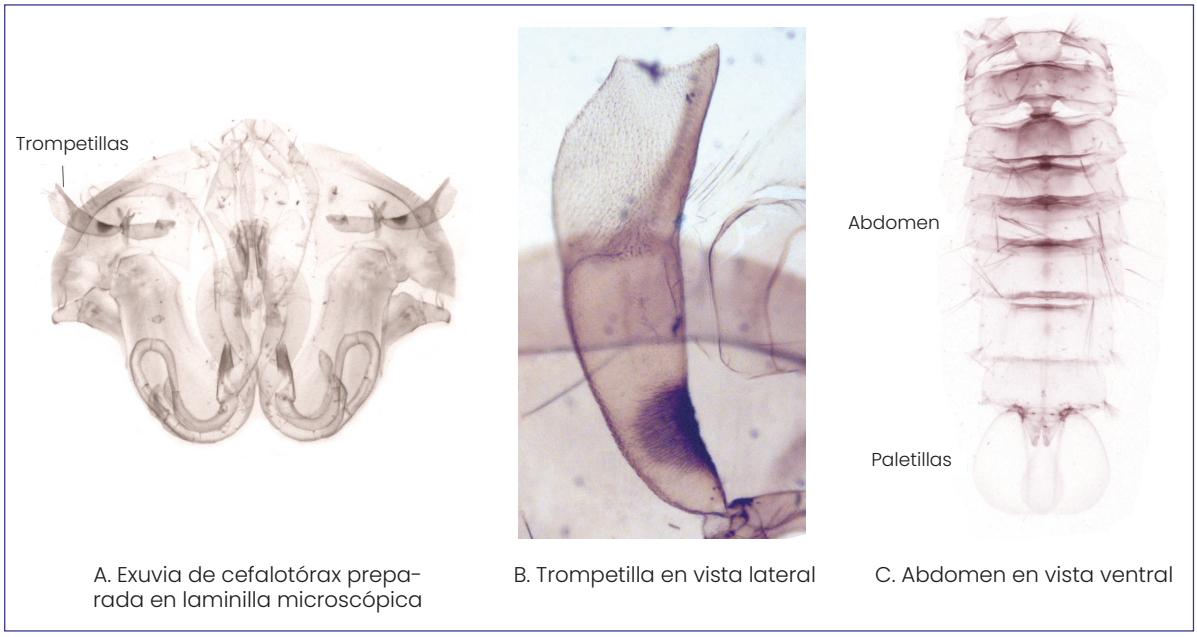
En general, las pupas masculinas son mucho más pequeñas que las pupas femeninas,[5] pero la forma de pupa de las diferentes especies de mosquitos en apariencia es similar, sin embargo, se diferencian en algunos detalles de la forma de las "trompetillas" respiratorias, también en la disposición de las sedas que revisten el cuerpo y, especialmente, en los segmentos abdominales y la forma de paletillas caudales.[5]



A. Caracteríscas generales de la pupa

B. Adulto hembra emergiendo de una exuvia pupal

Figura 1. Características de la pupa



A. Exuvia de cefalotórax preparada en laminilla microscópica

B. Trompetilla en vista lateral

C. Abdomen en vista ventral

Figura 2. Características de la pupa

Referencias

1. Christophers S. *Aedes aegypti* (L). The yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Londres: Cambridge University Press, 1960; 739 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19602901825
2. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 1. Development, nutrition and reproduction. Reino Unido: Chapman & Hall, 1992; 535 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851993744.0000
3. Harbach RE. Composition and nature of the *Culicidae* (mosquitoes). Glasgow, Reino Unido: Royal Entomological Society, 2024; 572 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781800628014.0000
4. Organization for Economic Co-operation and Development. Ecology of the mosquito *Ae. Aegypti.* En: OECD. Safety assessment of transgenic organisms in the environment, volume 8. París: OECD Publishing, 2018. Disponible en: https://doi.org/10.1787/9789264302235-8-en
5. Yamany AS, Adham FK, Abdel-Gaber R. Morphological description of the pupa of *Aedes aegypti* (Diptera: *Culicidae*) using a scanning electron microscope. Arq Bras Med Vet Zoo. 2024;76(1):43-54. https://doi.org/10.1590/1678-4162-13120

4

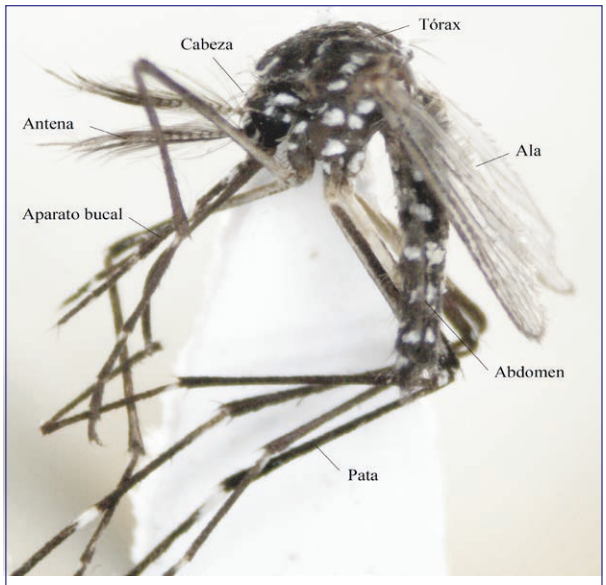
Adulto

Herón Huerta Jiménez, Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales

La etapa de adulto es la última fase del ciclo de vida del mosquito a la que se le conoce como las formas reproductivas sexuales hembra y macho. Las hembras son hematófagas (hábito de alimentación de sangre de algún animal vertebrado por medio de un aparato bucal especializado) y el macho no se alimenta de sangre, pero ambos sexos pueden ingerir líquidos como néctar de flores o zumo, los cuales proporcionan azúcares y agua.[1]

Por otro lado, existe un marcado dimorfismo sexual en los adultos: el macho se distingue de la hembra por sus antenas plumosas (figuras 1, 2 y 3) y también por las estructuras genitales externas en forma de pinzas de cangrejo dispuestas en el extremo distal del abdomen, con las cuales se aferra a la hembra durante la cópula (figura 5 y capitulo 5).

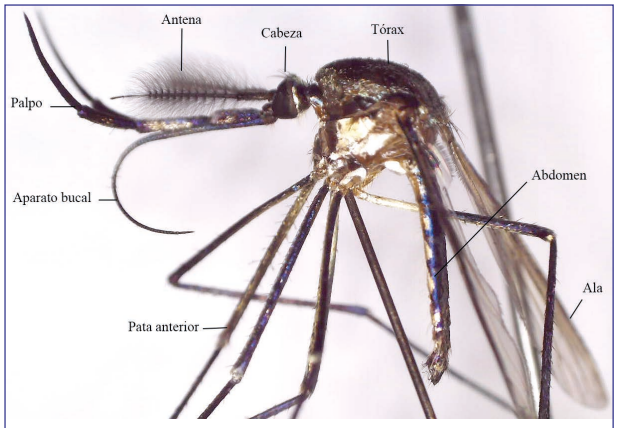
Cabe anotar que los machos utilizan información visual y acústica para detectar a las hembras y atraerlas.[2] Ellos exhiben diferentes comportamientos, entre los más conocidos se encuentra la formación de enjambres, cuya función es atraer a las hembras para formar parejas durante la cópula.[1] El enjambre (figura 4) es un comportamiento natural de apareamiento de los mosquitos en el que se forman agregaciones aéreas de machos; este comportamiento usualmente ocurre al amanecer y atardecer, sin embargo, el apareamiento en varias especies no está restringido a un horario específico del día, ya que puede ocurrir en diferentes horarios y en diferentes sitios, no necesariamente en el enjambre.[1,2]



Mosquito macho del género *Aedes* preservado en triángulo entomológico en vista lateral

Figura 1. Características de los mosquitos adultos

En cuanto a los sitios de descanso de los mosquitos, éstos prefieren ambientes naturales sobre la vegetación, cavidades de árboles, grietas de rocas y/o madrigueras de animales.[3] Aparentemente, los mosquitos seleccionan sitios de descanso bajo condiciones microclimáticas adecuadas para minimizar el estrés



Mosquito macho del género *Toxorhynchites* preservado en alfiler entomológico en vista lateral

Figura 2. Características de los mosquitos adultos

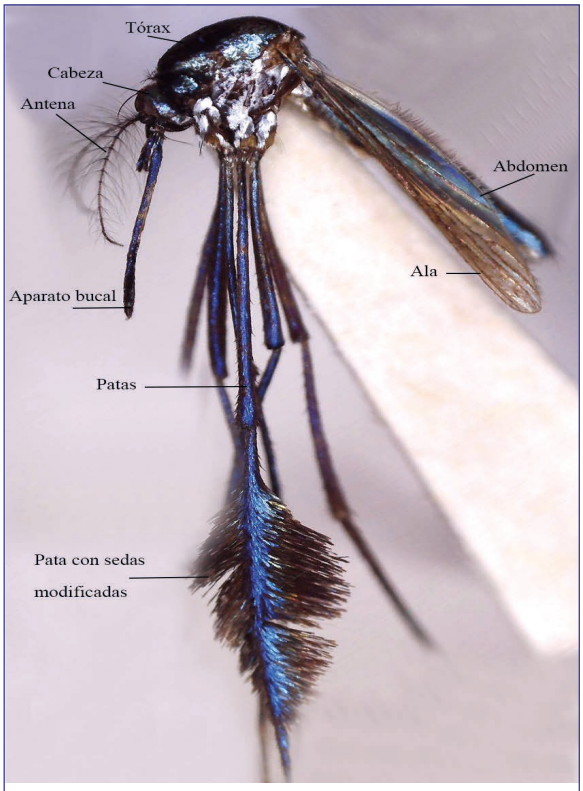
fisiológico,[4] por ejemplo, los ambientes urbanos y semiurbanos son ideales para el descanso, en específico, los interiores de las viviendas en donde se posan en las partes inferiores de las paredes, lo cual puede variar de acuerdo con el tipo de vivienda, siendo dormitorios y baños los lugares preferidos.[5,6]

Por su parte, la alimentación de los mosquitos es a base de azúcares, esto les brinda una excelente fuente de energía y nutrición, aunado a que ayuda a su supervivencia, longevidad y fisiología reproductiva.[7] La alimentación de las hembras incluye una gran variedad de vertebrados, lo cual es necesario para el desarrollo de sus huevos, sin embargo, dado que este es un proceso cíclico, condiciona su capacidad de transmisión de patógenos.[7]

En línea con lo anterior, el comportamiento de la hembra es determinante debido a su capacidad de transmitir patógenos que producen enfermedades que afectan a la salud pública, tales como dengue, chikungunya, Zika, fiebre amarilla, entre otras. Los mosquitos antropofílicos (que tienen preferencia de alimentarse de humanos, más que de animales) y el hábito endofílico (preferencia de picar en el interior de las casas) aumentan la posibilidad de infectarse y de transmitir patógenos.

A la par, el ciclo reproductivo de la hembra es un proceso biológico denominado ciclo gonotrófico, el cual es un periodo que transcurre desde que una hembra se alimenta y digiere la sangre, la maduración de ovarios, desarrollo de los huevecillos, hasta la oviposición. Se considera que poco después de cada oviposición las hembras vuelven a alimentarse de sangre.[8] La duración de este ciclo puede ser modificado por factores ambientales que están directamente asociados con el crecimiento poblacional de los vectores, a la capacidad y a la competencia vectorial.[9,10] Así, una reducción del tiempo para completar el ciclo gonotrófico tiene implicaciones epidemiológicas, pues se aumenta la frecuencia de picadura en los humanos.[11]

Al respecto, *Aedes aegypti* se alimenta preferentemente de humanos (figura 5) y la estrategia de oviposición ocurre en convivencia con estos.[12,13] Asimismo, la estructura poblacional de los mosquitos está directamente relacionada con el desarrollo del ciclo gono-



Mosquito hembra del género *Sabethes* preservado en triángulo entomológico en vista lateral

Figura 3. Características de los mosquitos adultos

Figura 4. Mosquitos adultos en cultivo

Figura 5. Hembra de mosquito alimentándose

trófico,[10] por ejemplo, la especie *Aedes aegypti* tiene un amplio rango de huéspedes vertebrados como fuentes de sangre (bovinos, caballos, cerdos, ganado vacuno, gatos, ovejas, perros, pollos, ratas y diferentes especies animales),[14] pero es antropofílica y puede alimentarse varias veces durante un ciclo gonotrófico.[14,15]

En este sentido, las hembras –al alimentarse de un huésped infectado– pueden ingerir la sangre con patógenos (virus), estos se replican y se establecen en las glándulas salivales del mosquito, lo que los vuelve infectivos. El tiempo transcurrido entre la toma de sangre infectada y la capacidad de transmitir los virus mediante la saliva se denomina periodo de incubación extrínseco,[16] el cual ocurre generalmente en siete días.[17] La duración de este periodo y del ciclo gonotrófico, aunado a la longevidad de las hembras, deben considerarse dentro del periodo de riesgo epidemiológico de infección.[18]

Finalmente, cabe anotar que las poblaciones de mosquitos pueden adaptarse rápidamente a los cambios del entorno provocados por el humano,[13] así, en la medida en que las poblaciones humanas sigan en aumento y extendiéndose a través de los entornos urbanos que se establecen de manera anárquica, es decir, sin planeación para la implementación adecuada de servicios, la interacción ecológica con las poblaciones de mosquitos conllevará a riesgos a la salud.[19] Además, la introducción de especies exóticas y patógenos se facilita en estos entornos urbanos, la cual es ocasionado por la disminución de las especies autóctonas.[20]

Referencias

1. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 2. Sensory reception and behaviour. Reino Unido: CABI, 1999; 758 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851993133.0000
2. Gupta S, Cribellier A, Poda SB, Roux O, Muijres FT, Riffell JA. Mosquitoes integrate visual and acoustic cues to mediate conspecific interactions in swarms. Curr Biol. 2024;34(18):4091-103. https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.07.043
3. Service MW. The daytime distribution of mosquitoes resting in vegetation. J Med Entomol. 1971;8(3):271-8. https://doi.org/10.1093/jmedent/8.3.271
4. Sauer FG, Grave J, Luhken R, Kiel E. Habitat and microclimate affect the resting site selection of mosquitoes. Med Vet Entomol. 2021;35(3):379-88. https://doi.org/10.1111/mve.12506
5. Manrique-Saide P, Dean NE, Halloran ME, Longini IM, Collins MH, Waller LA, *et al*. The TIRS trial: protocol for a cluster randomized controlled trial assessing the efficacy of preventive targeted indoor residual spraying to reduce Aedes-borne viral illnesses in Merida, Mexico. Trials. 2020;21(1):839. https://doi.org/10.1186/s13063-020-04780-7
6. Dzul-Manzanilla F, Ibarra-López J, Bibiano-Marín W, Martini-Jaimes A, Leyva JT, Correa-Morales F, *et al*. Indoor resting behavior of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Acapulco, Mexico. J Med

Entomol. 2017;54(3):501-4. https://doi.org/10.1093/jme/tjw203

7. Olson MF, Garcia-Luna S, Juarez JG, Martin E, Harrington LC, Eubanks MD, *et al*. Sugar feeding patterns for *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) mosquitoes in South Texas. J Med Entomol. 2020;57(4):1111-9. https://doi.org/10.1093/jme/tjaa005
8. Christophers S. *Aedes aegypti* (L.). The yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure. Londres: Cambridge University Press, 1960; 739 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19602901825
9. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 3. Viral and bacterial pathogens and bacterial symbionts. Reino Unido: Cambridge University Press, 2012; 571 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845932428.0000
10. Casas-Martínez M, Tamayo-Domínguez R, Bond-Compeán JG, Rojas JC, Weber M, Ulloa-García A. Oogenic development and gonotrophic cycle of Aedes aegypti and *Aedes albopictus* in laboratory. Salud Publica Mex. 2020;62(4):372-8. https://doi.org/10.21149/10164
11. Rey JR, Lounibos P. Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión de enfermedades. Biomedica. 2015;35(2):177-85. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i2.2514
12. McBride CS, Baier F, Omondi AB, Spitzer SA, Lutomiah J, Sang R. Evolution of mosquito preference for humans linked to an odorant receptor. Nature. 2014;515:222-7. https://doi.org/10.1038/nature13964
13. Metz HC, Miller AK, You J, Akorli J, Avila FW, Buckner EA, *et al*. Evolution of a mosquito's hatching behavior to match its human-provided habitat. Am Nat. 2023;201(2):200-14. https://doi.org/10.1086/722481
14. Sene NM, Diouf B, Gaye A, Ndiaye EH, Ngom EM, Gueye A, *et al*. Blood feeding patterns of *Aedes aegypti* populations in Senegal. Am J Trop Med Hyg. 2022;106(5):1402-5. https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0508
15. Scott TW, Chow E, Strickman D, Kittayapong P, Wirtz RA, Lorenz LH, *et al*. Blood-feeding patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) collected in a rural Thai village. J Med Entomol. 1993;30(5):922-7. https://doi.org/10.1093/jmedent/30.5.922
16. Focks DA, Haile DG, Daniels E, Mount GA. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): simulation results and validation. J Med Entomol. 1993;30(6):1018-28. https://doi.org/10.1093/jmedent/30.6.1018
17. Ernst KC, Walker KR, Reyes-Castro P, Joy TK, Castro-Luque AL, Diaz-Caravantes RE, *et al*. *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) longevity and differential emergence of dengue fever in two cities in Sonora, Mexico. J Med Entomol. 2017;54(1):204-11. https://doi.org/10.1093/jme/tjw141
18. Salazar MI, Richardson JH, Sánchez-Vargas I, Olson KE, Beaty BJ. Dengue virus type 2: replication and tropisms in orally infected *Aedes aegypti* mosquitoes. BMC Microbiol. 2007;7(9):1-13. https://doi.org/10.1186/1471-2180-7-9
19. Hopken MW, Reyes-Torres LJ, Scavo N, Piaggio AJ, Abdo Z, Taylor D, *et al*. Temporal and spatial blood feeding patterns of urban mosquitoes in the San Juan Metropolitan Area, Puerto Rico. Insects. 2021;12(2):129. https://doi.org/10.3390/insects12020129
20. Brown HE, Childs JE, Diuk-Wasser MA, Fish D. Ecologic factors associated with West Nile virus transmission, northeastern United States. Emerg Infect Dis. 2008;14(10):1539-45. https://doi.org/10.3201/eid1410.071396

5

Especies exóticas y diversidad de mosquitos

Herón Huerta Jiménez, Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Felipe Antonio Dzul Manzanilla, Fabián Correa Morales

Los mosquitos son un grupo de animales muy antiguo en nuestro planeta; existen ejemplares fósiles que han sido datados con una antigüedad cercana a los 100 millones de años, los cuales se encuentran preservados en ámbar y han sido identificados como pertenecientes a la época del Cretácico, como es el caso del mosquito *Toxorhynchites mexicanus*,[1,2] especie encontrada en Chiapas, México, la cual yacía en conservación en ámbar.

Al respecto, el hallazgo de un fósil de un mosquito con sangre es evidencia de que algunas especies se alimentaban de sangre de animales,[3] lo cual a la vez sustenta que, desde hace mucho tiempo, diversas especies de mosquitos se fueron adaptando a diferentes ambientes en la naturaleza, mediante cambios evolutivos a través de millones de años y que, como resultado de estos procesos biológicos evolutivos, en la actualidad exista una gran variedad de especies en diferentes ambientes del mundo.

Las especies exóticas invasoras como, por ejemplo, los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, son especies que no son nativas, pero que han invadido nuevos ambientes en otras regiones.[4] Estas especies son capaces de establecerse y aprovechar los recursos naturales, afectando a otras especies nativas, incluso algunas de ellas pueden ser perjudiciales, ya que son vectores de patógenos (por ejemplo, transmitir virus) y afectar en gran medida a la salud pública de esa nueva región.[5]

En línea con lo anterior, se han identificado 3 726 especies de mosquitos agrupadas en dos subfamilias y 41 géneros a nivel mundial.[6] En México, se han registrado 247 especies agrupadas en 21 géneros (cuadro I), cerca de 16% de ellas están involucradas en la transmisión de patógenos que afectan a la salud humana y animal[7] (cuadro II). Estas especies de importancia médica se agrupan en 10 principales géneros: *Aedes, Anopheles, Culex, Coquillettidia, Culiseta, Haemagogus, Psorophora, Mansonia, Sabethes* y *Trichoprosopon*. Dentro de esta diversidad se incluyen las especies exóticas invasoras (cuadro II), siendo dos especies vectores más competentes para la transmisión de arbovirus en México. Por ejemplo, el mosquito *Aedes aegypti* es originario de la región tropical africana, pero actualmente se distribuye en muchas regiones tropicales y subtropicales de varios países alrededor del mundo,[4] específicamente, se encuentra en ecosistemas diversos que les posibilitan ambientes y condiciones para criar y desarrollarse, como son las áreas urbanas, altamente favorables para estas especies exóticas invasoras.[8]

Así, en la medida en que la población humana se incrementa, también se han modificado los ambientes debido a la acelerada destrucción de regiones naturales, contaminación de recursos hídricos y sobreexplotación de recursos naturales, esto condiciona la estructuración de ambientes urbanos con una variedad de criaderos para el desarrollo de los mosquitos y, por ende, facilita que éstos se adapten al ambiente humano en donde encuentran disponible sangre humana. Dicha adaptación conlleva cambios genéticos, de comportamiento y ecología para reproducirse en ambientes humanos, lo cual ha favorecido su domici-

Cuadro I. Diversidad de mosquitos de México

Subfamilia	Género	Número de especies	Especies con importancia médica
Anophelinae			
	Anopheles	26	8
	Chagasia	1	0
Culicinae			
	Aedeomyia	1	0
	Aedes	68	13
	Coquillettidia	3	1
	Culex	63	9
	Culiseta	5	2
	Deinocerites	6	0
	Haemagogus	4	2
	Johnbelkinia	1	0
	Limatus	2	0
	Lutzia	2	0
	Mansonia	2	1
	Orthopodomyia	3	0
	Psorophora	22	2
	Sabethes	4	1
	Shannoniana	4	0
	Toxorhynchites	3	0
	Trichoprosopon	2	1
	Uranotaenia	10	0
	Wyeomyia	15	0

liación[9] y, en consecuencia, la transmisión de virus y enfermedades a la población humana, tales como el dengue, fiebre amarilla, chikungunya, y Zika, entre otras, lo que repercute asimismo en la salud pública.

Estos virus transmitidos por artrópodos son denominados arbovirus, los cuales se replican en diferentes huéspedes vertebrados (por ejemplo, humanos) y artrópodos (mosquito), estos causan viremia (presencia de virus en sangre) en sus huéspedes, que al ser virémicos se vuelven infecciosos tras un periodo de incubación durante el cual los virus se replican en las células.[5]

En este entendido, la infección natural de virus ocurre principalmente por dos vías: mediante la transmisión horizontal y vertical (figura 1). La primera se refiere a la transmisión del agente (virus) durante la alimentación sanguínea del mosquito hembra de un huésped infectado con el virus (por ejemplo, virus de dengue, Zika, chikungunya, etc.), posteriormente, el mosquito hembra (después de un periodo de replicación) ya es infectivo y, cuando se alimenta nuevamente de otro humano, le transmite el agente infeccioso. Este proceso biológico es el mecanismo más común por el cual los virus pasan de un mosquito vector a los humanos a través de picaduras. La transmisión vertical, por su parte, es la transferencia directa de virus a la descendencia de mosquitos hembra, esto mediante la infección de los huevos. Las tasas de transmisión vertical suelen ser bajas, pero relevantes como fuente de dispersión de los virus en periodos interepidémicos.[5]

Asimismo, las diferentes especies de mosquitos, ampliamente distribuidas en diferentes regiones geográficas del mundo, están condicionadas a factores ambientales (por ejemplo, temperatura, humedad, estacionalidad) e interacciones ecológicas con otros organismos donde pueden reproducirse y desarrollarse de acuerdo con el tipo de ambiente, altitud, latitud y condiciones ecológicas del lugar que pueden ser modificadas por el cambio climático.[4] *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* se encuentran ampliamente distribuidas en el país; *Aedes aegypti* se distribuye en casi todos los estados,[4] excepto en Tlaxcala, mientras *albopictus* (figuras 2 y 3) se reconoce en 22 estados.[10] En ese sentido, la información sobre las características de los diferentes ambientes ecológicos puede ayudar en la interpretación de patrones de focalización de poblaciones de mosquitos y considerar áreas de mayor riesgo en la transmisión de enfermedades.[8]

A la par, las características morfológicas son de gran apoyo para diferenciar las especies, con lo cual se pueden asociar datos muy importantes para estimar la presencia del vector, abundancia, distribución, tipos de criaderos, estacionalidad y diversos parámetros para su estudio o control de las poblaciones de mosquitos de importancia en la salud pública.[8] Así, para diferenciar morfológicamente *Aedes aegypti* y *albopictus*, común-

Cuadro II. Especies de mosquitos con importancia médica en México

Nombre científico y año de descubrimiento	Rango geográfico	Vector principal
Aedes (Aedimorphus) vexans (Meigen, 1830)*	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Aedes (Georgecraigius) epactius (Dyar y Knab, 1908)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) angustivittatus (Dyar y Knab, 1907)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) dorsalis (Meigen, 1830)*	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) infirmatus (Dyar y Knab, 1906)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) scapularis (Rondani, 18 48)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) sollicitans (Walker, 1856)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) squamiger (Coquillett, 1902)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) taeniorhynchus (Wiedemann, 1821)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Ochlerotatus) trivittatus (Coquillett, 1902)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Protomacleaya) triseriatus (Say, 1823)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Aedes (Stegomyia) aegypti (Linnaeus, 1762)*	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Aedes (Stegomyia) albopictus (Skuse, 1895)*	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Anopheles (Anopheles) aztecus (Hoffmann, 1935)	México	Paludismo
Anopheles (Anopheles) freeborni (Aitken, 1939)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Anopheles) pseudopunctipennis (Theobald, 1901)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Anopheles) punctimacula (Dyar y Knab, 1906)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Anopheles) punctipennis (Say, 1823)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Anopheles) quadrimaculatus (Say, 1824)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Nyssorhynchus) albimanus (Wiedemann, 1821)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Anopheles (Nyssorhynchus) darlingi (Root, 1926)	Neártica, Neotropical	Paludismo
Coquillettidia (Coquillettidia) perturbans (Walker, 1856)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Culex) nigripalpus (Theobald, 1901)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Culex) pipiens (Linnaeus, 1758)	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Culex (Culex) quinquefasciatus (Say, 1823)	Amplia distribución mundial	Arbovirus
Culex (Culex) restuans (Theobald, 1901)	Neártica, Neotropical	Arbovirus

(continúa...)

(continuación)

Culex (Culex) salinarius (Coquillett, 1904)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Culex) tarsalis (Coquillett, 1896)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Melanoconion) erraticus (Dyar y Knab, 1906)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Melanoconion) spissipes (Theobald, 1903)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culex (Melanoconion) taeniopus (Dyar y Knab, 1907)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culiseta (Climacura) melanura (Coquillett, 1902)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Culiseta (Culiseta) inornata (Williston, 1893)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Haemagogus (Haemagogus) equinus (Theobald, 1903)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Haemagogus (Haemagogus) mesodentatus (Komp y Kumm, 1938)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Mansonia (Mansonia) titillans (Walker, 1848)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Psorophora (Jantinosoma) ferox (Von Humboldt, 1819)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Psorophora (Psorophora) ciliata (Fabricius, 1794)	Neártica, Neotropical	Arbovirus
Sabethes (Sabethoides) chloropterus (von Humboldt, 1819)	Neotropical	Arbovirus
Trichoprosopon digitatum (Rondani, 1848)	Neotropical	Arbovirus

* Especie exótica invasora

mente se observa la parte dorsal del tórax. En *aegypti* se observa el patrón de coloración de las sedas (denominadas sedas en forma de escamas) que tiene un par de líneas plateadas longitudinales submedianas y laterales en forma de lira (figura 4). Por su parte, *albopictus* presenta un patrón con una línea o franja longitudinal medial a lo largo de tórax. Existen otros patrones de coloración distintivos en la cabeza, tórax, patas y abdomen diferentes entre estas especies, por ejemplo, los machos también presentan el mismo patrón de coloración, sin embargo, para diferenciarles también se pueden observar características de la genitalia externa masculina (figura 5), en la cual ciertas estructuras son características para cada especie.

Las larvas de cuarto estadio también poseen características distintivas que permiten separar estas dos especies, pues en el octavo segmento abdominal presentan una hilera de espinas denominada escamas de peine (figura 6), *Aedes aegypti* tiene espinas subapicales desarrolladas, mientras que *Aedes albopictus* no presenta las espinas subapicales, estas características sólo es posible observarlas al microscopio.

Las pupas también pueden diferenciarse, sin embargo, de manera operativa las larvas y los adultos son utilizados como base para la vigilancia entomológica de los programas de control vectorial. En general, se utiliza la quetotaxia (forma, tamaño y disposición de sedas) en el cuerpo, así como características de los órganos respiratorios, paletillas caudales y la forma del lóbulo genital para diferenciar el sexo de la pupa.[11]

Por último, en cuanto a los huevos, su diminuto tamaño ocasiona que sea muy difícil observar detalles entre las diferentes especies a simple vista o con un microscopio común, sin embargo, cuando se observan con microscopios especializados electrónicos de barrido, los detalles resaltan, por ejemplo, la capa exterior del huevo denominada exocorión tiene una ornamentación que permite identificar diferentes especies.[12]

Referencias

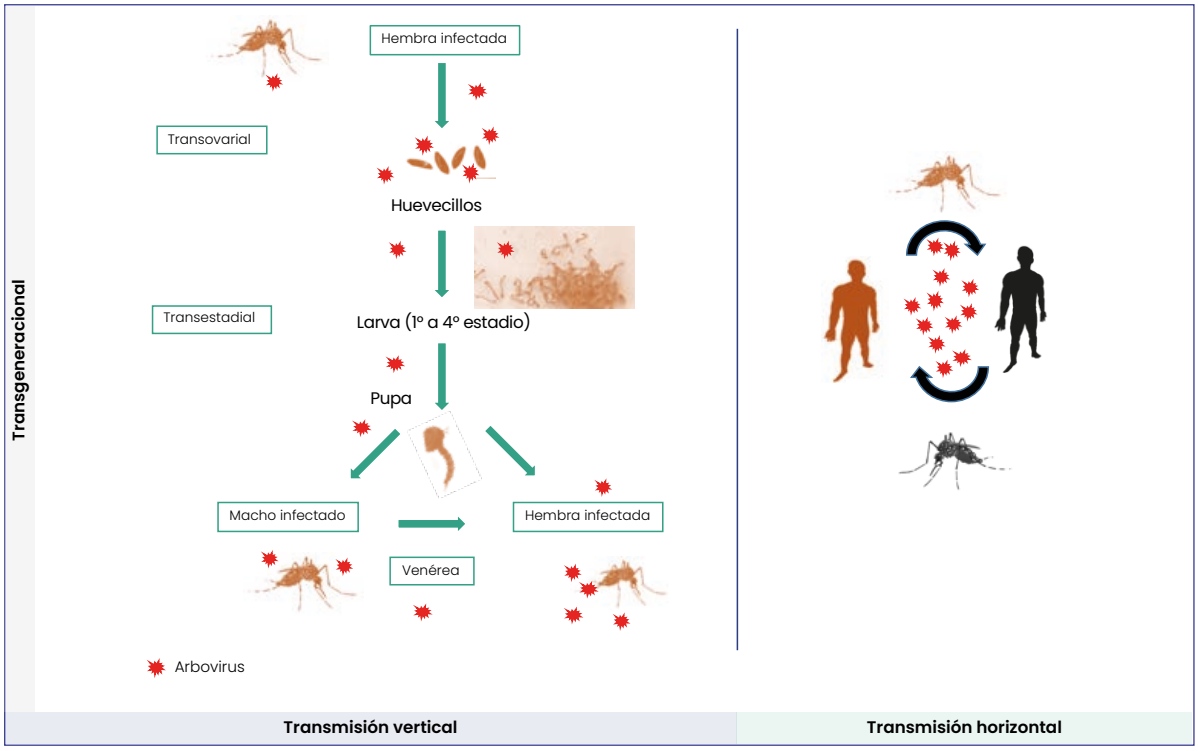


Figura 1. Tipos de transmisión de arbovirus en mosquitos

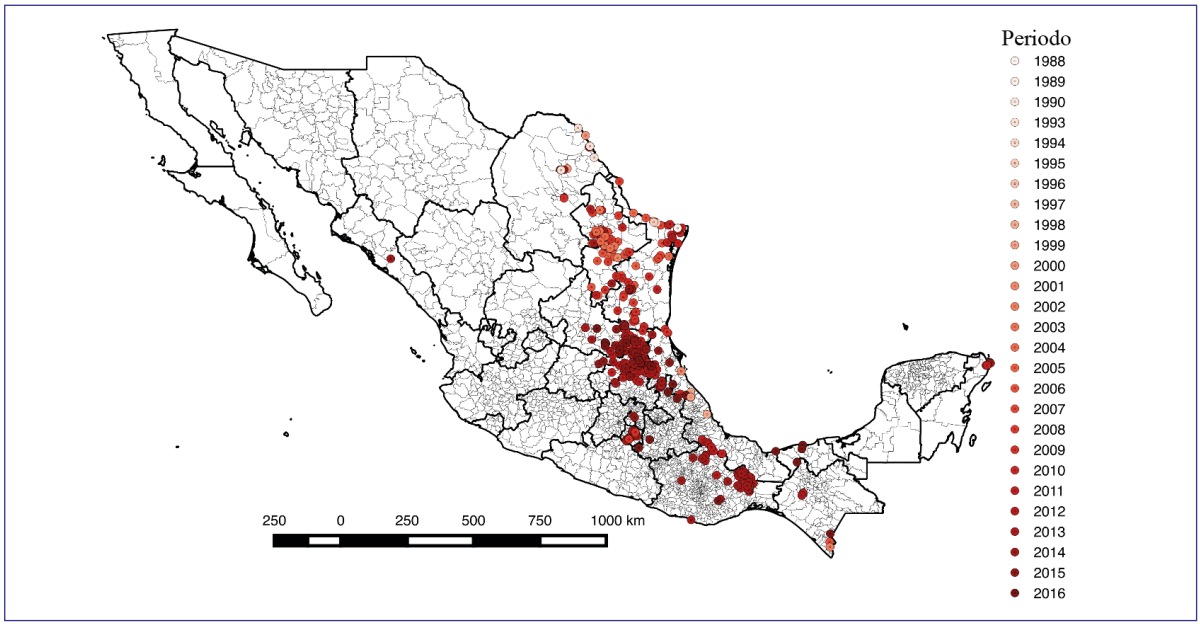


Figura 2. Dispersión de *Aedes albopictus* en México

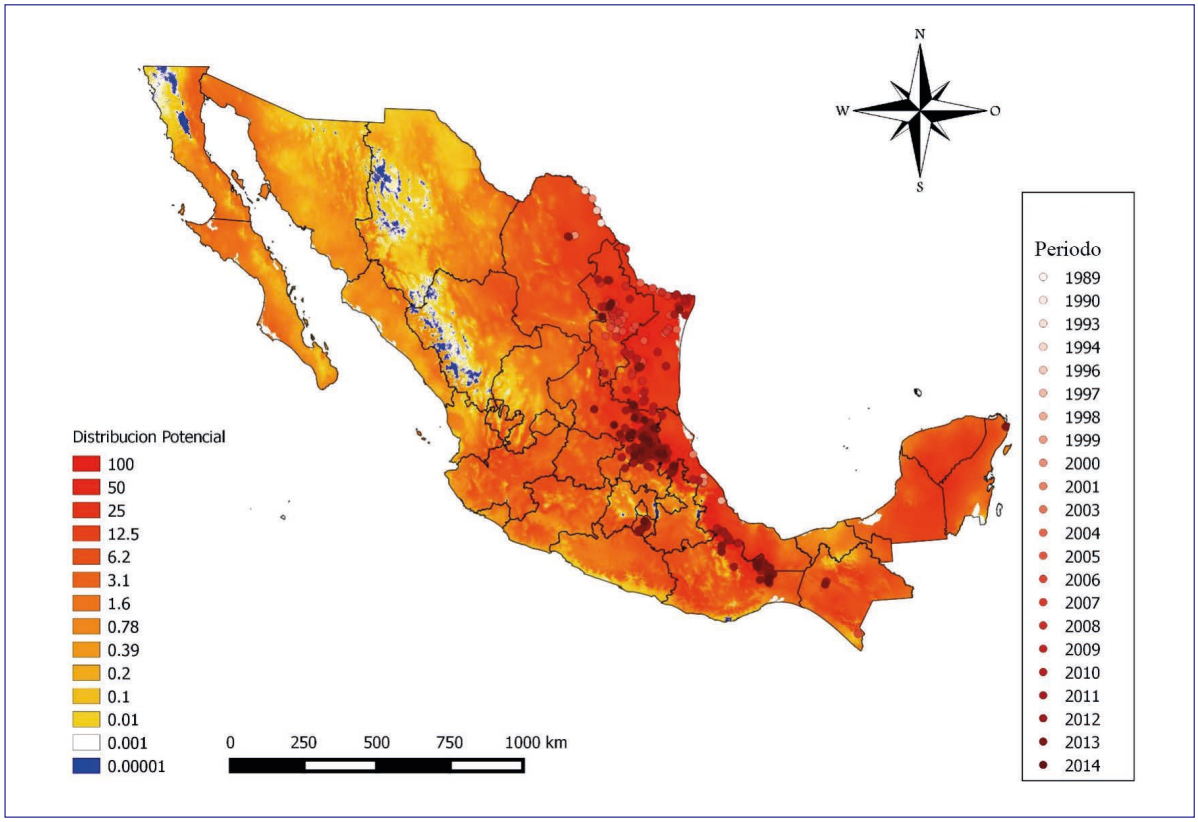
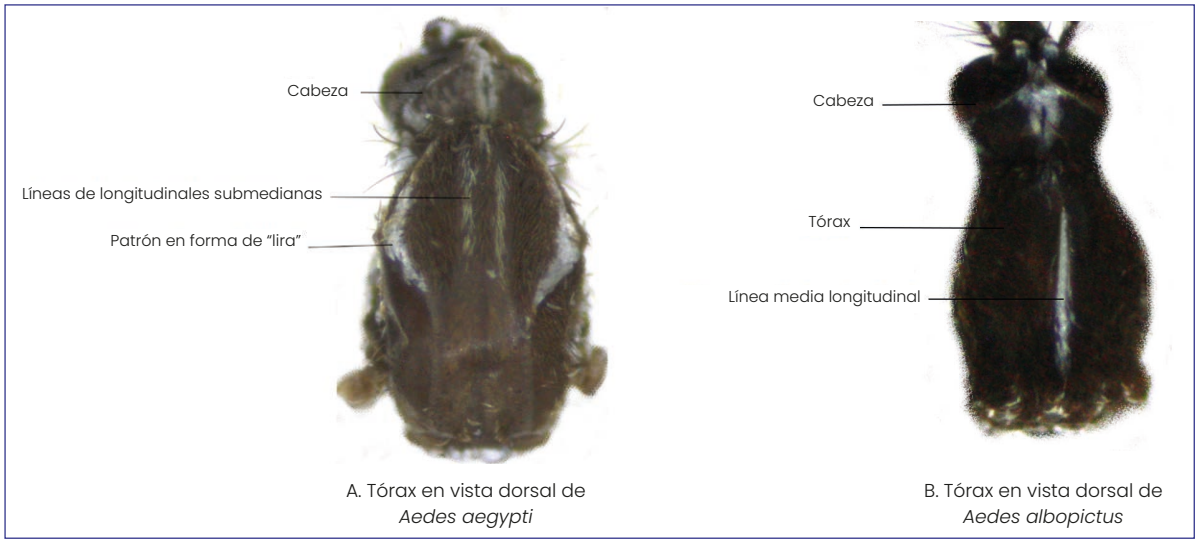


Figura 3. Distribución potencial de *Aedes albopictus* en México



A. Tórax en vista dorsal de *Aedes aegypti*

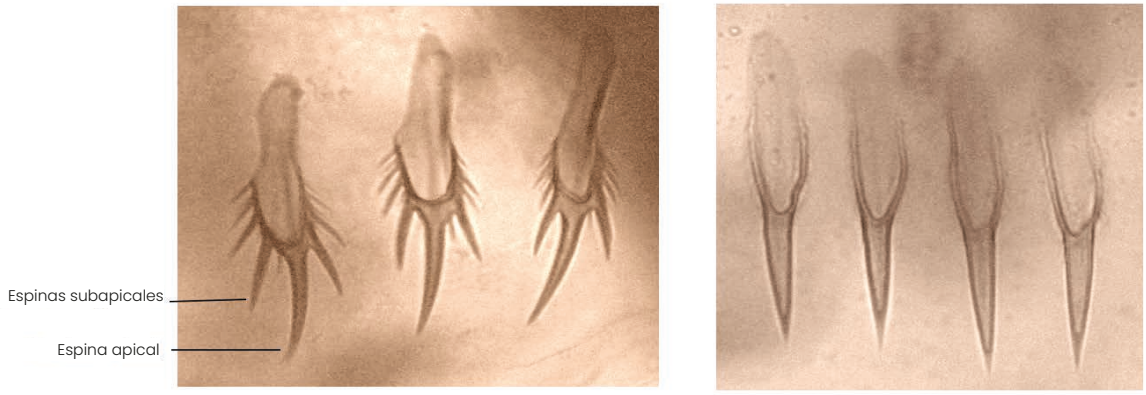
B. Tórax en vista dorsal de *Aedes albopictus*

Figura 4. Diferencias entre especies de mosquitos hembras de *Aedes*

A. Genitalia masculina en vista ventral de *Aedes*

B. Genitalia masculina en vista ventral de *Toxorhynchites*

Figura 5. Diferencias entre especies de mosquitos por características de genitalia externa masculina



A. Escamas del peine segmento abdominal VIII de *Aedes aegypti*

B. Escamas del peine segmento abdominal VIII de *Aedes albopictus*

Figura 6. Diferencias entre especies de mosquitos por características en larvas

1. Wilkerson RC, Linton YM, Strickman D. Mosquitoes of the world. Volumen 1 and 2. EUA: Johns Hopkins University Press, 2021; 1308 p. https://doi.org/10.1353/book.79680
2. Zavortink TJ, Poinar GO. Toxorhynchites (Toxorhynchites) mexicanus n. sp. (Diptera: Culicidae) from Mexican amber: a new world species with old world affinities. Proc Entomol Soc Washington. 2008;110(1):116-25. https://doi.org/10.4289/0013-8797-110.1.116
3. Greenwalt DE, Goreva YS, Siljeström SM, Harbach RE. Hemoglobin-derived porphyrins preserved in a Middle Eocene blood-engorged mosquito. PNAS. 2013;110(46):18496-500. https://doi.org/10.1073/pnas.1310885110
4. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, *et al*. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. eLife. 2015;4:e08347. https://doi.org/10.7554/eLife.08347
5. Clements AN. The biology of mosquitoes: volumen 3. Viral and bacterial pathogens and bacterial symbionts. Reino Unido: Cambridge University Press, 2012; 571 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9781845932428.0000
6. Harbach RE. Composition and nature of the Culicidae (Mosquitoes). Reino Unido: Royal Entomological Society, 2024; 572 p. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781800628014.0000
7. Ortega-Molares AI, León-Espinosa GA, Rodríguez-Rojas JJ. Updated checklist of the mosquitos (Diptera: Culicidae) of Mexico. J Vector Ecol. 2024;49(1):28-43. https://doi.org/10.52707/1081-1710-49.1.28
8. Rey JR, Lounibos P. Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* en América y transmisión de enfermedades. Biomedica. 2015;35(2):177-85. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i2.2514
9. Powell JR, Tabachnick WJ. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - a review. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2013;108(suppl 1):11-7. https://doi.org/10.1590/0074-0276130395
10. Ortega-Morales AI, Pérez-Rentería C, Ordóñez-Álvarez J, Salazar JA, Dzul-Manzanilla F, Correa-Morales F, *et al*. Update on the dispersal of *Aedes albopictus* in Mexico: 1988-2021. Front Trop Dis. 2022;2:814205. https://doi.org/10.3389/fitd.2021.814205
11. Yamani AS, Adham FK, Abdel-Gaber R. Morphological description of the pupa of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) using a scanning electron microscope. Arq Bras Med Vet Zootec. 2024;76(1):43-54. https://doi.org/10.1590/1678-4162-13120
12. Mundim-Pombo APM, Costa de Carvalho HJ, Rodrigues RR, León M, Maria DA, Miglino MA. *Aedes aegypti*: egg morphology and embryonic development. Parasites Vectors. 2021;14(1):531. https://doi.org/10.1186/s13071-021-05024-6

Naturaleza y origen del mosquito *Aedes aegypti*

Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Mario Henry Rodríguez López

En la actualidad, menos de una cuarta parte de la superficie de nuestro planeta permanece libre de alguna presión directa de humanos y, para el 2050, se estima que esta superficie se reducirá a menos de 10%.[1] Al respecto, sólo 63 sitios naturales se encuentran protegidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, pues sus siglas en inglés) de un total de 225 sitios, con una mediana de 580 000 hectáreas por sitio, acumulando una superficie de más de 85 millones de hectáreas que representan 63% del total del patrimonio mundial[2] (figura 1).

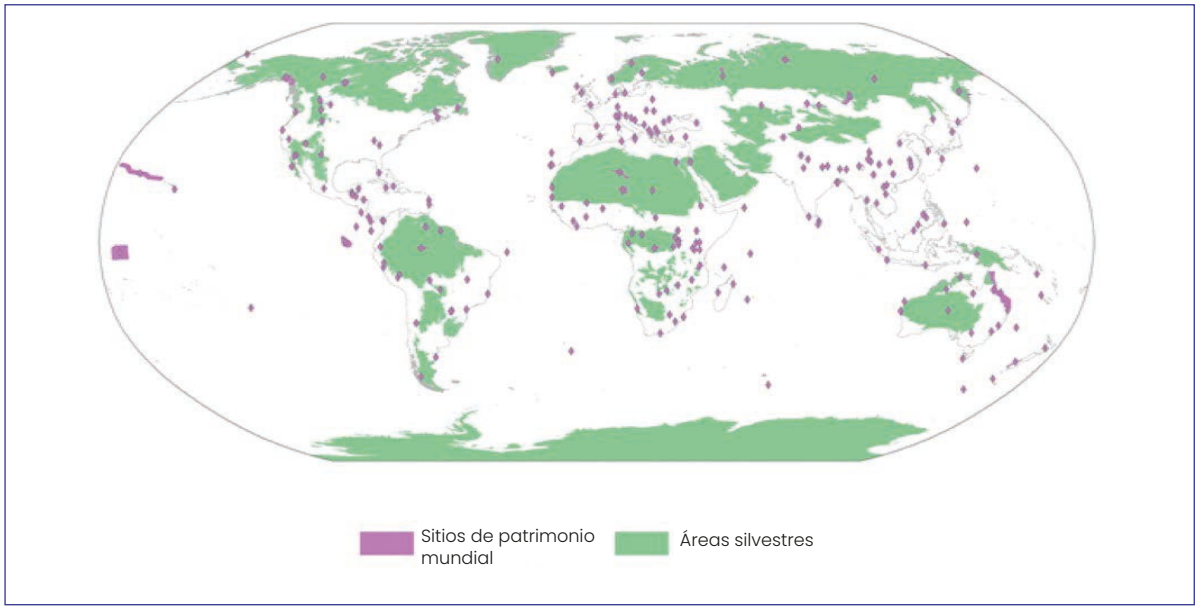
El creciente dominio del humano sobre los recursos naturales es proporcional a la reducción progresiva de fuentes naturales de vida, lo cual afecta de manera similar tanto a las demás especies del planeta como a nosotros.[3] En esta era dominada por los seres humanos llamada "Antropoceno" se genera una forma evolutiva sobre los recursos naturales de nuestro planeta, la cual inició durante la revolución industrial en el siglo XVIII y seguirá predominando durante el futuro.[4-7] Su interpretación permite un cambio de paradigma donde los seres humanos apliquen su creciente dominio social, económico y tecnológico para mejorar las condiciones de vida de las personas, estabilizar el clima y proteger la salud y la naturaleza.[8]

En esta perspectiva multinivel se integran interacciones y procesos sociales, económicos y ecológicos de la vida, esenciales para comprender sistémicamente el problema y lograr soluciones sostenibles.[9,10] Asimismo, la instrumentación de acciones basadas en la comprensión de la naturaleza, desafíos naturales y sociales relacionados a proteger y gestionar de manera sostenible los ecosistemas (beneficiando simultáneamente el bienestar humano y la biodiversidad) son indispensables para enfrentar los problemas actuales sobre la crisis climática, deterioro de la biodiversidad, enfermedades transmitidas por mosquitos, entre otros.[11,12]

En este sentido, la convivencia entre humanos y mosquitos se construye a través de la necesidad humana de habitación y agua, proporcionando así sitios de cría y alimentación fundamentalmente a la especie *Aedes aegypti*, el principal vector del dengue que afecta a cientos de millones de personas cada año y que se ha adaptado a convivir con humanos en áreas urbanas y suburbanas en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo y el cual representa una amenaza para la salud a nivel mundial.[13,14]

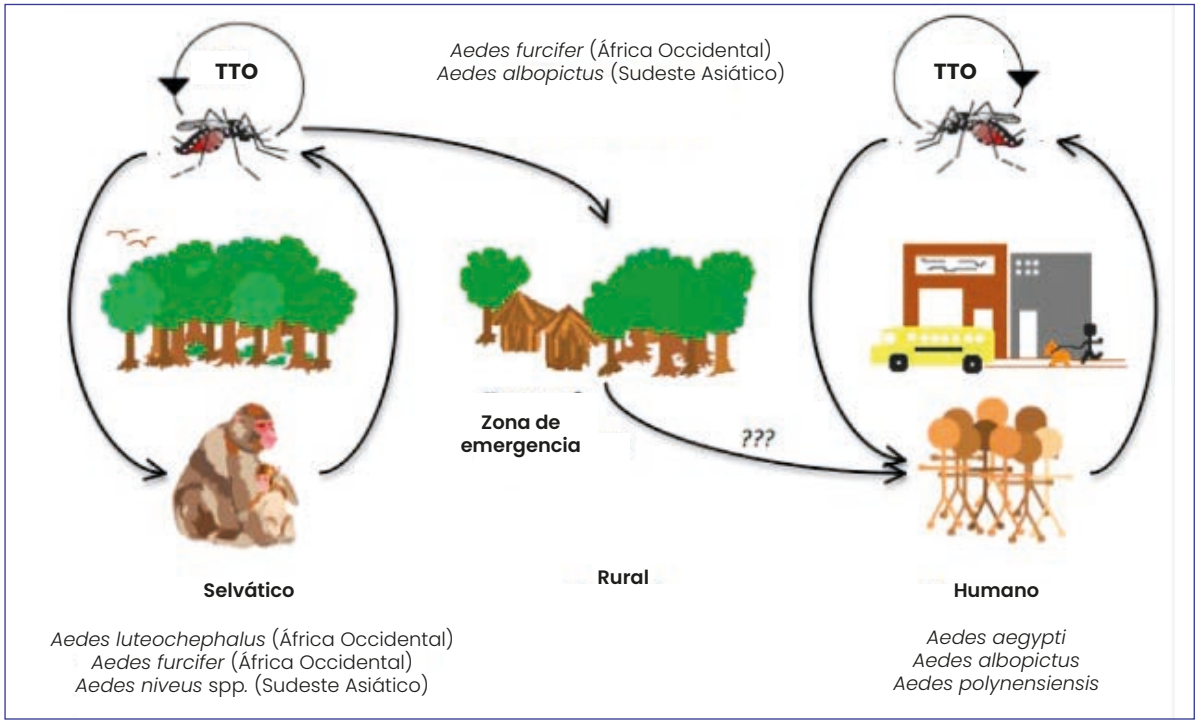
Esta interacción se muestra en etapas cíclicas de transmisión del dengue que se originan desde los ciclos selváticos con mosquitos *Aedes albopictus* (transmisión enzoótica) y "zonas de emergencia" que entran en contacto con las poblaciones humanas en zonas rurales de África occidental (*Aedes aegypti*) y el sudeste asiático (*Aedes albopictus*)[14] (figura 2).

Así, la convivencia con el *Aedes agypti* se hace evidente desde su origen nativo en África subsahariana y es desencadenada por la influencia notable del clima en la selección adaptativa del mosquito en hábitats con humanos. Esta adaptación inició después de un perio-



Nota: Esta es la ubicación de los 228 sitios naturales del Patrimonio Mundial frente a los 24 –a escala global– de áreas silvestres identificadas por Mittermeier, et al. en 2003; también se muestra la cobertura actual (porcentaje del área total) de estas áreas silvestres en sitios naturales del Patrimonio Mundial.[2]

Figura 1. Mapa de áreas silvestres bajo la Convención del Patrimonio Mundial



TTO: Transmisión transovárica
Fuente: Chen R, Vasilakis N.[14]

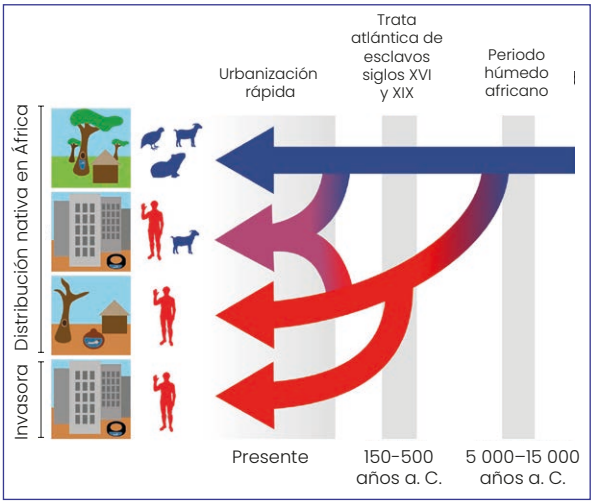
Figura 2. Ciclos de transmisión del virus del dengue

do húmedo africano (cobertura del desierto del Sáhara con pasto, árboles y lagos) hace aproximadamente 5 000 años, en un periodo de desertificación del Sahara en donde cambió a condiciones de sequía y surgieron sociedades humanas asentadas en hábitats intensamente estacionales en la parte central del continente africano en el Sahel (franja con la frontera al norte con el desierto del Sahara y al sur con la sabana y selvas del Golfo de Guinea y de África Central), la cual se caracteriza por dos marcadas estaciones de secas y cálidos, alternando con periodos de lluvias escasas, condiciones que dan lugar a la adaptación del mosquito en esos asentamientos con huéspedes humanos y disponibilidad de criaderos para reproducirse durante la larga estación de seca. Cabe anotar al respecto que los mosquitos fueron probablemente transportados por humanos de África occidental a América, esto durante el tránsito de esclavos en el Atlántico. Actualmente, existe evidencia de influencia de humanos en ciudades de rápido crecimiento consistente con un cambio continuo en la ecología de *Aedes aegypti* en el continente africano, esto está muy relacionado con variaciones en niveles económicos y disponibilidad de agua en diferentes áreas endémicas del mundo[13-15] (figura 3).

Por otro lado, los mosquitos son poiquilotermos o ectotérmicos, es decir, dependen de la temperatura ambiente para regular su temperatura interna, por lo que la corporal fluctúa significativamente con el cambio del entorno circundante, lo que también afecta en las características biológicas, como es su fecundidad y tasa de supervivencia, asimismo, en la interacción con los virus que transmiten los mosquitos, muy influenciados por la temperatura.[14,16]

Este entorno natural es favorecido por los estilos de vida doméstica y peri-doméstica, generando la disponibilidad de variados repositorios de agua de utilidad e inservibles que se convierten en criaderos no naturales en viviendas y sitios sociales de concentración poblacional, lugares idóneos para que el mosquito complemente sus necesidades de reproducción, alimentación, reposo, sobrevivencia, dispersión y abundancia estacional durante el incremento pluvial estacional en íntima interacción con las personas.[13,14]

A la par, el cambio climático impacta en la interacción humano-animal con repercusiones especificas en dispersión, emergencia y reemergencia de enfer-



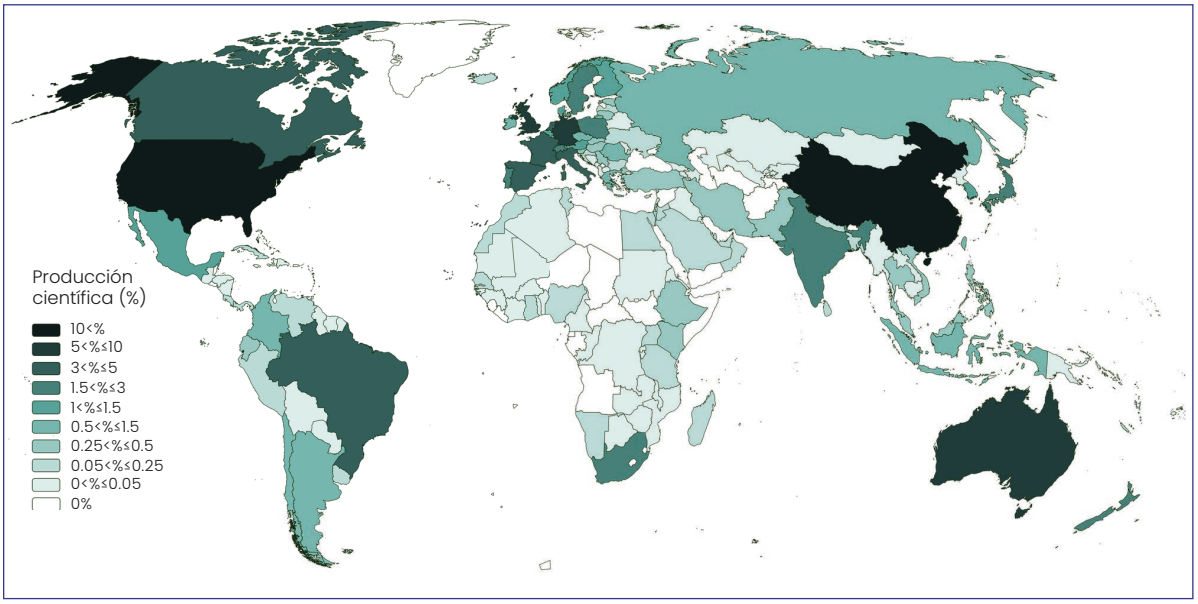
Basada en Rose NH, Badolo A, Sylla M, Akorli J, Otoo S, Gloria-Soria A, *et al.*[15]

Figura 3. Tres épocas definen el origen nativo y propagación a la forma humana-especializada del *Aedes aegypti*

medades transmitidas por mosquitos *Aedes aegypti*. Al respecto, se ha demostrado, con evidencia científica, la presencia y expansión de estas especies invasoras favorecidas por el cambio y fenómenos climáticos que transportan insectos a largas distancias, así como también el aumento de la fecundidad por el incremento de la temperatura y colonización invasora en nuevas regiones.[17]

En Europa, la globalización en el cambio climático con el incremento en la temperatura, frecuencia de viajes de personas y presencia de vectores invasores, como el *Aedes albopictus* –ampliamente distribuido en la costa mediterránea española y el archipiélago balear– son los principales factores asociados a la emergencia de enfermedades vectoriales de distribución típicamente tropical, como chikungunya, el dengue y otras arbovirosis.[17-22]

Actualmente, la evidencia científica y conocimientos que sustentan decisiones y políticas para enfrentar desafíos basados en la naturaleza centra su atención en el cambio climático, pérdida de biodiversidad y, recientemente, en la reducción del riesgo de desastres, sin la atención suficiente en problemas de salud humana, desarrollo económico y social, seguridad alimentaria y seguridad hídrica[11,12] (figura 4). Sin



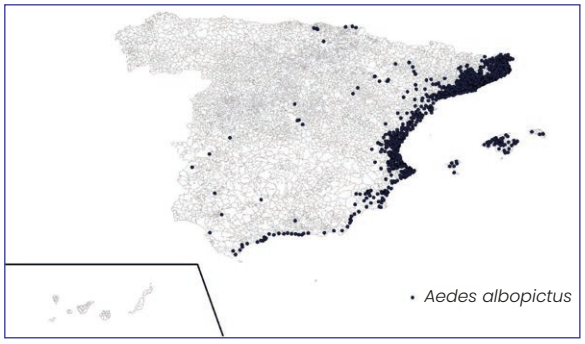
Basada en Dunlop T, Khojasteh D, Cohen-Shacham E, Glamore W, Haghani M, van den-Boch M, *et al.*[11]

Figura 4. Mapa de producción de investigaciones sobre soluciones basadas en la naturaleza

embargo, existen experiencias sustentadas sobre ventajas en la aplicación de sistemas de información en el análisis y caracterización de variables ambientales, por ejemplo, entomológicos, epidemiológicos, demográficos, movimiento turístico y viajes para generar escenarios de transmisión con mapas ilustrados a nivel municipal; también existe evidencia sobre la distribución del vector, riesgo de expansión del vector basado en un modelo de distribución de especies, contribución porcentual del número de casos de dengue y estimación del índice de viajeros de zonas endémicas de dengue, todas ellas son alternativas para optimizar con oportunidad y cobertura la aplicación de medidas efectivas y sostenibles de prevención, vigilancia y control de la transmisión[22-24] (figura 5 a, b, c, d).

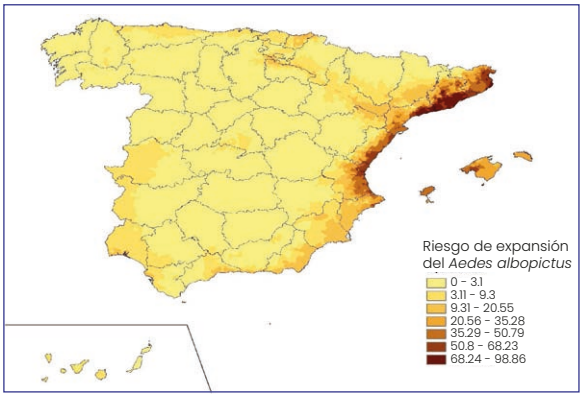
Así pues, los principales efectos y desafíos provocados por el cambio climático son las olas de calor más intensas, incendios, descenso en la disponibilidad de alimentos y el aumento de las enfermedades transmitidas por vectores, lo cual deriva en el incremento de la desnutrición, pérdida en la capacidad de trabajo y el aumento de conflictos sociales por carencia de recursos, principalmente en el suministro y calidad del agua.[17]

De igual manera, la disminución de las lluvias por el cambio climático incrementa las prácticas domésticas de almacenamiento de agua y mayor disponibilidad de criaderos del *Aedes aegypti* y potencial invasión del *Aedes albopictus*.[15,24,25] Además, el incremento de la sequía tiene efecto en la disminución de la producción agrícola, reducción de abastecimiento y encarecimiento de los precios de productos básicos, los cual genera



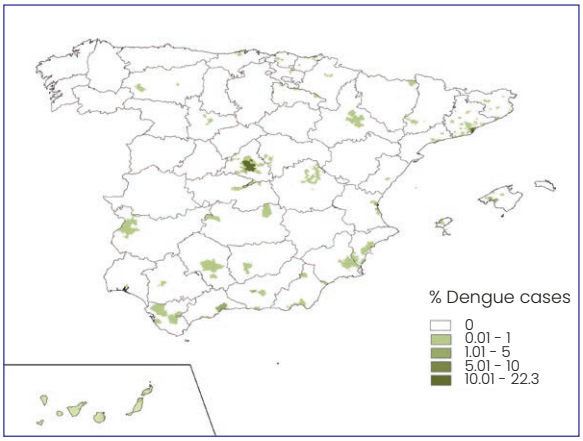
Basada en Fernández-Martínez B, Pampaka D, Suárez-Sánchez P, Figuerola J, Sierra MJ, León-Gomez I, *et al.*[22]

Figura 5a. Distribución especial de la presencia de *Aedes albopictus* por municipio en España, 2016-2018



Nota: Existe variabilidad espacial en la distribución potencial de *Aedes albopictus* entre municipios. A nivel de país se pueden distinguir diferentes áreas de idoneidad; se clasificaron en tres niveles: a) áreas con alta idoneidad que son aquellas en las que el vector ya se ha establecido, como la zona mediterránea; b) áreas donde el vector se ha introducido recientemente, como Madrid y algunas áreas de Extremadura; y c) áreas donde podría introducirse, pero aún no se ha detectado, como la costa cantábrica o la cuenca del Ebro.[22]

Figura 5b. Zonas de riesgo de expansión de *Aedes albopictus* en España



Nota: La contribución porcentual de casos por municipio varía entre 0 a 22, destacando Madrid y Barcelona con la mayor contribución.[22]

Figura 5c. Distribución porcentual del número de casos de dengue en España, 2016-2018

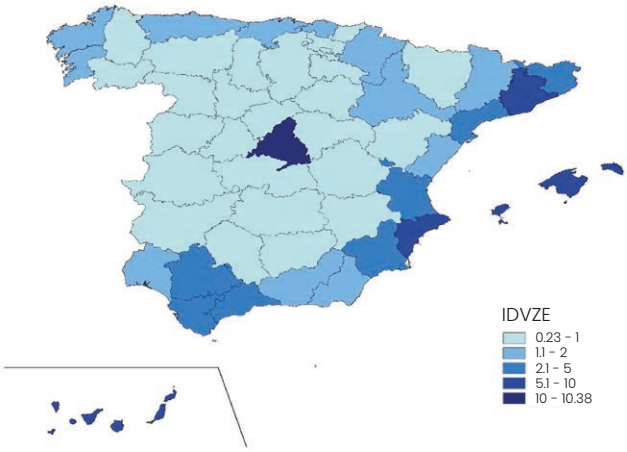
Cálculo del (IDVZE) definido como la probabilidad ponderada de que un viajero internacional aleatorio tenga una provincia como destino final y riesgo de introducción del virus dengue.

El país de origen de los residentes se clasificó como endémico de dengue según el consenso de evidencia del Consorcio Internacional de Investigación sobre Evaluación, Gestión y Vigilancia del Riesgo de Dengue publicado en 2012 por Brady, *et al.*[22,24] Los viajeros de países considerados endémicos fueron clasificados en tres grupos de viajeros: (A) no residentes que vinieron a España por turismo; (B) no residentes que vinieron a visitar a familiares y amigos; y (C) residentes que regresaban de un viaje al extranjero.

Se utilizaron ponderaciones para calcular la distribución de los viajeros en toda España. Estos pesos se basaron en el número de lugares turísticos de cada provincia con respecto al número total de lugares turísticos en España, para no residentes por turismo (grupo A), (B) el número de residentes originarios de zonas endémicas de dengue en cada provincia en comparación con el número total de residentes de estos países en España, para no residentes que visitan a familiares y amigos (grupo B), y (C) la población provincial con respecto a la población nacional para los residentes que regresan de un viaje (grupo C). Así, obtuvimos tres componentes para cada perfil de viajero, respectivamente:

IDVZE:
IDVZE total= A + B+ C / D

A) IDVZEa= Número de lugares turísticos de una provincia / número total de lugares turísticos de España
B) EDVZEb=Número de residentes de zonas endémicas de una provincia / número total de residentes de zonas endémicas de España
C) IDVZEc= Población total de cada provincia / población total de España
D) VZEd= número total de viajeros de zonas endémicas



Basada en Fernández-Martínez B, Pampaka D, Suárez-Sánchez P, Figuerola J, Sierra MJ, León-Gomez I, *et al.*[22]

Figura 5d. Distribución espacial del índice de viajes de zonas endémicas (IDVZE) por municipio en España, 2014-2017

un rezago social-económico y riesgos en la nutrición con repercusiones en la salud de la población.

En conclusión, el cambio climático contribuye a la ocurrencia de fenómenos naturales extremos, principalmente las inundaciones a escala global, seguido por los desplazamientos de personas.[22,23] A la par, esto implica el incremento en la incidencia de los desastres naturales no por su frecuencia, sino por el aumento de personas expuestas a condiciones de riesgo y vulnerabilidad, sin preparación organizada para enfrentar de manera sostenible estos fenómenos.[9,15,17,23]

Referencias

1. Watson JEM, Shanahan DF, Di Marco M, Allan J, Laurance WF, Sanderson EW, *et al.* Catastrophic declines in wilderness areas undermine global environment targets. Curr Biol. 2016;26(21):2929-34. https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.049
2. Kormos CF, Bertzky B, Jaeger T, Shi Y, Badman T, Hilty JA, *et al.* A wilderness approach under the World Heritage Convention. Cons Lett. 2016;9(3):228-35. https://doi.org/10.1111/conl.12205
3. Díaz S, Settlele J, Brondízio ES, Ngo HT, Agar J, Arneth A, *et al.* Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. Science. 2019;366(6471):eaax3100. https://doi.org/10.1126/science.aax3100
4. Crutzen PJ, Stoermer EF. The 'Anthropocene'. En: Benner S, Lax G, Crutzen PJ, Pöschl U, Lelieveld J, Brauch HG (eds). Paul J. Crutzen and the Anthropocene: a new epoch in Earth's history. The Anthropocene: politik—economics—society—science, vol 1. Suiza: Springer, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6_2
5. Crutzen PJ. Geology of mankind. Nature. 2002;415(6867):23. https://doi.org/10.1038/415023a
6. Trischler H. El Antropoceno ¿un concepto geológico o cultural, o ambos? Desacatos. 2017;54:40-57. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1607-050X2017000200040&script=sci_abstract&tlng=pt
7. Asafu-Adjaye J, Blomqvist L, Brand S, Brook B, Defries R, Ellis E, *et al.* An ecomodernist manifesto. EUA: Ecomodernism, 2015. Disponible en: http://www.ecomodernism.org/manifesto-english/
8. Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, *et al.* The IPBES conceptual framework—connecting nature and people. Curr Op Environm Sust. 2015;14:1-16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002
9. Elo M, Hytönen J, Karkulehto S, Kortetmäki T, Kotiaho JS, Puurtinen M, *et al.* Interdisciplinary perspectives on planetary well-being. Londres: Taylor & Francis, 2024. https://doi.org/10.4324/9781003334002
10. Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, Maginnis S. Nature-based solutions to address global societal challenges. Suiza: IUCN Gland, 2016.
11. Dunlop T, Khojasteh D, Cohen-Shacham E, Glamore W, Haghani M, van den-Boch M, *et al.* The evolution and future of research on nature-based solutions to address societal challenges. Commun Earth Environ. 2024;5(132). https://doi.org/10.1038/s43247-024-01308-8
12. Stechemesser A, Koch N, Mark E, Dilger E, Klösel P, Menicacci L, *et al.* Climate policies that achieved major emission reductions: global evidence from two decades. Science. 2024;385(6711):884-92. https://doi.org/10.1126/science.adl6547
13. Lindsay SW, Wilson A, Golding N, Scott TW, Takken W. Improving the built environment in urban areas to control *Aedes aegypti*-borne diseases. Bull World Health Org. 2017;95(8):607-8. https://doi.org/10.2471/BLT.16.189688
14. Chen R, Vasilakis N. Dengue — ¿Quo tu et quo vadis? Viruses. 2011;3(9):1562-608. https://doi.org/10.3390/v3091562
15. Rose NH, Badolo A, Sylla M, Akorli J, Otoo S, Gloria-Soria A, *et al.* Dating the origin and spread of specialization on human hosts in *Aedes aegypti* mosquitoes. Elife. 2023;12:e83524. https://doi.org/10.7554/eLife.83524
16. Jian XY, Jiang YT, Wang M, Jia N, Cai T, Xing D, *et al.* Effects of constant temperature and daily fluctuating temperature on the transovarial transmission and life cycle of *Aedes albopictus* infected with Zika virus. Front Microbiol. 2023;13:1075362. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1075362
17. Rezza G, Nicoletti L, Angelini R, Romi R, Finarelli A, Panning M, *et al.* Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. Lancet. 2007;370(9602):1840-6. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61779-6
18. de Vilchez-Moragues P, Rita J, Miranda MA, Vaquer-Sunyer R. Capítulo 5. El cambio climático.

En: Consell Econòmic i Social de les Illes Balears. Estudio sobre la prospectiva económica, social y mediambiental de las sociedades de las Islas Baleares en el horizonte 2030 (H2030). España: Consell Econòmic i Social de les Illes Balears, 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337972712

19. Gould EA, Gallian P, De Lamballerie X, Charrel RN. First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France: from bad dream to reality! Clin Microbiol Infect. 2010;16(12):1702-4. https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03386.x
20. Gutiérrez-López R, Bialosuknia SM, Ciota AT, Montalvo T, Martínez-de la Puente J, Gangoso L, *et al*. Vector competence of *Aedes caspius* and *Ae. albopictus* mosquitoes for Zika virus, Spain. Emerg Infect Dis. 2019;25(2):346-8. https://doi.org/10.3201/eid2502.171123
21. Lazzarini L, Barzon L, Foglia F, Manfrin V, Pacenti M, Pavan G, *et al*. First autochthonous dengue outbreak in Italy, August 2020. Euro Surveill. 2020;25(36):2001606. https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.36.2001606
22. Fernández-Martínez B, Pampaka D, Suárez-Sánchez P, Figuerola J, Sierra MJ, León-Gomez I, *et al*. Spatial analysis for risk assessment of dengue in Spain. Enf Infect Microbiol Clin. 2024;42(8):406-13. https://doi.org/10.1016/j.eimce.2023.06.010
23. World Health Organization. WHO report on global surveillance of epidemic-prone infectious diseases. Ginebra: WHO, 2000.
24. Brady OJ, Gething PW, Bhatt S, Messina JP, Brownstein JS, Hoen AG, *et al*. Refining the global spatial limits of dengue virus transmission by evidence-based consensus. PLoS Negl Trop Dis. 2012;6(8):e1760. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001760
25. Janjoter S, Kataria D, Yadav M, Dahiya N, Sehrawat N. Transovarial transmission of mosquito-borne viruses: a systematic review. Front Cell Infect Microbiol. 2024;13:1304938. https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1304938

Biología y determinantes de la transmisión del mosquito *Aedes aegypti*

Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Mario Henry Rodríguez López

Generalmente los mosquitos hembra se infectan cuando se alimentan de sangre de una persona infectada con el virus (sintomática o asintomática). El virus en el mosquito infecta primero el intestino medio y, luego, se propaga a otros tejidos, por ejemplo, del tracto reproductivo y las glándulas salivales y, posteriormente, durante una alimentación sanguínea, se puede transmitir a otras personas susceptibles. A partir de la picadura infectante se inicia un periodo de incubación intrínseco (4-7 días), hasta la aparición de los síntomas de la enfermedad, en donde la mayoría de las infecciones son asintomáticas. En este caso, tanto los sujetos asintomáticos como los sintomáticos pueden ser nuevas fuentes de infección de los mosquitos.[1]

Así, la biología de las enfermedades transmitidas por mosquitos *Aedes aegypti* puede ser interpretada por participación de conjuntos de características particulares del vector, el huésped o persona y el virus causante de la enfermedad. La intersección de estos factores da como resultado la ocurrencia, intensidad y dispersión o propagación de la transmisión (figura 1). Otro mecanismo natural de transmisión del virus es a través de mosquitos progenitores que infectan a su descendencia (parenteral o hereditaria) denominada transmisión vertical, en donde se infecta a los huevos, luego esto continua en las larvas y pupas, hasta alcanzar el estadio adulto, fase en la cual ya son infectivos[2-4] (figura 2 A y B).

A la par, el comportamiento de alimentación de los mosquitos explica otro mecanismo horizontal de transmisión en ciclos selváticos en donde participan primates no humanos y mosquitos silvestres, adicional a la transmisión venérea o sexual durante el apareamiento o copula entre el macho o hembra infectados con pareja no infectada[4] (figura 3).

Por su parte, la transmisión vertical es resultado de la capacidad del mosquito de adaptación, sobrevivencia y extensión, pues resuelve condiciones adversas o extremas del clima, lo cual aumenta la dispersión del virus-dengue y otras arbovirosis. Este mecanismo biológico ocurre con la invasión del virus al ovario y

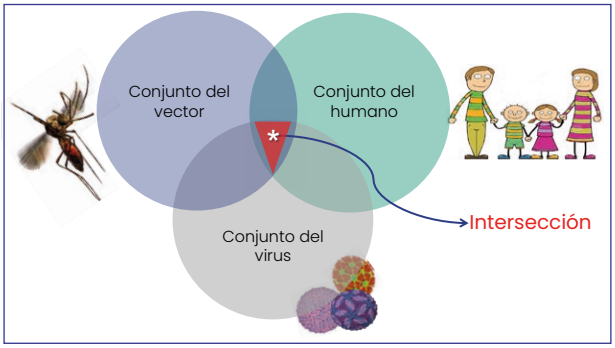
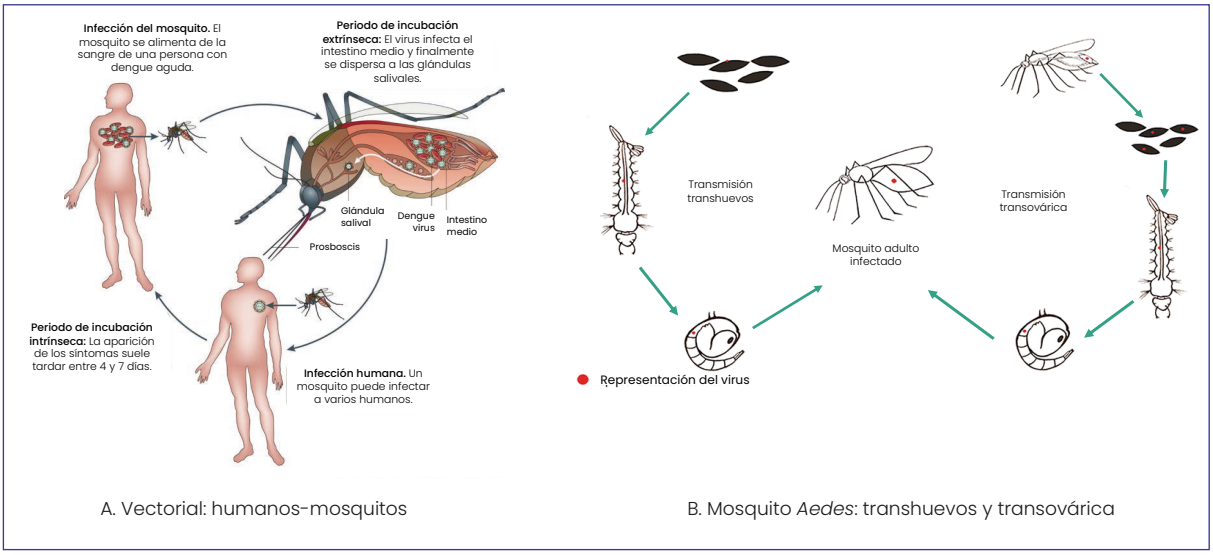


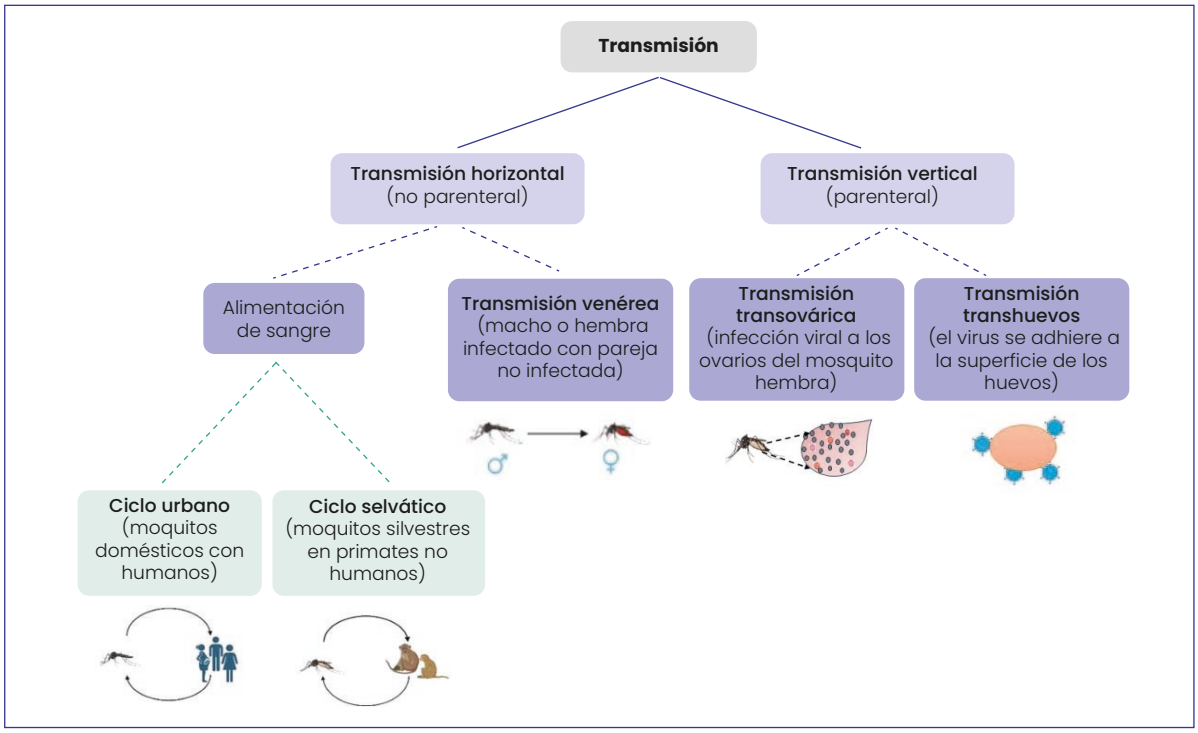
Figura creada por Mario Henry Rodríguez y Ángel Francisco Betanzos Reyes. México: INSP/CISEI, 2024.

Figura 1. Componentes biológicos de la transmisión de enfermedades transmitidas por *Aedes* spp.



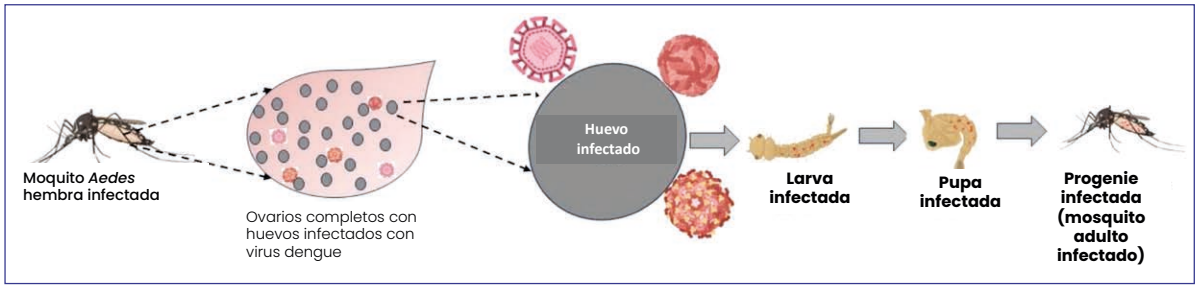
Basada en Guzman MG, Gubler DJ, Izquierdo A, Martínez E, Halstead SB y Kaavya K, Tharakan J, Joshi CO, Aneesh EM.[1,5]

Figura 2. Transmisión vectorial-horizontal (A) y Vertical (B) del dengue



Basada en: Janjoter S, Kataria D, Yadav M, Dahiya N, Sehrawat N.[4]

Figura 3. Transmisión del virus: horizontal y vertical



Basada en: Janjoter S, Kataria D, Yadav M, Dahiya N, Sehrawat N.[4]

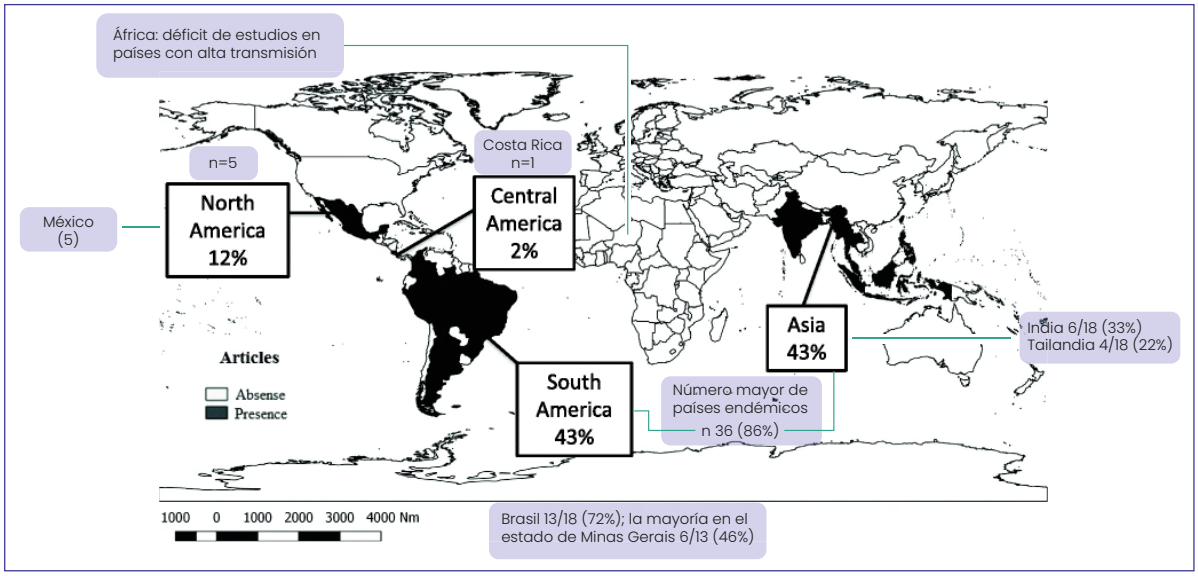
Figura 4. Vías de transmisión transovárica

durante el periodo de desarrollo de los ovocitos (transmisión transovárica), antes de la fecundación o durante la fecundación (trans-óvulo: adherencia del virus en la superficie del ovulo) u oviposición al transferir los virus a la superficie de los huevecillos (figuras 3 y 4). De esta manera, los mosquitos pueden infectarse con el virus del dengue antes de alimentase de un huésped humano enfermo. Este mecanismo biológico de transmisión vertical puede influir en la persistencia endémica del dengue a través de fuentes de reservorios del virus en la naturaleza durante los periodos interanuales o interepidémicos. Su importancia epidemiológica sigue siendo incierta, ya que existe escasa investigación sobre este patrón de transmisión en países endémicos del mundo[3-5] (figura 5); sin embargo, se estima un incremento de un poco más de 28 veces en la tasa de infección de transmisión vertical en climas áridos (OR= 28,40, $p < 0{,}001$, IC95%: 5.52-146.25) con respecto a zonas con clima ecuatorial-tropical, adecuados para el mosquito.[3] Su ocurrencia en otros virus puede ser menor, como el virus del chikungunya del género alfavirus (OR= 0,08, $p < 0{,}01$, IC95%: 0.14-0.45) con respecto a los flavivirus, y su intensidad puede aumentar durante el segundo ciclo gonotrófico o posteriores (OR= 1,66, $p < 0{,}001$, IC95%: 1,55-1,77) con respecto al primer ciclo de oviposición.[3]

En este entendido, el mosquito se adapta y acompaña la vida doméstica de personas, en donde satisface sus necesidades para sobrevivir, con una alimentación segura, reposo, reproducción en criaderos artificiales en viviendas y espacios públicos disponibles. De esta manera, como ya se mencionó, el mosquito hembra se infecta del virus dengue, Zika, chikungunya y otras arbovirus cuando ingiere sangre de un huésped infectado, ciclo en el que la hembra queda infectada durante toda su vida adulta (de 3 a 4 semanas). En este sentido, se determina su capacidad vectorial (transmisión horizontal) durante cada alimentación de sangre requerida para el desarrollo de huevecillos (ciclo gonotrófico) cada tres días[1,6] (figuras 1 y 2).

Además, la intersección biológica de transmisión natural se intensifica por efecto de factores determinantes del medio ambiente, sociales, económicos.[7] Por ejemplo, la movilidad de personas, la estacionalidad y cambio climático, condiciones de pobreza con viviendas sin protección a la exposición al mosquito, crecimiento demográfico con expansión urbana sin suficiente planificación de servicios básicos y el acceso insuficiente en el abasto y manejo adecuado del agua, aunado a los servicios sanitarios inadecuados para la recolección regular de residuos sólidos urbanos para evitar la disponibilidad de criaderos de mosquitos y la limitada efectividad y cobertura de las intervenciones para el control de la abundancia del vector.[8-13]

Asimismo, la temperatura interna, sobrevivencia y abundancia de los mosquitos vectores dependen estrechamente de las variaciones externas de la temperatura y cambios del clima en periodos cortos (clima diario), mediano (estaciones) y largos (cambio climático, huracanes, etc.).[6] Esta relación biológica del mosquito con la temperatura explica el efecto de la variación y el cambio climático sobre su expansión adaptativa durante 1990, en donde se afectó a casi 30% de la población (1.5 mil millones de personas) que habitaba en

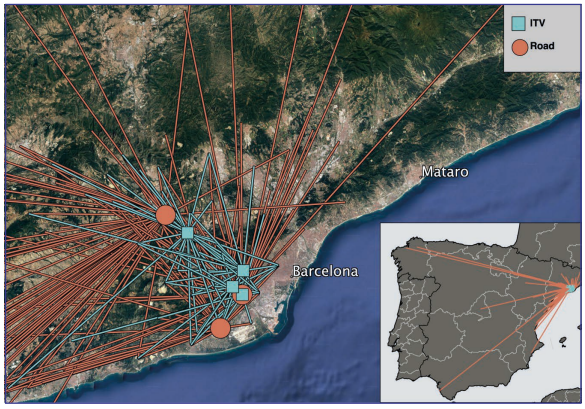


Basada en Ferreira-de-Lima VH, Lima-Camara TN.[2]

Figura 5. Distribución de publicaciones sobre la transmisión vertical natural del dengue en *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*, por región

regiones donde el riesgo estimado de transmisión del dengue era de 50%. Al respecto, con las proyecciones de la población y cambio climático para el 2085, se estima que entre 5 000 y 6 000 millones de personas (50 a 60% de la población mundial proyectada) estarían en riesgo de transmisión del dengue, en comparación con 3 500 millones de personas o 35% de la población mundial si el cambio climático no ocurriera.[6,14]

Por otro lado, la extensión geográfica, persistencia e incidencia del dengue en constante acrecentamiento a nivel mundial se pueden explicar por las variaciones en el cambio climático, aumento explosivo de la población, urbanización no planificada, control inadecuado de los vectores y por el incremento de los viajes y comercio internacionales, factores que potencialmente dan lugar a una mayor dispersión del vector y del virus.[14-17] Además del clima, los entornos construidos en zonas urbanas favorecen la proliferación de mosquito y el contacto con las personas, lo que a la vez propicia la ocurrencia y frecuencia de brotes con



Basada en Eritja R, Palmer JRB, Roiz D, Sanpera-Calbet I, Bartumeus F.[21]

Nota: Las líneas indican, esquemáticamente, rutas de viajes con ubicaciones de muestreo en sitios de inspección técnica de vehículo (ITV azul), en colaboración con el Departamento de Policía de Cataluña, y rutas de carretera con sitios de parada (ROAD naranja).

Figura 6. Evidencia directa de dispersión de *Aedes albopictus* adultos en automóvil

dispersión en la medida en que la expansión urbana y movilidad de personas y sus bienes se intensifica.[18] Igualmente, el comercio y los viajes globales aumentan la propagación de mosquitos vectores de enfermedades invasivas, pues de esta manera se facilitan canales de transporte humano a través de la diapausa biológica, huevos resistentes a la desecación y la capacidad de desarrollarse en pequeños contenedores artificiales.[18,19]

Por último, la movilidad del *Aedes albopictus*, vector secundario, ya se ha demostrado y descrito en el capítulo 3; ésta ha ocurrido como un mecanismo intercontinental de dispersión que se lleva a cabo mediante huevos resistentes a la desecación incrustados en mercancías, como neumáticos o plantas populares del hogar (por ejemplo, el bambú *Dracaena* spp.), entre otros bienes.[20] Cabe anotar que, en cortas distancias, lo anterior ocurre mediante automóviles dentro de conglomerados urbanos, por ejemplo, en España se estimó que por cada 1 000 vehículos circulando en Barcelona se transportan entre 2 y 11 mosquitos *Aedes albopictus* (figura 6).[21]

Referencias

1. Guzman MG, Gubler DJ, Izquierdo A, Martínez E, Halstead SB. Dengue infection. Nat Rev Dis Primers. 2016;2(16055). https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.55
2. Ferreira-de-Lima VH, Lima-Camara TN. Natural vertical transmission of dengue virus in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: a systematic review. Paras Vectors. 2018;11(77). https://doi.org/10.1186/s13071-018-2643-9
3. Lequime S, Paul RE, Lambrechts L. Determinantes de la transmisión vertical de arbovirus en mosquitos. PLoS Pathog. 2016;12(5):e1005548. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005548
4. Janjoter S, Kataria D, Yadav M, Dahiya N, Sehrawat N. Transovarial transmission of mosquito-borne viruses: a systematic review. Front Cell Infect Microbiol. 2024;13:1304938. https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1304938
5. Kaavya K, Tharakan J, Joshi CO, Aneesh EM. Role of vertically transmitted viral and bacterial endosymbionts of *Aedes mosquitoes*. Does paratransgenesis influence vector-borne disease control? Symbiosis. 2022;86:139-53. https://doi.org/10.1007/s13199-022-00836-1
6. Iwamura T, Guzman-Holst A, Murray KA. Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. Nature Commun. 2020;11(1):2130. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4
7. Poongavanan J, Lourenço J, Tsui JLH, Colizza V, Ramphal Y, Baxter C, *et al*. Dengue virus importation risks in Africa: a modelling study. Lancet Planet Health. 2024;8(12):e1043-54. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00272-9
8. Suaya JA, Shepard DS, Beatty ME. Dengue: burden of disease and costs of illness. En: World Health Organization. Scientific Working Group Report on Dengue, 1-5 October 2006. Ginebra: WHO, Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, 2006. Disponible en: https://www.who.int/publications/i/item/tdr-swg-08
9. World Health Organization. Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. Ginebra: WHO, 2012. Disponible en: https://apps.who.int/iris/handle/10665/75303
10. Stoddard ST, Forshey BM, Morrison AC, Paz-Soldan VA, Vazquez-Prokopec GM, Astete H, *et al*. House-to-house human movement drives dengue virus transmission. Proc Natl Acad Sci. 2013;110(3):994-9. https://doi.org/10.1073/pnas.1213349110
11. Gubler DJ. Dengue and dengue hemorrhagic fever. Clin Microbiol Rev. 1998;11(3):480-96. https://doi.org/10.1128/CMR.11.3.480
12. World Health Organization. Global vector control response 2017-2030. Ginebra: WHO, 2017. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259205/9789241512978-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. Stoddard ST, Morrison AC, Vazquez-Prokopec GM, Paz-Soldan V, Kochel TJ, Kitron U, *et al*. The role of human movement in the transmission of vector-borne pathogens. PLoS Negl Trop Dis. 2009;3(7):e48. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000481
14. Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. Lancet. 2002;360(9336):830-4. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)09964-6
15. Harish V, Colón-González FJ, Moreira FRR, Gibb R, Kraemer MUG, Davis M, *et al*. Human

movement and environmental barriers shape the emergence of dengue. Nat Commun. 2024;15(1):4205. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48465-0

16. Davis C, Murphy AK, Bambrick H, Devine GJ, Frentiu FD, Yakob L, *et al*. A regional suitable conditions index to forecast the impact of climate change on dengue vectorial capacity. Environm Res. 2021;195:110849. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110849
17. Damtew YT, Tong M, Varghese BM, Anikeeva O, Hansen A, Dear K, *et al*. Effects of high temperatures and heatwaves on dengue fever: a systematic review and meta-analysis. EBioMed. 2023;91:104582. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104582
18. Lindsay SW, Wilson A, Golding N, Scott TW, Takken W. Improving the built environment in urban areas to control *Aedes aegypti*-borne diseases. Bull World Health Org. 2017;95(8):607-8. https://doi.org/10.2471/BLT.16.189688
19. Jones KE, Patel NG, Levy MA, Storeygard A, Balk D, Gittleman JL, *et al*. Global trends in emerging infectious diseases. Nature. 2008;451:990-3. https://doi.org/10.1038/nature06536
20. Hawley WA, Reiter P, Copeland RS, Pumpuni CB, Craig GBJ. *Aedes albopictus* in North America: probable introduction in used tires from northern Asia. Science. 1987;236(4805):1114-6. https://doi.org/10.1126/science.3576225
21. Eritja R, Palmer JRB, Roiz D, Sanpera-Calbet I, Bartumeus F. Direct evidence of adult *Aedes albopictus* dispersal by car. Sci Rep. 2017;7:14399. https://doi.org/10.1038/s41598-017-12652-5

8

Infección y epidemiología

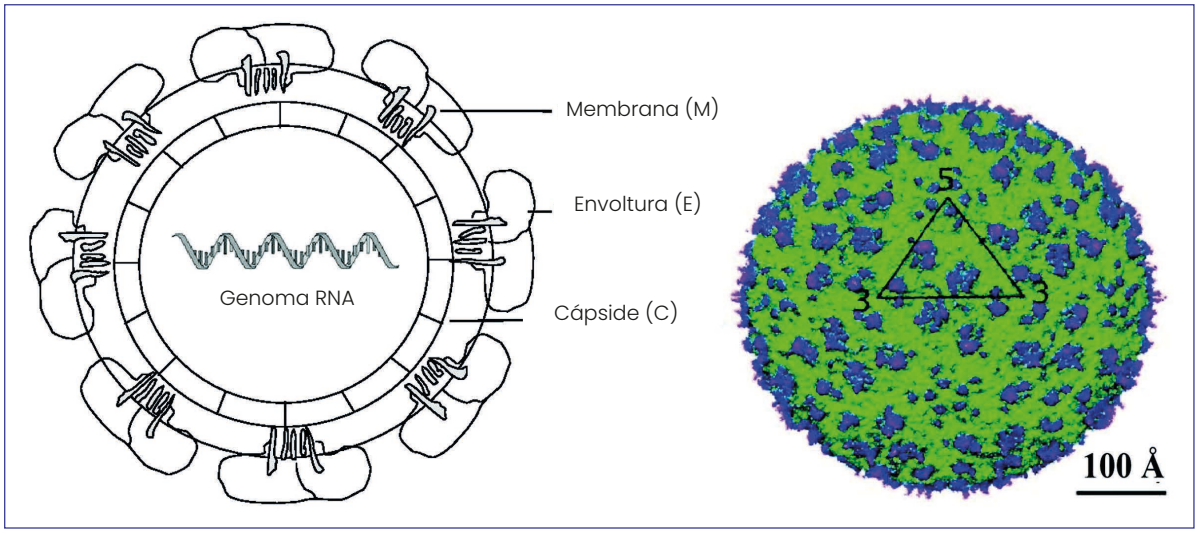
Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Mario Henry Rodríguez López

Los virus de dengue pertenecen al género flavivirus de la familia *flaviviridae*. Las micrografías electrónicas los muestran de forma esférica-icosaedro envueltos con un diámetro de aproximadamente 500 Å (0,05 micrómetros o 50 nanómetros o 0.00005 milímetros) con una superficie relativamente lisa, de un diámetro aproximado de 50 nm, conformada por una membrana lipídica que obtiene de las células del huésped y sobre la cual se insertan las proteínas de membrana de envoltura, es decir, una nucleocápside que contiene el genoma viral. Este genoma es una hebra de ácido ribonucleico (ARN) del dengue que comprende cuatro virus genética y antigénicamente relacionados, los cuales son conocidos como serotipos 1, 2, 3 y 4, cada uno de ellos agrupado en genotipos. El genoma de cada serotipo comprende 11 kb de ARN monocatenario de sentido positivo que codifica 10 proteínas. Las tres proteínas estructurales codificadas por el genoma son la proteína de membrana (M), la proteína de envoltura (E) y la proteína de cápside (C); las proteínas no estructurales (NS) son NS1, NS2A, NS2B, NS3, NS4A, NS4B y NS5[1-4] (figuras 1 y 2).

Durante la alimentación del mosquito hembra, el dengue se inocula en la dermis y la epidermis de la piel, en donde algunos virus se inyectan directamente en el torrente sanguíneo. En la piel, la inoculación inicia la infección de macrófagos, células dendríticas y células de Langerhans; estas últimas, encargadas de la captación, procesamiento y presentación de antígenos a los linfocitos en los ganglios linfáticos locales.[1,3] Este grupo de células infectadas pueden migrar a los ganglios linfáticos, en donde se desencadena el reclutamiento de monocitos y macrófagos que luego se convierten en sitios de la infección por el virus. Esto da pie al aumento del número y variedad de células infectadas, por ende, la infección puede diseminarse por todo el sistema linfático del linaje mononuclear, en donde se incluyen monocitos derivados de la sangre, células dendríticas mieloide y macrófagos del baso e hígado.[1,5] La infección en el hígado puede resultar en la apoptosis de los hepatocitos (muerte de células) y, cuando los hepatocitos apoptóticos infectados con dengue son engullidos por células de Kupffer, forman cuerpos de Councilman, un hallazgo histopatológico que se encuentra en los hígados de personas infectadas con dengue y fiebre amarilla.[1]

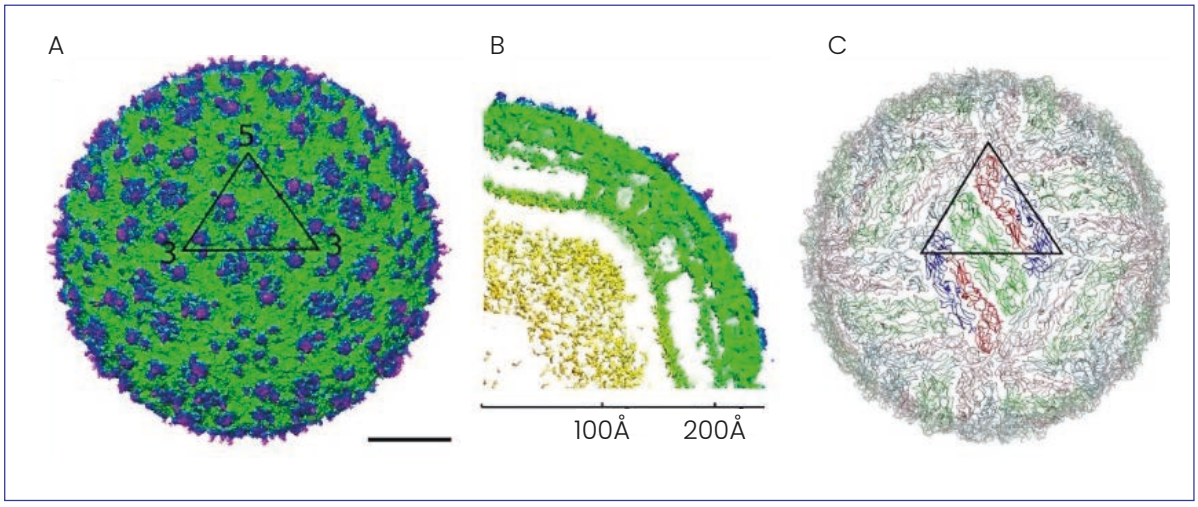
Los virus de dengue son capaces de infectar diferentes modelos celulares en experimentos de laboratorio *in vitro*, incluyendo células epiteliales, células endoteliales, hepatocitos, células musculares, células dendríticas, monocitos, células de la medula ósea y mastocitos; sin embargo, aún se desconocen las funciones en la patogénesis y los receptores involucrados en su infección.[1,6]

Por otro lado, cuatro factores principales controlan la respuesta a la enfermedad a lo largo de un continuo de contactos infecciosos con el virus: estado inmunológico, cepa del virus, estado genético y edad.[1] La susceptibilidad genética al dengue favorece la gravedad; por ejemplo, las personas de raza blanca tienen



Basada en Guzman MG, Gubler DJ, Izquierdo A, Martínez E, Halstead SB y Kostyuchenko VA, Chew PL, Ng TS, Lok SM.[1,3]

Figura 1. Virión del dengue



Nota: Se observa la estructura a través de crio-microscopia electrónica del virus del dengue 4 y se muestra un virión icosaédrico de 480 Å de diámetro con tres copias de cada una de las proteínas E y M en una unidad asimétrica
(A) Superficie del mapa crio-EM de dengue 4. El triángulo negro muestra la unidad asimétrica icosaédrica. Barra de escala, 100 Å.
(B) Un cuarto de corte a través del centro que muestra la distribución de densidad radial. El mapa está coloreado radialmente en los paneles A y B: hasta 160 Å, amarillo; 161 Å a 220 Å, verde; 221 Å a 230 Å, azul; a partir de 230 Å, magenta.
(C) Una vista de la disposición en espiga de las proteínas E. Las tres proteínas E individuales en cada unidad asimétrica están coloreadas en rojo, verde y azul.

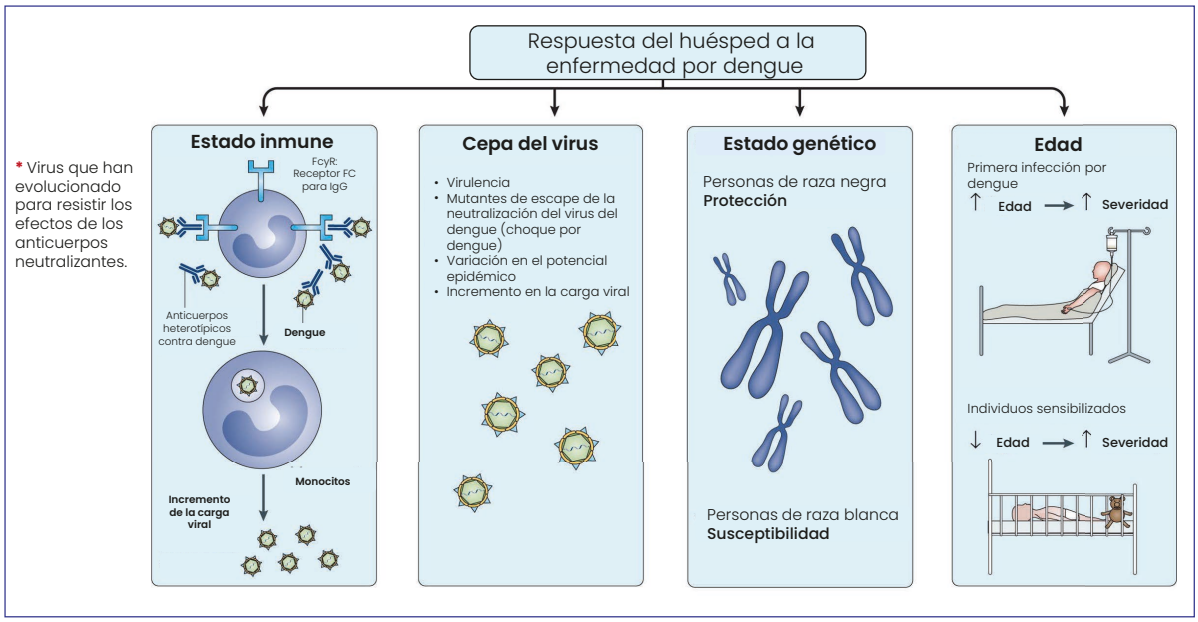
Basada en Kostyuchenko VA, Chew PL, Ng TS, Lok SM.[3]

Figura 2. Estructura del virión del dengue

mayor probabilidad de desarrollar más cuadros graves que las personas de raza negra. Además, la edad más joven se asocia con la gravedad de la enfermedad en personas que experimentan una infección secundaria, asimismo, la asociación de cada serotipo y genotipo con la gravedad de la enfermedad, el potencial epidémico y la eficiencia de transmisión podría estar influenciada por las diferencias entre ellos, pero también por otras condiciones como la inmunidad del huésped, la capacidad del vector para infectarse y diseminar el virus a los humanos, entre otras. Los mutantes de escape del virus son un fenómeno serológico *in vitro* o un grupo de fenómenos en donde la infección de células susceptibles es modificada por la adición de anticuerpos reactivos al virus y puede estar relacionada con los procesos inmunopatológicos que ocurren *in vivo*, incluyendo el síndrome de choque por dengue[1] (figura 3).

Asimismo, estudios recientes en células mieloides, tanto *in vitro* como en ratones, indican que la proteína no estructural NS1 induce fuga vascular y activación de TLR4 (receptor tipo Toll de respuesta a los patrones moleculares del dengue), lo que resulta en la producción de citocinas inflamatorias.[1,6-8] Estos estudios sugieren que la NS1 circulante desencadena una disfunción de la barrera endotelial, lo que causa un aumento de la permeabilidad de las células endoteliales humanas. Estos hallazgos abren una nueva ventana de oportunidad para el desarrollo de fármacos y vacunas contra el dengue.[1,7,8] Además, se ha informado de un aumento de la permeabilidad microvascular en pacientes con dengue grave (fiebre hemorrágica por dengue/síndrome de choque por dengue) en el momento o cerca del momento en que experimentan defervescencia (disminución en el aumento de la temperatura) lo que indica que la permeabilidad vascular no está directamente relacionada con el pico de viremia que generalmente ocurre el primer día después del inicio de la fiebre.[1,9,10]

En este sentido, la infección por dengue puede presentar una amplia gama de manifestaciones clínicas en 24.62% de los infectados, que van desde una enfermedad sin manifestaciones clínicas o asintomática y leve con cuadro viral febril acompañado de dolor de cabeza, dolores óseos o articulares y musculares, hasta



Basada en Guzman MG, Gubler DJ, Izquierdo A, Martínez E, Halstead SB.[1]

Figura 3. Factores involucrados en la respuesta al control de la enfermedad por virus del dengue

Dengue sin signos de alarma (DSSA)	Dengue con signos de alarma (DCSA)	Dengue grave (DG)
Persona que vive o ha viajado en los últimos 14 días a zonas con transmisión de dengue y presenta fiebre habitualmente de 2 a 7 días de evolución, y 2 o más de las siguientes manifestaciones:	Todo caso de dengue que, cerca de y preferentemente a la caída o descenso de la fiebre, presenta uno o más de los siguientes signos:	Todo caso de dengue que tiene uno o más de las siguientes manifestaciones:
1. Nauseas / vómitos. 2. Exantema. 3. Cefalea / dolor retro - orbitario. 4. Mialgias / artralgia. 5. Petequias o prueba del torniquete (+). 6. Leucopenia.	1. Dolor abdominal intenso y sostenido, o dolor a la palpación del abdomen. 2. Vómitos persistentes. 3. Acumulación de líquidos. 4. Letargo / irritabilidad. 5. Hipotensión postural (lipotimia). 6. Hepatomegalia mayor de 2 cm. 7. Aumento progresivo del hematocrito.	1. Choque o dificultad respiratoria debido a extravasación grave de plasma. 2. Sangrado grave: según la evaluación del médico tratante. 3. Compromiso grave de órganos (daño hepático, miocarditis, etc.).
	Requiere monitoreo estricto e intervención médica inmediata	
Primer nivel Manejo ambulatorio	Internar en hospital o unidades de dengue	Hospitalización (Unidad de Cuidados Intensivos-UCI)

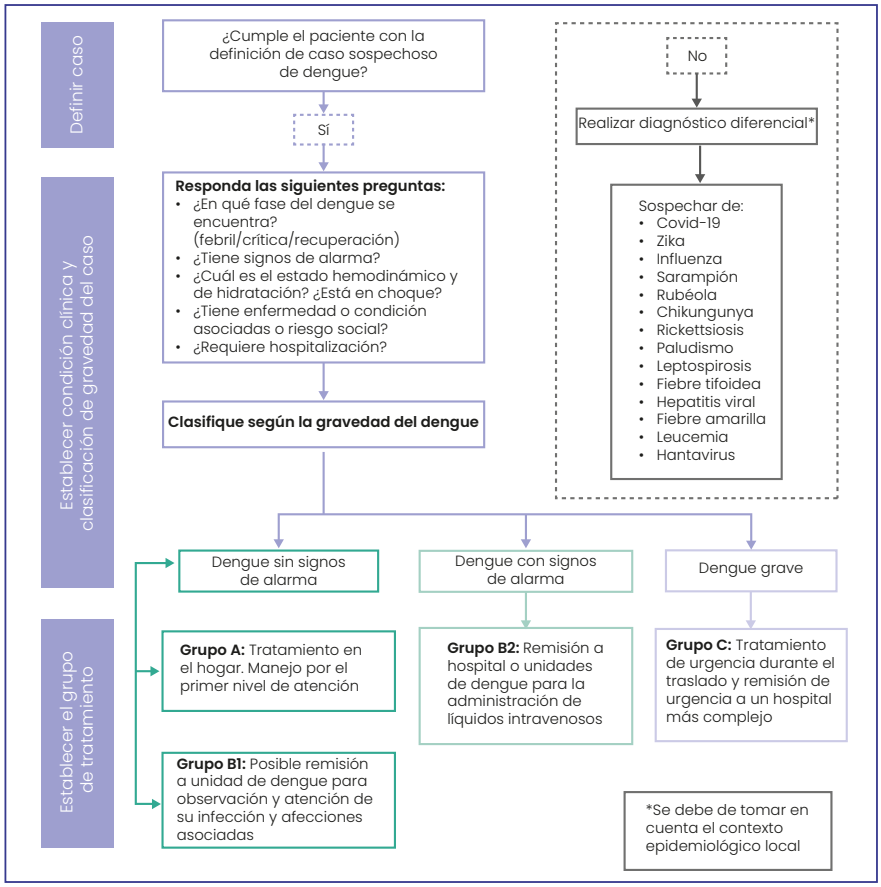
Basada en Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud y Secretaría de Salud, Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades.[12,13]

Figura 4. Clasificación de gravedad del dengue

un cuadro clínico hemorrágico grave y, ocasionalmente, mortal.[1,11] La evaluación de los signos de advertencia (caída o descenso de la fiebre y uno o más de los siguientes signos: dolor abdominal intenso y sostenido, o dolor a la palpación del abdomen, vómitos persistentes, acumulación de líquidos, sangrado de mucosas, letargo/irritabilidad, hipotensión postural [lipotimia], hepatomegalia mayor de 2 cm, y aumento progresivo del hematocrito) permite la identificación temprana de pacientes con manifestaciones de enfermedad más graves que requieren atención hospitalaria especializada[1,12,13] (figuras 4 y 5).

Si bien la infección primaria por dengue suele ser asintomática, una infección secundaria por dengue con un serotipo heterólogo (1, 2, 3 o 4) se considera el principal factor de riesgo para evolucionar a una forma grave de la enfermedad. Esto se debe a que los anticuerpos combaten, de por vida, al mismo serotipo del virus (homologo) y proporcionan protección temporal contra virus heterólogos o diferentes al virus primario de infección; de esta manera, si ocurre una nueva infección con un serotipo diferente al primario (heterólogo), los anticuerpos preexistentes, en lugar de neutralizar al nuevo serotipo del dengue, promueven la intensificación de la infección, lo que origina altas cargas virales y evolución grave de la enfermedad y facilita la entrada del complejo de anticuerpo-virus heterólogo en las células blanco o diana. Este fenómeno se denomina amplificación o potenciación dependiente de anticuerpos o *antibody dependent enhancement* (ADE, por sus siglas en inglés).[14]

Cabe anotar que no existe un tratamiento específico para la infección por dengue, mientras que los casos sin complicaciones requieren únicamente cuidados paliativos, los casos graves requieren hospitalización. El desarrollo de vacunas se centra en la generación de una vacuna tetravalente para la protección a largo plazo contra las cuatro cepas de dengue. Por ejemplo, Dengvaxia, en desarrollo por Sanofi, ha completado los ensayos clínicos de la fase tres y se ha autorizado en 20 países. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomendó el uso de la vacuna Dengvaxia en personas de 9 a 45 años en poblaciones altamente endémicas;[15,16] sin embargo, su implementación en Filipinas y Brasil, con un millón de niños y adolescentes vacunados sin una prueba previa, dio como resultado el incremento en la tasa de casos de dengue grave con hospitalización cuando se administró en niños seronegativos en comparación con controles de la misma edad.[1,17,18] Posteriormente, la OMS publicó una nueva



Basada en Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud y Secretaría de Salud, Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades.[12,13]

Figura 5. Algoritmo para la atención de casos sospechosos

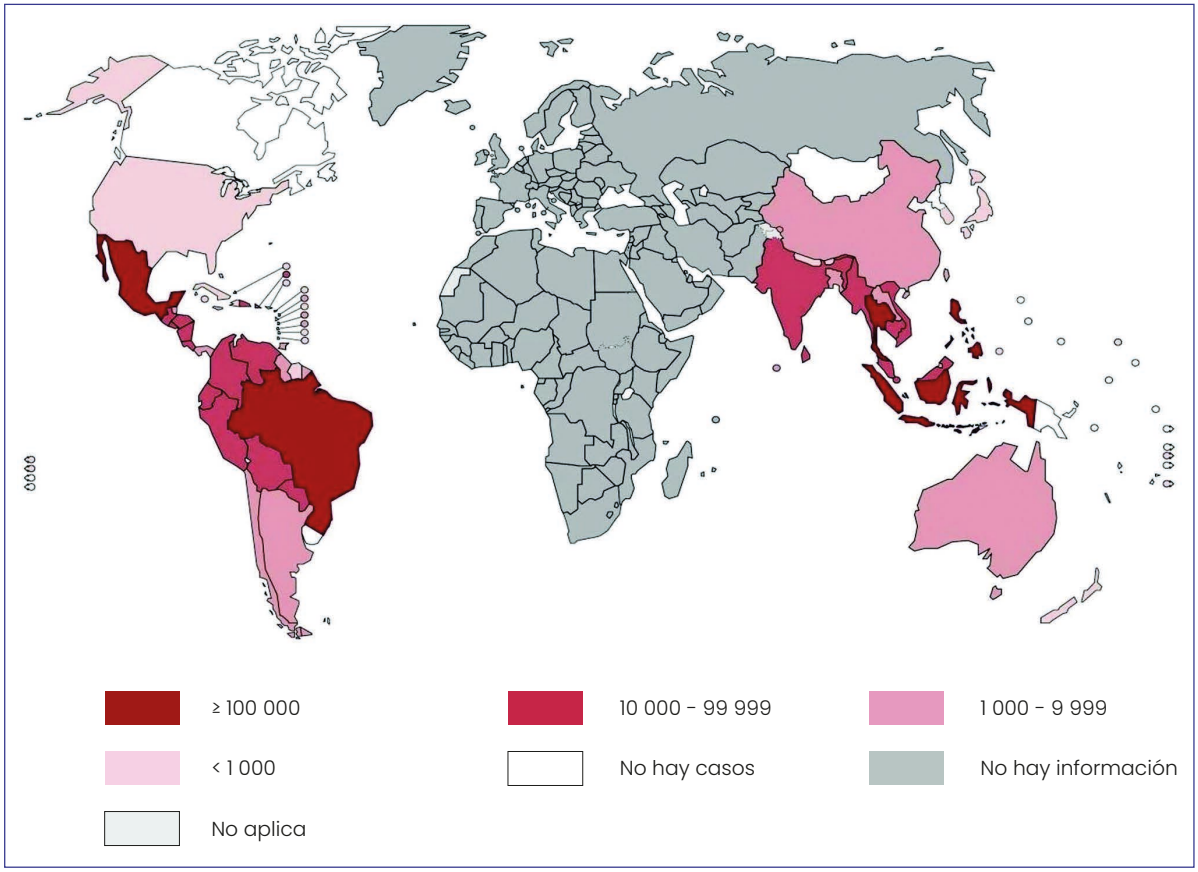
recomendación para restringir la vacuna únicamente a personas seropositivas a dengue.[15] Por su parte, la vacuna DENVax, producida por Takeda Pharmaceutical Company, presenta la misma limitación, pues el estado serológico individual antes de la vacunación también es un determinante de la eficacia de la vacuna.[18] Así, en ausencia de una vacuna eficaz y segura para la protección inmunológica contra el dengue, la prevención y control del contacto con el vector continua como la única alternativa para interrumpir la transmisión del virus.[1]

En otro orden de ideas, la crónica epidemiológica sobre el primer brote de dengue se registró en 1779 en Yakarta (Indonesia) y el Cairo (Egipto), cuando en México ocurría la epidemia de viruela. Posteriormente, en 1780 un nuevo brote ocurrió en Filadelfia, América del Norte.[1,19,20] La rápida propagación del virus comenzó con una pandemia en el sudeste asiático en la década de 1950, el cual estuvo asociado al crecimiento económico y urbano regional posterior a la Segunda Guerra Mundial.[1,21] Después de 1950, se presentaron ciclos epidémicos de dengue cada año en Filipinas, Bangkok, Tailandia, Bután, Brunéi, Camboya, Timor Oriental, Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Singapur y Vietnam.[1]

La celeridad epidémica se intensificó en la década de 1970 y 1980 con la expansión geográfica global de virus y mosquitos transmisores en regiones tropica-

les y subtropicales del mundo.[1] Esta propagación en la década de 1970 coincidió con el incremento de vuelos como el principal medio de transporte humano, con brotes epidémicos, seguido de transmisiones clínicamente no detectadas durante los periodos interepidémicos. La circulación de los cuatro serotipos, inmunidad colectiva a uno de ellos, la entrada de una nueva cepa del virus y cambios en la competencia vectorial pudieron haber influido en la reemergencia, persistencia e intensidad de la transmisión epidémica.[1,22-26] Así también, entre el 2004 y 2010, Indonesia presentó un segundo incremento epidémico de casos, después de Brasil: la mayoría de los casos se debieron al serotipo 4 (2009-2010); en el 2013 un caso grave se identificó como serotipo 3; y del 2007 al 2010, se encontró un serotipo 1.[1,26]

Actualmente, el virus del dengue infecta a seres humanos en más de 100 países del mundo y se estima que cada año ocurren 390 millones de infecciones totales, 96 millones de infecciones sintomáticas, 2 millones de casos graves de enfermedad y 21 000 muertes.[1,21-23] La mayor incidencia ocurre en Asia, continente en donde los niños entre 5 y 15 años son los más afectados, seguido por las áreas tropicales de América, en donde la edad predominante de infección es de 19 a 40 años.[1,24,25] Durante los últimos 50 años la incidencia del dengue se ha multiplicado en 30% a nivel mundial y se desconoce la situación en África, la cual puede estar enmascarada por la magnitud de la malaria[1,18,19,21,26] (figura 6).



Basada en Kumar-Roy S y Bhattacharjee S.[27]

Figura 6. Promedio mundial de casos de dengue durante 2010-2016

Referencias

1. Guzman MG, Gubler DJ, Izquierdo A, Martínez E, Halstead SB. Dengue infection. Nat Rev Dis Primers. 2016;2:16055. https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.55
2. Lindenbach B, Thiel H, Rice C. Flavivirus: the virus and their replication. En: Knipe D, Howley Peter. Fields Virology. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007; 1101-52 p. https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2022.03.001
3. Kostyuchenko VA, Chew PL, Ng TS, Lok SM. Near-atomic resolution cryo-electron microscopic structure of dengue serotype 4 virus. J Virol. 2014;88(1):477-82. https://doi.org/10.1128/JVI.02641-13
4. Roehrig JT. Antigenic structure of flavivirus proteins. Adv Virus Res. 2003;59:141-75. https://doi.org/10.1016/s0065-3527(03)59005-4
5. Muller DA, Young PR. The flavivirus NS1 protein: molecular and structural biology, immunology, role in pathogenesis and application as a diagnostic biomarker. Antiviral Res. 2013;98(2):192-208. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2013.03.008
6. Akey DL, Brown WC, Dutta S, Konwerski J, Jose J, Jurkiw TJ, *et al*. Flavivirus NS1 structures reveal surfaces for associations with membranes and the immune system. Science. 2014;343(6173):881-5. https://doi.org/10.1126/science.1247749
7. Beatty PR, Puerta-Guardo H, Killingbeck SS, Glasner DR, Hopkins K, Harris E. Dengue virus NS1 triggers endothelial permeability and vascular leak that is prevented by NS1 vaccination. Sci Transl Med. 2015;7(304):304ra141. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaa3787
8. Modhiran N, Watterson D, Muller DA, Panetta AK, Sester DP, Liu L, *et al*. Dengue virus NS1 protein activates cells via Toll-like receptor 4 and disrupts endothelial cell monolayer integrity. Sci Transl Med. 2015;7(304):304ra142. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaa3863
9. Bethell DB, Gamble J, Pham PL, Nguyen MD, Tran TH, Ha TH, *et al*. Noninvasive measurement of microvascular leakage in patients with dengue hemorrhagic fever. Clin Infect Dis. 2001;32(2):243-53. https://doi.org/10.1086/318453
10. Libraty DH, Endy TP, Kalayanarooj S, Chansiriwongs W, Nisalak A, Green S, *et al*. Assessment of body fluid compartment volumes by multifrequency bioelectrical impedance spectroscopy in children with dengue. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2002;96(3):295-9. https://doi.org/10.1016/s0035-9203(02)90104-5
11. Shepard DS, Coudeville L, Halasa YA, Zambrano B, Dayan GH. Economic impact of dengue illness in the Americas. Am J Trop Med Hyg. 2011;84(2):200-7. https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0503
12. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Algoritmos para el manejo clínico de los casos de dengue. Ginebra: OPS, OMS, 2020. Disponible en: https://www.paho.org/es/documentos/algoritmos-para-manejo-clinico-casos-dengue
13. Secretaría de Salud, Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Algoritmos para el manejo clínico de los casos de dengue. México: SS, Cenaprece, 2025 [citado enero 27, 2025]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/969931/Algoritmos_para_el_Manejo_Clinico_del_Dengue.pdf
14. World Health Organization. Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Ginebra: WHO, 2009. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44188/1/9789241547871_eng.pdf
15. World Health Organization. Dengue vaccine: WHO position paper, July 2016 – recommendations. Vaccine. 2017:35(9):1200-1. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.10.070
16. Hadinegoro SR, Arredondo-García JL, Capeding MR, Deseda C, Chotpitayasunondh T, Dietze R, *et al*. Efficacy and long-term safety of a dengue vaccine in regions of endemic disease. N Engl J Med. 2015;373(13):1195-206. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1506223
17. Wilder-Smith A. Dengue vaccine development by the year 2020: challenges and prospects. Curr Opin Virol. 2020;43:71-8. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2020.09.004
18. Rivera L, Biswal S, Sáez-Llorens X, Reynales H, López-Medina E, Borja-Tabora C, *et al*. Three years efficacy and safety of Takeda's dengue vaccine candidate (TAK-003). Clin Infect Dis. 2021;75(1):107-17. https://doi.org/10.1093/cid/ciab864
19. Roy SK, Bhattacharjee S. Dengue virus: epidemiology, biology, and disease aetiology. Can J Microbiol. 2021;67(10):687-702. https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0572

20. Rush B. An account of the bilious remitting fever: as it appeared in Philadelphia, in the summer and autumn of the year 1780. Am J Med. 1951;11(5):546-50. https://doi.org/10.1016/0002-9343(51)90035-6
21. Ooi EE, Gubler DJ. Dengue in Southeast Asia: epidemiological characteristics and strategic challenges in disease prevention. Cad Saude Publica. 2009;25(suppl 1):S115-24. https://doi.org/10.1590/S0102-311X2009001300011
22. Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, *et al*. The global distribution and burden of dengue. Nature. 2013;496:504-07. https://doi.org/10.1038/nature12060
23. Beatty ME, Beutels P, Meltzer MI, Shepard DS, Hombach J, Hutubessy R, *et al*. Health economics of dengue: a systematic literature review and expert panel's assessment. Am J Trop Med Hyg. 2011;84(3):473-88. https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0521
24. World Health Organization. Strategic preparedness, readiness and response plan: dengue and other Aedes-borne arboviruses. Ginebra: WHO Press, 2024.
25. Shepard DS, Undurraga EA, Halasa YA, Stanaway JD. The global economic burden of dengue: a systematic analysis. Lancet Infect Dis. 2016;16(8):935-41. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00146-8
26. Gubler DJ. Dengue, urbanization and globalization: the unholy trinity of the 21(st) century. Trop Med Health. 2011;39(suppl 4):3-11. https://doi.org/10.2149/tmh.2011-S05
27. Kumar-Roy S, Bhattacharjee S. Dengue virus: epidemiology, biology, and disease aetiology. Can J Microbiol. 2021;67(10):687-702. https://doi.org/10.1139/cjm-2020-0572

Focos operativos de transmisión

Felipe Antonio Dzul Manzanilla,
Fabián Correa Morales, Herón Huerta Jiménez

El soporte técnico-científico en la vigilancia epidemiológica de *Aedes* spp. constituye un elemento clave para la generación de información de calidad que ayude a la toma oportuna de decisiones e implementación de acciones sustentables dentro de la estrategia de intervención para la prevención sostenida del dengue. Este soporte se basa en la medición de indicadores relacionados con la abundancia del vector y la presencia de casos en zonas de riesgo.

Al respecto, la presencia del dengue en México ha sido favorecida por las condiciones ecológicas, ambientales, climáticas, sociales y demográficas que han influido en el desarrollo y abundancia del vector. Datos más recientes de los brotes epidémicos del 2023-2024 indican una expansión geográfica con la presencia de dengue en 63% del territorio mexicano.[1,2] En este escenario, se encuentran evidencias de localidades con características climáticas templadas con poca presencia de casos o sin antecedentes de dengue, las cuales han comenzado a experimentar transmisión autóctona, como por ejemplo, el área metropolitana de Puebla, Ciudad de México, Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Ciudad de Delicias, en Chihuahua, por mencionar algunas (figura 1).

Así, con la finalidad de hacerle frente a la emergencia y reemergencia de las arbovirosis transmitidas por *Aedes aegypti*, la Organización Mundial de la Salud (OMS) lanzó la iniciativa global de las arbovirosis "Preparándose para la próxima pandemia abordando los virus transmitidos por mosquitos con potencial epidémico y pandémico",[3] documento en el que se definieron seis pilares esenciales para el manejo integral del vector: 1) monitoreo de riesgo y anticipación; 2) reducción del riesgo local de epidemias; 3) fortalecimiento del control del vector; 4) prevención y preparación para las epidemias; 5) mejora de los sistemas de vigilancia a través de la innovación y nuevos enfoques; y 6) construcción de alianzas intersectoriales. En el primer pilar, una de las acciones prioritarias consiste en establecer mecanismos de gestión y análisis espacial de datos geográficos para el monitoreo y determinación de las áreas vulnerables a la transmisión, aparición o reemergencia de los virus transmitidos por *Aedes* spp. Bajo esta misma óptica, la Organización Panameri-

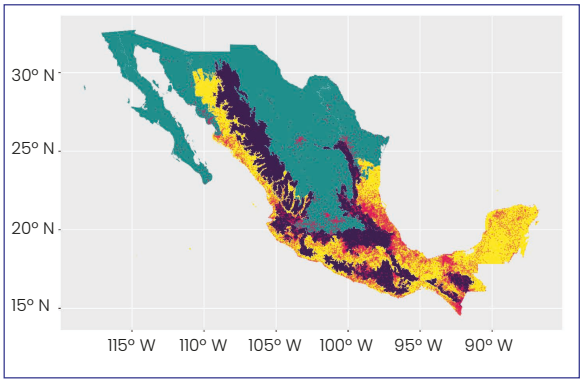


Figura 1. Regiones biogeográficas de dengue en México, 2023-24

cana de la Salud (OPS)[4] recomienda la identificación de los escenarios operativos o epidemiológicos con el fin de analizar patrones espaciales y zonas con mayor riesgo de transmisión con el propósito de implementar estrategias de manejo integrado y focalizado para su atención oportuna y eficaz.

De igual manera, para disminuir la carga de la enfermedad y muertes causadas por dengue y otras enfermedades arbovirales transmitidas por *Aedes* spp., la OMS desarrolló el "Plan estratégico mundial de preparación y respuesta para el dengue y otros arbovirus transmitidos por *Aedes*"[5] en donde se destacó la importancia de promover estrategias integrales y sostenibles, adaptadas a las necesidades locales. Este plan considera como principios elementales el desarrollo de acciones coordinadas entre los diferentes sectores, incluidos la salud pública, la vigilancia epidemiológica, la atención de la salud, la investigación y la participación comunitaria.

Por lo anterior, es importante mencionar que es crucial la implementación de un modelo estratégico focalizado, que esté basado en el manejo integrado de las arbovirosis transmitidas por *Aedes* spp. y que se realice a través de un soporte que incorpore sistemas de vigilancia epidemiológica y análisis espacial de los datos en áreas urbanas endémicas. Esta implementación ayudaría a optimizar los limitados recursos materiales, humanos y económicos en las áreas de los grandes centros urbanos identificados como escenarios epidemiológicos de alto riesgo, donde la transmisión persistente se concentra y las cadenas de transmisión permanecen activas. El análisis espacial del dengue, mediante la identificación y monitoreo de patrones en bases de datos históricas (transmisión persistente) y recientes (transmisión activa) generados por los sistemas de vigilancia epidemiológica y entomológica, permitiría priorizar los escenarios operativos o epidemiológicos acorde con las particularidades locales.

En este contexto, se presenta una metodología para la identificación de los escenarios epidemiológicos que conlleva un proceso sistemático, en donde se integran el análisis de datos epidemiológicos, entomológicos, información ambiental y social por medio de herramientas de análisis espacial de datos. Este proceso se desarrolla en dos etapas, las cuales se describen a continuación.

Primera etapa

Se definen los escenarios operativos basados en 1) la transmisión persistente identificada en información histórica y actual en bases de datos epidemiológicos del 2008 al 2024; y 2) definición de *hotspots* o zonas de abundancia persistente del vector, en donde se empleen bases de datos entomológicos del 2014 al 2019.

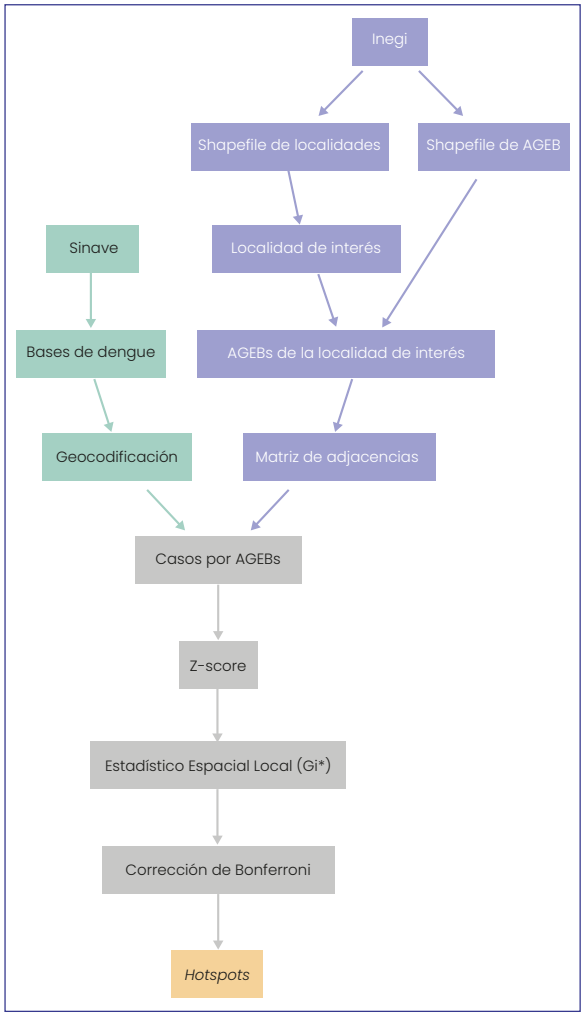
Segunda etapa

Se definen los escenarios operativos basados en 1) la transmisión activa determinada con uno o varios métodos de análisis espacial (cadenas de transmisión, mapas de calor o modelo espacial bayesiano de Cox loggaussiano [LGCP] espacial), aquí se deben utilizar las bases de datos epidemiológicos del año en curso; y 2) se emplearán los *hotspots* de las abundancias recientes del vector mediante el análisis de bases de datos entomológicos del año en curso.

Al respecto, la metodología para la identificación de los *hotspots* de la transmisión de los casos y los *hotspots* del vector está basada en metodologías publicadas y estándares[6-9] (figura 2). Los escenarios epidemiológicos son ejemplificados y presentados para el área metropolitana de Cuernavaca en el estado de Morelos y el resto de las localidades prioritarias de la República mexicana.[10]

En cuanto a la vigilancia entomológica, la Secretaría de Salud (SS) y los Servicios Estatales de Salud (SES) en coordinación con el Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades (Cenaprece) tienen implementado, en las localidades prioritarias, un sistema de vigilancia entomológica por medio de ovitrampas, diseñadas para la colecta de adultos (entomovirología) y estudios entomológicos en etapa larvaria y pupal. La vigilancia entomológica en México se realiza de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana para la Vigilancia Epidemiológica, Promoción, Prevención y Control de las Enfermedades Transmitidas por Vectores NOM-032-SSA2-2014 y con las guías operativas de las arbovirosis.[11]

Asimismo, el programa de prevención y control del dengue implementó, desde el 2010, un sistema de vigilancia entomológica basado en la instalación de



Nota: La determinación de los *hotspots* en las áreas urbanas endémicas de dengue se realiza a través de un proceso resumido en cinco pasos (figura 1). En el primer paso se obtienen los datos espaciales (mediante el Inegi) y datos epidemiológicos (Sinave). En el segundo paso, se selecciona el área urbana de interés y se extraen los AGEB (hexágonos H3); en el tercer paso se geocodifican los casos (transformación de las direcciones de los domicilios a coordenadas geográficas); en el cuarto paso se genera la matriz de adyacencias y se cuentan los casos por AGEB; y en el quinto paso se obtiene el z-score, el estadístico espacial local (Gi* o Getis-Ord) y se aplica la corrección de Bonferroni con la finalidad de determinar el umbral para decidir cuando un área es *hotspot*. El resultado del proceso es la identificación de los *hotspots* de la transmisión persistente de dengue (las zonas con concentración significativa de casos de dengue).
Inegi: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Sinave: Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica
AGEB: áreas geoestadísticas básicas

Figura 2. Flujograma de la identificación de los *hotspots* de transmisión de los virus del dengue

ovitrampas en al menos una localidad de cada estado; estos dispositivos son empleados en un muestreo sistemático caracterizado por instalar cuatro ovitrampas por manzana (una ovitrampa por cada lado de la manzana) con un intervalo de separación de cada 4 a 6 manzanas en zonas planas y con un intervalo de separación de 2 a 3 manzanas en zonas con relieve (figura 3). Las ovitrampas se instalan en el exterior del domicilio en lugares sombreados a una altura de 1.5 metros.

Las ovitrampas utilizadas en México consisten en recipientes de plástico negro con una capacidad de un litro cubiertos en su superficie interior con papel pellón (F-1 600), recipientes a los cuales se les incorpora agua potable hasta antes de 2 cm de su borde superior (figura 4 a, b y c). Semanalmente, se le retira el sustrato de ovoposición a las ovitrampas y se les cambia por un sustrato nuevo y agua. El número de huevos en la papeleta de cada ovitrampa instalada es contado y registrado. La información asociada a la papeleta (localidad, municipio, manzana, sector, fecha, colector y número de huevos) es capturada en el Módulo de Vigilancia Entomológica y Control Integral del Vector del Sistema de Monitoreo Integral de Vectores de la SS.[12] La descripción de los procesos puede encontrarse en la guía metodológica para la vigilancia entomológica con ovitrampas.[13]

El sistema opera en todo el país y todos los estados han instalado la vigilancia entomológica con ovitrampas en al menos una localidad. Por ejemplo, en el estado de Veracruz, el sistema está instalado en 15 localidades: Panuco, Tuxpan, Papantla, Poza Rica, Martínez de la Torre, Xalapa, Córdoba, Orizaba, Veracruz, Alvarado, Bocal del Río, Cosamaloapan, San Andrés y Coatzacoalcos. Entre 2012 y 2019, se han analizado más de 72 millones de registros de ovitrampas (72 304 515).

A la par, como parte del sistema de vigilancia, se emplea la encuesta y verificación a través de los índices aédicos donde se realizan búsquedas sistemáticas en los hogares para detectar la presencia de larvas en recipientes que contienen agua. Estos índices han permanecido intactos en su forma original y el programa de vectores de México los usa en todas las localidades donde se programan acciones de prevención y control dirigidos a las etapas inmaduras.

Básicamente, la vigilancia entomológica de los estados inmaduros y en la fase acuática del vector está enfocada en dos metas principales: 1) determinar el riesgo entomológico, de acuerdo con el grado de infestación del vector en su fase acuática en las localidades de estudio; y 2) evaluar la calidad de las actividades de control larvario, con énfasis en fomentar el incremento del control físico como acción primordial, por encima de la aplicación de insecticidas. Esto tiene como objetivo lograr el impacto requerido en la eliminación de criaderos del mosquito vector en su fase acuática.

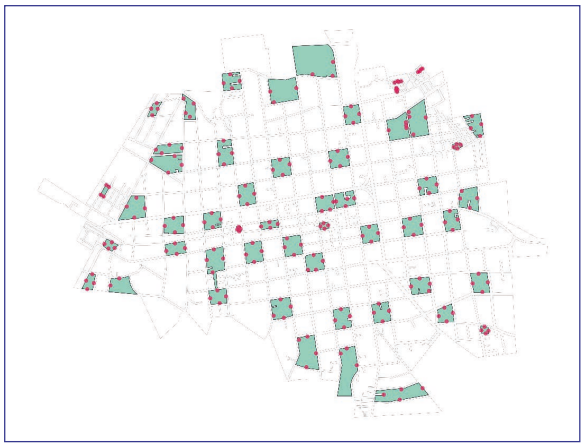


Figura 3. Muestreo sistemático de ovitrampas

Así, la encuesta entomológica se realiza entre 24 horas y una semana antes de las acciones de prevención y control, la cual cubre entre 10 a 20% del universo de trabajo. Las encuestas se llevan a cabo en un lapso no mayor a 48 horas (excepto los fines de semana), en este proceso se utilizan insecticidas convencionales como temefos y larvicida microbiano. Los lineamientos específicos son proporcionados en la "Guía metodológica para el control larvario".[14]

En relación con la vigilancia entomovirológica, la colecta de adultos en reposo permite la detección temprana de virus en mosquitos y podría facilitar acciones tempranas y específicas de control de vectores, si se implementa y utiliza de manera oportuna. La vigilancia entomológica en la SS inició desde el 2009, cuando el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (Indre) planteó un proyecto de investigación en Morelos, Guadalajara y Guerrero. Posteriormente, con la introducción de chikungunya y Zika en México, estados como Guerrero implementaron la vigilancia entomovirológica en la ciudad de Acapulco. Los resultados permitieron detectar la circulación del virus de chikungunya en *Aedes aegypti* con antelación

A. Papel pellón con huevecillos

B. Ovitrampa con sustrato y nivel de agua

C. Ovitrampa de monitoreo entomológico

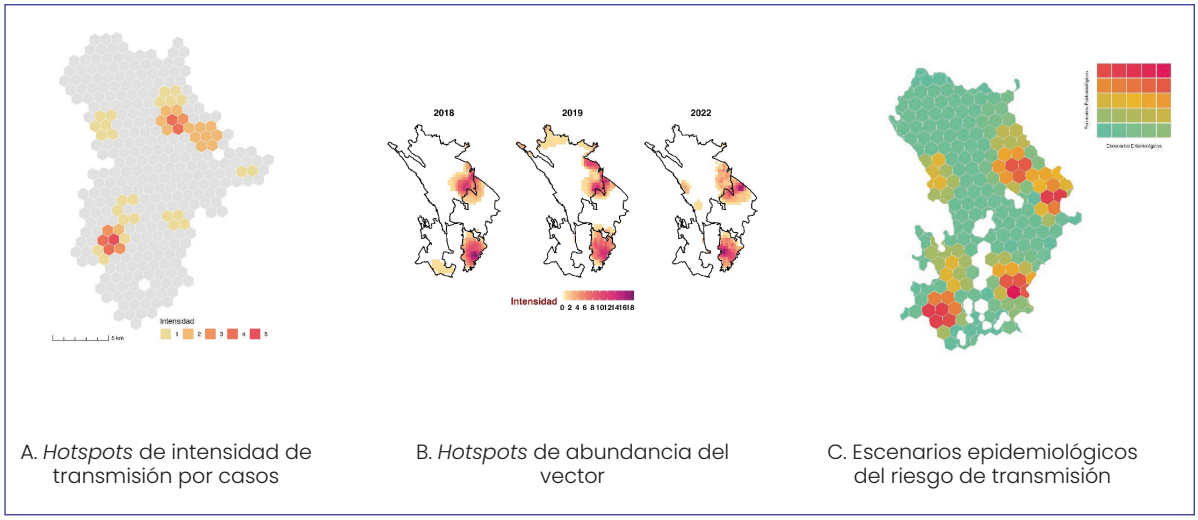
Figura 4. Características de las ovitrampas en México

a los primeros casos en humanos.[15] El análisis retrospectivo de las muestras de ácido ribonucleico (RNA) permitió comprobar que los virus del dengue, chikungunya y Zika circularon en mosquitos al mismo tiempo.[16,17] Durante dos años consecutivos (febrero 2017 a noviembre 2018) la vigilancia entomovirológica se realizó en 18 estados de la República mexicana (Baja California Norte, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Ciudad de México, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán).[18] Actualmente la vigilancia entomovirológica se lleva a cabo en cuatro localidades de México: Acapulco en el estado de Guerrero, Jojutla en el estado de Morelos, Tapachula en el estado de Chiapas y en el Puerto de Veracruz y Boca del Río, Veracruz.[12]

En el marco de la intervención "Prevención y Control Sostenido del Dengue y otras Arbovirosis Transmitidas por *Aedes aegypti* con Rectoría de Salud y Abordaje de Ecosalud" en el municipio de Cuernavaca, se implementa un sistema de vigilancia espacial para la caracterización de escenarios epidemiológicos de transmisión persistente, identificados como *hotspots* con el fin de generar estrategias de prevención sostenibles que permitan la identificación de escenarios prioritarios de intervención y generar información sobre las zonas de riesgo a los tres niveles de Gobierno del programa de salud local, estatal y federal, comunidades e individuos, esto con el propósito de que se permita plantear acciones puntuales, sustentables, oportunas y adaptadas localmente.

En este sentido, derivado del análisis del escenario epidemiológico de la transmisión persistente, se encuentra que los *hotspot*s en el área metropolitana de la ciudad de Cuernavaca constituyen 30% de las unidades espaciales, donde se concentra 60% de la carga de la enfermedad. Asimismo, se observa una concordancia espacial entre la intensidad de los *hotspot*s de transmisión y los *hotspots* de las abundancias de huevos de *Aedes aegypti*. Los escenarios epidemiológicos de muy alto riesgo se localizan en la parte este y sur de la ciudad (figura 5 a, b y c).

En el 2024, las áreas metropolitanas de Cuernavaca y Cuautla contribuyeron con 42% de los casos registrados, las cuales funcionaron como centros de dispersión, mientras que el resto de los municipios actuaron como satélites. La transmisión del dengue en el área metropolitana de la ciudad de Cuernavaca es heterogénea (figuras 5 y 6 a, b). Los resultados de los análisis espaciales (mapas de las cadenas de transmisión, mapas predictivos del modelo LGCP y mapas de calor) muestran concordancia espacial. El área de alto riesgo es aquella en donde se superponen las cadenas de transmisión, el modelo predice más casos y donde se identifican los puntos calientes en los mapas de calor (figura 7 a y b).

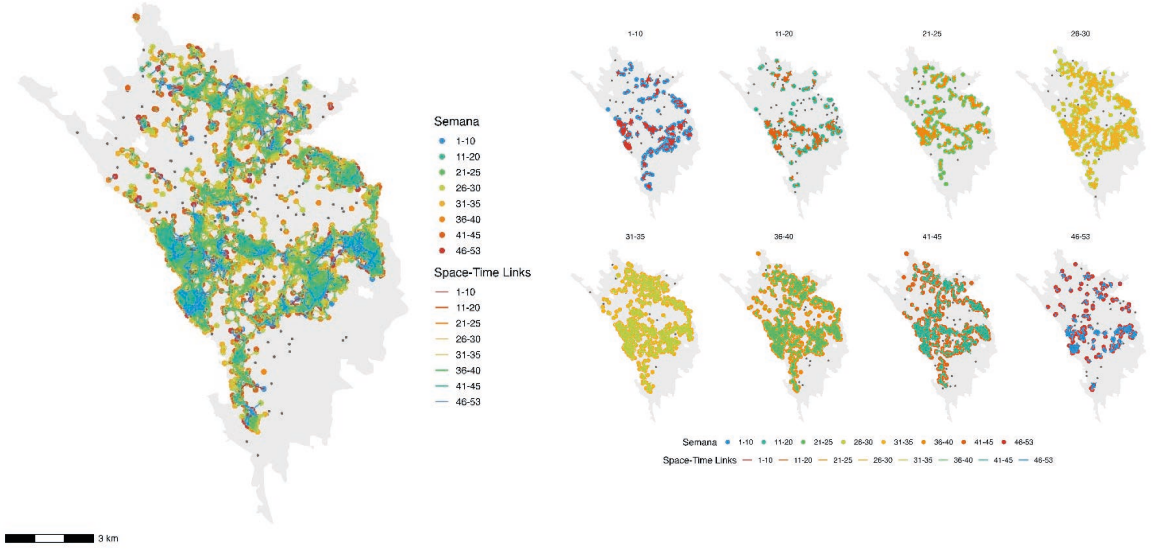


A. *Hotspots* de intensidad de transmisión por casos

B. *Hotspots* de abundancia del vector

C. Escenarios epidemiológicos del riesgo de transmisión

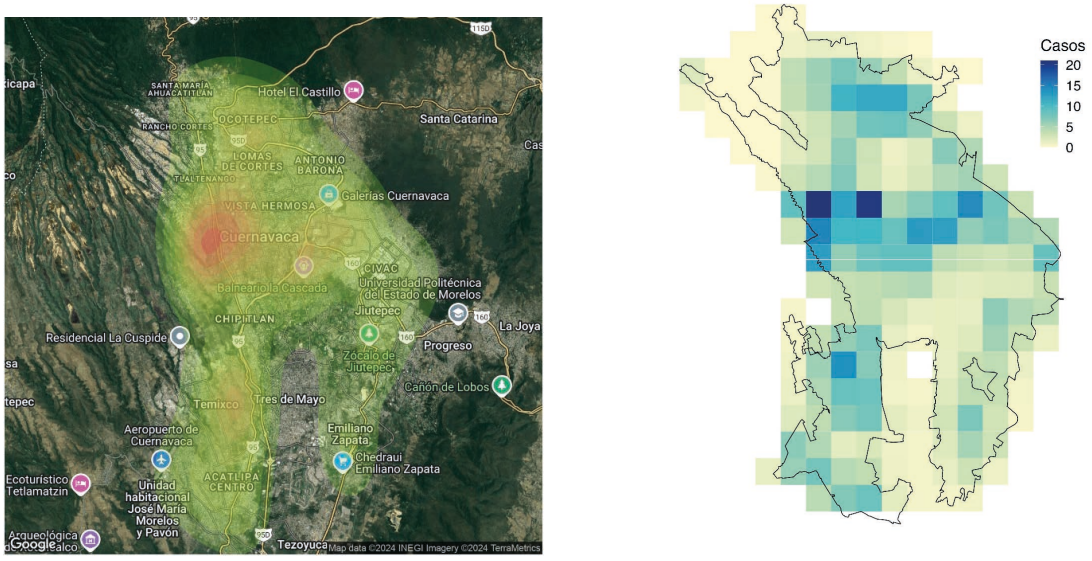
Figura 5. Localización de los escenarios epidemiológicos de muy alto riesgo



A. Heterogeneidad espacial y temporal de cadenas de transmisión en Cuernavaca, 2024

B. Heterogeneidad espacial y temporal de cadenas de transmisión en Cuernavaca, 2024

Figura 6. Transmisión del dengue en el área metropolitana de Cuernavaca



A. Puntos calientes en mapas de calor en cadenas de transmisión de Cuernavaca, 2024

B. Puntos calientes en mapas de calor en cadenas de transmisión de Cuernavaca, 2024

Figura 7. Identificación de puntos calientes en mapas de calor

En conclusión, la implementación de un mecanismo de vigilancia epidemiológica basado en evidencia científica es crucial para identificar y monitorear las áreas de riesgo y transmisión. Este enfoque permitirá a los organismos y autoridades de salud pública tomar decisiones informadas y focalizadas, lo que a la vez contribuirá significativamente a generar estrategias de prevención y reducción de riesgos, tanto individuales como colectivos.

Referencias

1. Dong B, Khan L, Smith M, Trevino J, Zhao B, Hamer GL, *et al*. Spatio-temporal dynamics of three diseases caused by *Aedes*-borne arboviruses in Mexico. Commun Med. 2022:2:134. https://doi.org/10.1038/s43856-022-00192-7
2. Harish V, Colón-González FJ, Moreira FRR, Gibb R, Kraemer MUG, Davis M, *et al*. Human movement and environmental barriers shape the emergence of dengue. Nat Commun. 2024;15(1):4205. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48465-0
3. World Health Organization. Global arbovirus initiative: preparing for the next pandemic by tackling mosquito-borne viruses with epidemic and pandemic potential. Ginebra: WHO, 2024.
4. 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.
5. World Health Organization. Strategic preparedness, readiness and response plan: dengue and other Aedes -borne arboviruses. Ginebra: WHO, 2024.
6. Dzul-Manzanilla F, Correa-Morales F, Che-Mendoza A, Palacio-Vargas J, Sánchez-Tejeda G, González-Roldan JF, *et al*. Identifying urban *hotspots* of dengue, chikungunya, and Zika transmission in Mexico to support risk stratification efforts: a spatial analysis. Lancet Planet Health. 2021;5(5):e277-85. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00030-9
7. Dzul-Manzanilla FA, Correa-Morales F, Hernández-Herrera L, Báez-Hernández A, Beristaín-Hernández SA, Díaz del Castillo-Flores G. Hotspots de *Aedes aegypti* en el área metropolitana de Veracruz, México. Entomol Mex. 2019;6:497-501.
8. Dzul-Manzanilla F. Deneggs: a package to generate predictive maps of the number of eggs or adults in areas where it is not collected R package version 0.1.0. GitHub Actions, 2024. Disponible en: https://fdzul.github.io/deneggs/
9. Dzul-Manzanilla F, Correa-Morales F, Báez-Hernández A, Díaz del Castillo-Flores G, Huerta H, Hernández-Herrera L, *et al*. Manual para la identificación de los hotspots en áreas urbanas. GitHub Actions, 2024. Disponible en: https://fdzul.github.io/manual_hotspots/
10. Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades. Programa de prevención y control de las arbovirosis. México: Gorgeous Douhua, 2024. Disponible en: https://gorgeous-douhua-44b970.netlify.app/#programa-de-prevención-y-control-de-las-arbovirosis
11. Secretaría de Salud. Guías arbovirosis 2024. México: Cenaprece, 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/salud/cenaprece/documentos/guias-arbovirosis-2024
12. Instituto Nacional de Salud Pública. Sistema Integral de Monitoreo de Vectores. México: Geosis, 2024. Disponible en: https://geosis.mx/aplicaciones/sismv/
13. Secretaría de Salud. Guía metodológica para la vigilancia entomológica con ovitrampas. México: Cenaprece, 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/943497/Gu_a_Metodol_gica_para_la_Vigilancia_Entomol_gica_con_Ovitrampas_compressed.pdf
14. Secretaría de Salud. Guía metodológica para el control larvario. México: Cenaprece, 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/943493/Guia_Metodologica_para_el_Control_Larvario.pdf
15. Dzul-Manzanilla F, Martínez NE, Cruz-Nolasco M, Gutiérrez-Castro C, López-Damián L, Ibarra-López J, *et al*. Arbovirus surveillance and first report of chikungunya virus in wild populations of *Aedes aegypti* from Guerrero, Mexico. J Am Mosq Control Assoc. 2015;31(3):275-7. https://doi.org/10.2987/moco-31-03-275-277.1
16. Dzul-Manzanilla F, Martínez NE, Cruz-Nolasco M, Gutiérrez-Castro C, López-Damián L, Ibarra-López J, *et al*. Evidence of vertical transmission and co-circulation of chikungunya and dengue viruses in field populations of *Aedes aegypti* (L.) from Guerrero, Mexico. Trans R Soc Trop Med Hyg.

2016;110(2):141-4. https://doi.org/10.1093/trstmh/trv106

17. Díaz-Quiñonez JA, López-Martínez I, Torres-Longoria B, Vázquez-Pichardo M, Cruz-Ramírez E, Ramírez-González JE, *et al*. Evidence of the presence of the Zika virus in Mexico since early 2015. Virus Genes. 2016;52(6):855-7. https://doi.org/10.1007/s11262-016-1384-0
18. Correa-Morales F, González-Acosta C, Mejía-Zúñiga D, Huerta H, Pérez-Rentería C, Vázquez-Pichardo M, *et al*. Surveillance for Zika in Mexico: naturally infected mosquitoes in urban and semi-urban areas. Pathog Glob Health. 2019;113(7):309-14. https://doi.org/10.1080/20477724.2019.1706291

Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue

Tannia Gioconda Mejía Mendoza,
Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Mario Henry Rodríguez López

En el análisis de las causas de la abundancia del vector *Aedes aegypti* y presencia de casos de dengue, Zika y chinkungunya es imprescindible adoptar una visión sistémica que permita interrelacionar los determinantes ambientales (cambio climático, temperatura, humedad, precipitación y manejo de residuos sólidos), antropogénicos (movilidad, migración y crecimiento poblacional) y sociales (marginación, educación, abasto de agua entubada, servicios urbanos y participación comunitaria) que contribuyen a la problemática. En este entendido, el abordaje integral de los determinantes sociales y ambientales es esencial para el desarrollo de estrategias de intervención en educación ambiental con participación social, en las que la ciudadanía pueda participar en coordinación con las autoridades de salud, ambiente, educación e investigación (entre otras), para la prevención del dengue.

Así, la educación ambiental constituye un proceso que plantea los elementos de interdependencia y complejidad e involucra el reconocimiento de los límites biofísicos planetarios, las consecuencias de la dependencia humana de la naturaleza y las formas de educar para actuar con responsabilidad en respuesta a la crisis ambiental actual.[1,2] Al respecto, la evidencia científica ha demostrado las implicaciones positivas que han tenido las intervenciones de educación ambiental con enfoque de participación social en la prevención y control de las enfermedades transmitidas por *Aedes* spp. Por ejemplo, el cambio de conocimientos, actitudes y prácticas derivados de estrategias que integraron la participación de diferentes actores sociales en acciones de educación, saneamiento de viviendas, espacios públicos y sistemas de vigilancia epidemiológica comunitaria resultaron en condiciones desfavorables que irrumpieron el ciclo de vida del vector.[3-5]

En línea con lo anterior y de manera específica, estudios sobre la participación escolar en experiencias de intervención relacionadas con la prevención de enfermedades transmitidas por mosquitos han documentado la importancia de la participación de las escuelas como escenarios de praxis pedagógica, debido a su alta capacidad de transformación social, generación de conocimientos, actitudes, valores y prácticas orientadas a la mejora de las condiciones individuales y colectivas.[6-8] Por su naturaleza, las escuelas constituyen escenarios propicios para generar espacios de diálogo, cooperación e involucramiento de la comunidad, donde se integran múltiples actores: alumnas, alumnos, maestras, maestros, directivos, madres y padres de familia, así como otros miembros de la comunidad que se involucran indirectamente a través de la socialización de conocimientos y prácticas (figura 1).

En el contexto de México, la educación actual (básica y media superior) se encuentra en un proceso de reformas curriculares cuyos planteamientos apun-

Figura 1. Participación escolar en experiencias de intervención y prevención

tan al desarrollo de un modelo educativo sostenido, desde un enfoque pedagógico humanista, cooperativo, de formación de valores ciudadanos y adaptable, lo cual permite a las maestras y maestros adecuar los aprendizajes al contexto sociocultural de las niñas y los niños. Este modelo educativo propone el uso de metodologías didácticas de aprendizaje mediante el desarrollo de proyectos escolares y comunitarios; asimismo, plantea un modelo pedagógico fundamentado en un currículo abierto, flexible y deliberativo, que debe ser abordado desde las realidades y necesidades locales, a través de la vinculación de los contenidos curriculares. El modelo propone siete ejes curriculares en las distintas fases de aprendizaje: 1) inclusión; 2) pensamiento crítico; 3) interculturalidad crítica; 4) igualdad de género; 5) vida saludable; 6) apropiación de las culturas a través de la lectura y la escritura; y 7) artes y experiencias.[9]

Al respecto, el Plan de Estudio 2023 de la Secretaría de Educación Pública (SEP) define ocho pilares en los que se sustenta el modelo de la Nueva Escuela Mexicana, en donde destacan los siguientes: 1) la importancia de la participación de la comunidad escolar en la trasformación social; 2) el respeto por la naturaleza y cuidado del medio ambiente; y 3) el fomento a una educación con responsabilidad ciudadana.[10] Además, como núcleo integrador de los procesos educativos, el Plan subraya la importancia de la participación de la comunidad escolar, en la cual la construcción de los aprendizajes sea considerada un proceso de corresponsabilidad y coparticipación con el propósito de que se interrelacionen los diferentes actores de la comunidad educativa, quienes a su vez estarán comprometidos con la formación de las y los estudiantes.

Por otra parte, desde los planteamientos que se proponen en el marco de las políticas educativas de la Nueva Escuela Mexicana surgen distintas reflexiones en torno a las posibilidades de implementación de estas normativas en el quehacer pedagógico, esto con el fin de que se generen aprendizajes significativos y conocimientos capaces de incidir en la solución de las problemáticas que atañen al contexto socioeducativo local, con el uso de metodologías activas y que se atiendan las prescripciones de los reglamentos institucionales.

En este sentido, en el marco para el desarrollo de propuestas didácticas que permitan atender las problemáticas situacionales desde un enfoque operativo, se presenta una propuesta de intervención educativa que considera la participación de la comunidad escolar en el diseño, instrumentación, desarrollo y sostenimiento de una estrategia enfocada a la generación de conocimientos, actitudes y prácticas para la prevención y control de enfermedades transmitidas por mosquitos *Aedes aegypti*, particularmente el dengue, Zika y chikungunya.

El tema de la prevención de enfermedades transmitidas por vector *Aedes* spp., por su naturaleza, integra múltiples dimensiones de distintas áreas de conocimiento, lo que demanda así la participación y la transdisciplina. Por ello, desde un enfoque transdisciplinar, se propone articular las temáticas implicadas en el problema de transmisión de estas enfermedades (educación ambiental, epidemiología, matemáticas, geografía, perspectiva de género, comunicación, entre otros). De esta manera, también se plantea generar procesos de enseñanza-aprendizaje los cuales, a partir un enfoque sistémico, integren la complejidad de los distintos saberes en función de proporcionar un sentido y significado práctico de la construcción del conocimiento para el beneficio social común.

Por su parte, el enfoque en la educación para la salud es un eje relevante dentro de la agenda de los temas prioritarios de la educación mundial. De esta forma la Organización Mundial de la Salud (OMS)

ha reconocido la importancia de mejorar la alfabetización en salud en las poblaciones con el fin de incentivar la participación de los ciudadanos en el ejercicio de su derecho al conocimiento, al desarrollo de acciones para cuidar su salud, en la promoción comunitaria de la salud, así como impulsar demandas hacia los diferentes sectores de Gobierno para cumplir con sus responsabilidades en beneficio de las comunidades y grupos vulnerables.[11]

Así también, la urgencia de la integración de un enfoque educativo por responder a las nuevas características y demandas sociales (que surgen en el contexto de una sociedad del conocimiento),[12] demanda una revolución de la escuela tradicionalista, estructurada desde la noción de asignaturas jerarquizadas, la generalización y homologación de los aprendizajes, además de caracterizarse por ser incapaz de hacer frente a los desafíos que se presentan en la actualidad. En este escenario surgen diversos planteamientos pedagógicos para reconsiderar los contenidos y aprendizajes, un vínculo entre los múltiples actores que se integran en la participación escolar y una integración de disciplinas que subyacen en la compleja realidad.

Al respecto de lo anteriormente planteado, el problema esencial al que se enfrentan las reformas educativas subyace en que los cambios fundamentales en las condiciones de la enseñanza y aprendizaje pocas veces pueden orientarse desde perspectivas que fomenten el interés, la creatividad y la participación crítica en los problemas sociales que enfrentan las comunidades educativas (figura 2). En este sentido, el proyecto estratégico "Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue" (Copeden) plantea la participación de la comunidad educativa en un sistema de vigilancia, saneamiento y prevención de las enfermedades transmitidas por vector *Aedes* spp., desde un enfoque basado en aprender y actuar en lo inmediato.

De esta manera, definimos la cooperación educativa como las diversas formas de participación de los actores que conforman la dinámica escolar en el diseño, construcción y abordaje de los problemas sociales. Esta cooperación se articula mediante la integración de las orientaciones e intereses de los actores, sus prácticas, instituciones y sentidos identitarios. En el proceso de construcción se plantea un modelo de coproducción pedagógica, definido como los procesos interactivos y colaborativos que involucran diferentes tipos de experiencias, disciplinas y actores para generar conocimientos y desarrollar posibles rutas para solucionar problemas del contexto con una visión de sostenibilidad.[13]

Este enfoque metodológico plantea un proceso cooperativo y comunitario de participación, crítico y no pasivo de los protagonistas, puesto que son quienes conocen las particularidades locales, sus problemáticas, así como los mecanismos para plantear posibles soluciones para actuar en lo inmediato. En el tema de los condicionantes que determinan la apropiación de una estrategia educativa, se encuentran diversas experiencias que relatan la imposición de las acciones sin vinculación comunitaria, la generalización de los métodos de enseñanza y la falta de contextualización de las problemáticas que se plantean, así como la falta de evaluación de las acciones que se generan,[14,15] lo cual configura un problema para sostenibilidad de las intervenciones que permitan construirse como estrategias efectivas.

El modelo Copeden busca potencializar la creatividad y participación de la comunidad educativa en el desarrollo de una estrategia de enseñanza y aprendizaje a partir de cinco principios de instrumentación didáctica:

1) Participación de la comunidad educativa. Colaboración y movilización de los conocimientos desde un proceso horizontal e interactivo entre docentes, estudiantes, madres, padres de familia e investigadores y sector municipal.

2) Aprender y actuar desde el entorno. Problematización contextualizada del tema en donde se generen estrategias participativas con capacidad individual y colectiva en acciones de vigilancia, prevención y control del mosquito *Aedes* spp., con alcance comunitario y comunidad escolar.

3) Vinculación transdisciplinaria con planes y programas de estudio. Por su naturaleza colaborativa con procesos transdisciplinarios, el tema se aborda de manera flexible para los diferentes campos formativos escolares.

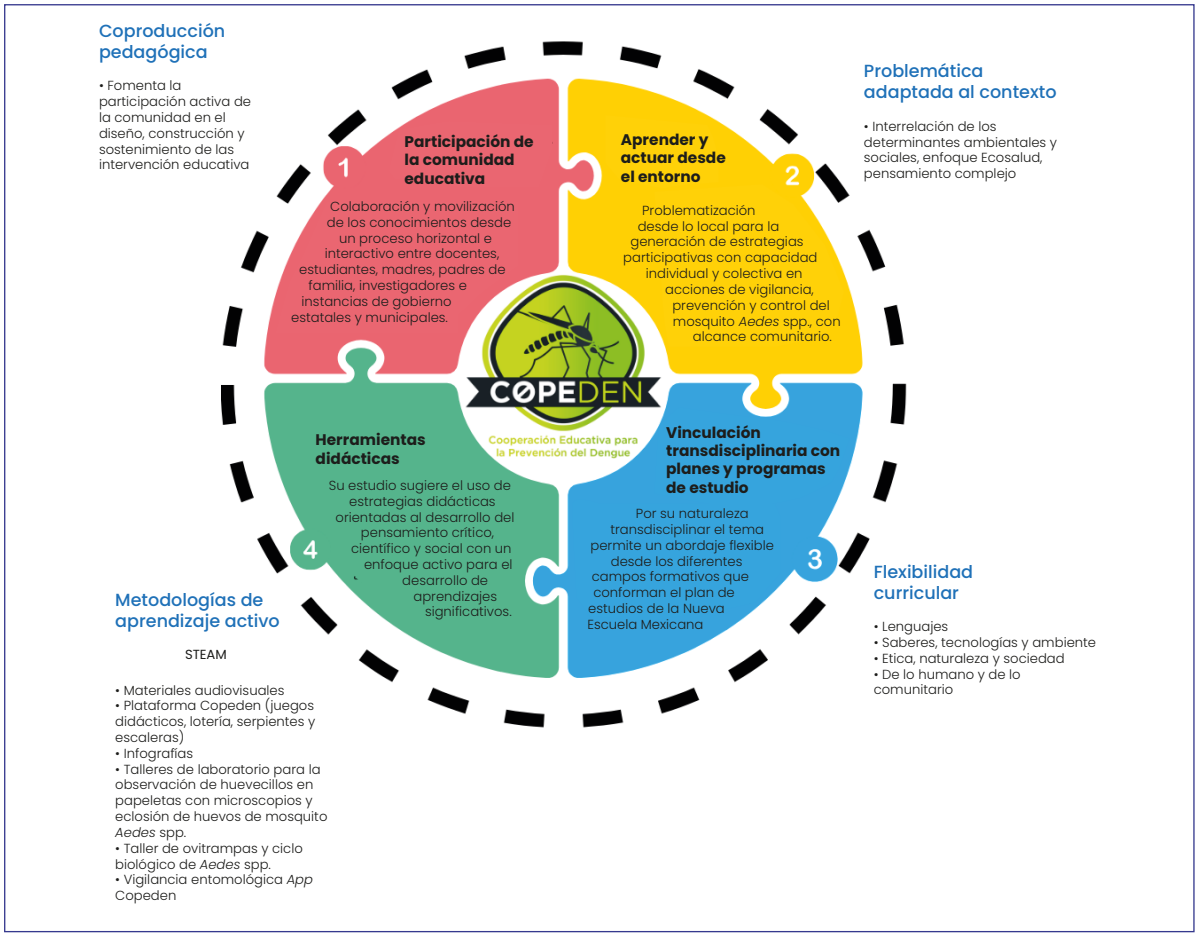


Figura 2. Modelo de fundamentación pedagógica Copeden

4) Herramientas didácticas orientadas al desarrollo del pensamiento crítico, científico y social para el desarrollo de aprendizajes activos y significativos en función de la solución de problemas locales. Es objeto de conocimiento y transformación para la formación de actitudes de aprecio, indagación crítica hacia los fenómenos de la sociedad y la naturaleza.

5) Promoción de un tejido pedagógico. Que abarque, de manera simultánea, los entornos físicos, ambientales, culturales, las relaciones en el aula, en la escuela, con la comunidad, el desarrollo y el aprendizaje entre la participación de los diversos actores sociales que conforman la estrategia: docentes, estudiantes, madres y padres de familia, investigadores y comunidad en general en la construcción de acciones de aprendizaje, monitoreo de criaderos controlados ubicados en los focos de transmisión.

En este marco de oportunidades, Copeden propone constituirse como una estratégica educativa que pueda incidir de manera importante en las acciones de promoción de la salud, prevención de riesgos, vigilancia y control de transmisión de las arbovirosis en los diferentes niveles del sistema educativo. El plan didáctico considera seis temas principales: 1) enfermedades transmitidas por *Aedes* spp.; 2) determinantes y riesgos de la transmisión; 3) biología y comportamiento del vector *Aedes* spp.; 4) criaderos de *Aedes* spp.; 5) activi-

dades de prevención con saneamiento de criaderos en viviendas y espacios públicos; y 6) vigilancia entomológica a través del diseño de una aplicación móvil para la participación de la comunidad educativa, es decir, maestras, maestros, alumnos, madres y padres de familia en actividades de diagnóstico par detectar recipientes con potencial de albergar larvas y pupas del mosquito, en función de promover con esto información, conocimientos y tecnología (RedCap) contextual social y ecológica.

Asimismo, se considera el uso de metodologías de aprendizaje activo tales como: Aprendizaje por Proyectos (APP) y Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (figura 3). A la par, en la implementación del Copeden se han diseñado diversos materiales didácticos (bibliográficos, informativos lúdicos, infografías, *banners* didácticos) con apoyo de recursos digitales (vi-

APP: Aprendizaje por Proyectos
ABP: Aprendizaje Basado en Problemas

Figura 3. Aplicación de metodologías de aprendizaje activo: APP y ABP

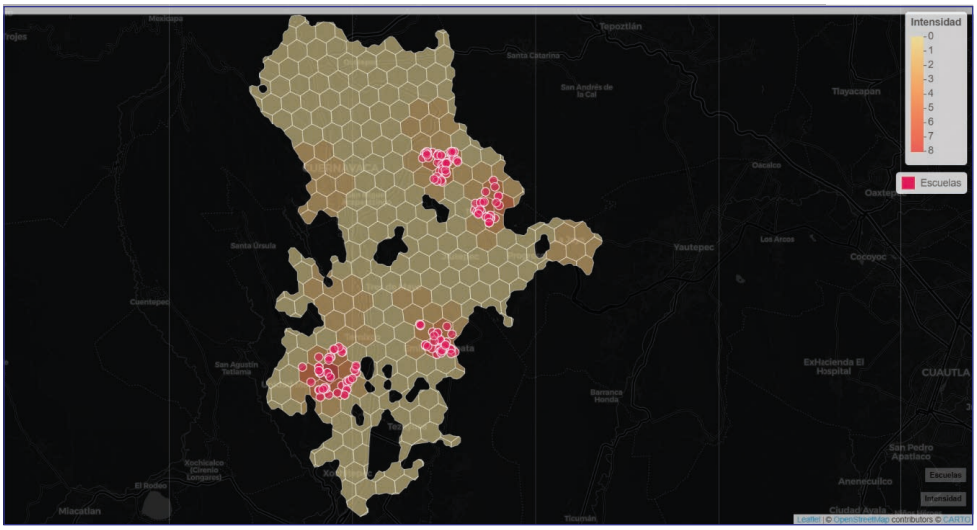
Nota: Se incluyen materiales didácticos, *banners* bibliográficos, informativos, juegos, actividades y proyectos.

Figura 4. Repositorio didáctico Copeden para fomentar la participación de la comunidad educativa

deos, presentaciones) que facilitan la difusión y participación de la comunidad de aprendizaje en los procesos de socialización de la estrategia didáctica (figura 4). En suma, el aprendizaje a través de la experiencia y para la participación ha sido numerosamente fundamentado desde antiguos filósofos hasta las teorías de la didáctica y la pedagogía activa más contemporáneas que demandan la incorporación de aspectos primordiales como la comunicación, cooperación, la experimentación, la creatividad y la aplicabilidad de los conocimientos *in situ*.[16-18]

Así pues, se propone que la estrategia educativa Copeden aporte elementos importantes para los estudiantes, maestros, padres de familia y comunidad en general, esto en función de generar vínculos con los siete ejes articuladores del currículo de educación básica cuyas prácticas educativas promuevan la vinculación entre los conocimientos con situaciones sociales y ambientales relacionadas con la transmisión, promoción de la salud y prevención sostenible del dengue y otras arbovirosis; asimismo, que la información generada en la aplicación móvil aporte a los docentes las condiciones para la enseñanza a través de proyectos y otras actividades prácticas que integren los elementos curriculares con los proyectos escolares; y también que se vincule la integración de un trabajo colegiado con integrantes de la comunidad, municipio y gobierno para favorecer la gobernanza, visibilizar la participación de la escuela, así como conducir a la democratización de la dinámica escolar en el tema de prevención de las enfermedades transmitidas por vector *Aedes* spp.

Cabe señalar que el diseño y desarrollo de Copeden ha sido un proceso de cooperación entre los diferentes actores que participan en la estrategia. En la etapa inicial, se elaboró un modelo piloto mediante la participación de la escuela primaria federal "Unión de las Américas", ubicada en el municipio de Cuernavaca. Con el apoyo y colaboración de maestras, maestros, directora y estudiantes de la escuela primaria, durante un periodo de seis meses, se construyó la metodología de la estrategia que integró el diseño y validación con docentes de la aplicación móvil para el registro de recipientes potenciales y positivos a larvas de mosquito y saneamiento de criaderos. Además, se generaron instrumentos para la evaluación de la estrategia (encuesta KAP conocimientos, actitudes y prácticas) y se propuso la vinculación de los contenidos curriculares de las diversas fases de aprendizaje asociados con los temas referentes a la prevención y control de las enfermedades transmitidas por vectores *Aedes* spp.



Copeden: Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue

Figura 5. Alcance de la estrategia Copeden en Cuernavaca

Del mismo modo, en la segunda fase se seleccionaron las escuelas a intervenir según su localización geográfica con áreas de riesgo operativo de transmisión ya descritas en el capítulo 9. La estrategia educativa se desarrolla actualmente en dos zonas prioritarias de transmisión del vector: 1) colonia Chapultepec, en donde participan escuelas primarias federales (matutina y vespertina), así como también en escuelas secundarias federales; y 2) colonia Lagunilla, en la escuela primaria federal Aurelio Merino, todas de Cuernavaca.

Finalmente, esta propuesta busca sistematizar la experiencia a partir de los aprendizajes derivados de los procesos participativos que han acompañado la intervención, además, busca el sostenimiento de la intervención mediante la institucionalización de los diferentes componentes que integran el Copeden en las escuelas que presenten focos persistentes de transmisión. El alcance de la estrategia pretende constituirse mediante la participación conjunta entre escuelas, autoridades educativas, salud pública y la participación de los gobiernos municipal, estatal y nacional, como un ejemplo de cooperación intersectorial para la prevención (figura 5).

Referencias

1. Kyburz-Graber R, Hirsch L, Hirsch G, Werner K. A Socio-ecological approach to interdisciplinary environmental education in senior high schools. Environm Edu Res. 1997;3(1):17-28. https://doi.org/10.1080/1350462970030102
2. Morin E. Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. París: Unesco, 1999.
3. Abel-Mangueira FF, Smania-Marques R, Dutra-Fernandes I, Alves-Albino V, Olinda R, Santos-Silva TA, *et al*. The prevention of arboviral diseases using mobile devices: a preliminary study of the attitudes and behaviour change produced by educational interventions. Trop Med Int Health. 2019;24(12):1411-26. https://doi.org/10.1111/tmi.13316
4. Hossain J, Das M, Islam W, Shahjahan M, Ferdous J. Community engagement and social participation in dengue prevention: a cross-sectional study in Dhaka City. Health Sci Rep. 2024;7(4):e2022. https://doi.org/10.1002/hsr2.2022
5. World Health Organization. Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. Ginebra: WHO, 2012. Disponible en: https://apps.who.int/iris/handle/10665/75303
6. Roja C, Seetha-Lakshmi A, Anitha-Rani M, Eapen A. Effect of school-based educational interventions on the knowledge of malaria and dengue among higher secondary school children in Chennai, India: a pre and post-intervention study. Cureus. 2022;14(7):e26536. https://doi.org/10.7759/cureus.26536
7. Santos S, Smania-Marques R, Albino VA, Fernandes ID, Mangueira FFA, Altafim RAP, *et al*. Prevention and control of mosquito-borne arboviral diseases: lessons learned from a school-based intervention in Brazil (Zikamob). BMC Public Health. 2022;22(1):1-16. https://doi.org/10.1186/s12889-022-12554-w
8. Suwanbamrung C, Saengsuwan B, Sangmanee T, Thrikaew N, Srimoung P, Maneerattanasak S. Knowledge, attitudes, and practices towards dengue prevention among primary school children with and without experience of previous dengue infection in southern Thailand. One Health. 2021;13:100275. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100275
9. Secretaría de Educación Pública. Currículo nacional aplicable a la educación inicial: programa sintético de la fase 1. México: Diario Oficial de la Federación, 2023. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5698665&fecha=15/08/2023#gsc.tab=0
10. Secretaría de Educación Pública. Plan de estudio para la educación preescolar, primaria y secundaria. México: Diario Oficial de la Federación, 2023. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/2023/SEP/ANEXO_ACUERDO_080823_FASES_2_A_6.pdf
11. World Health Organization. Global vector control response 2017-2030. Ginebra: WHO, 2017. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259205/9789241512978-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
12. Drucker PF. La sociedad poscapitalista. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1993.
13. Norström AV, Cvitanovic C, Löf MF, West S, Wyborn C, Balvanera P, *et al*. Principles for knowledge co-production in sustainability research. Nature Sustain. 2020;3:182-90. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2

14. Martínez A. Cien años de la Secretaría de Educación Pública. Diálogos desde el presente. México: Editorial Balam, Universidad Veracruzana, 2022.
15. Díaz-Barriga A. La escuela ausente, la necesidad de replantear su significado. En Aguilar J, Alcántara A, Álvarez F, Amador R, Barrón C, Carbajosa D, *et al*. Educación y pandemia: Una visión académica. México: IISUE, UNAM, 2020; p. 45-60. Disponible en: http://www.iisue.unam.mx/nosotros/covid/educacion-y-pandemia
16. Reimers FM. Educating students to improve the world. Springer, 2020. Disponible en: https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-3887-2
17. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Mainstreaming social and emotional learning in education systems: policy guide. París: Unesco, 2024. https://doi.org/10.54675/ORWD6913
18. Mahon K, Edwards-Groves C, Francisco S, Kaukko M, Kemmis S, Petrie K. Pedagogy, education, and praxis in critical times. Spinger, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6926-5

11

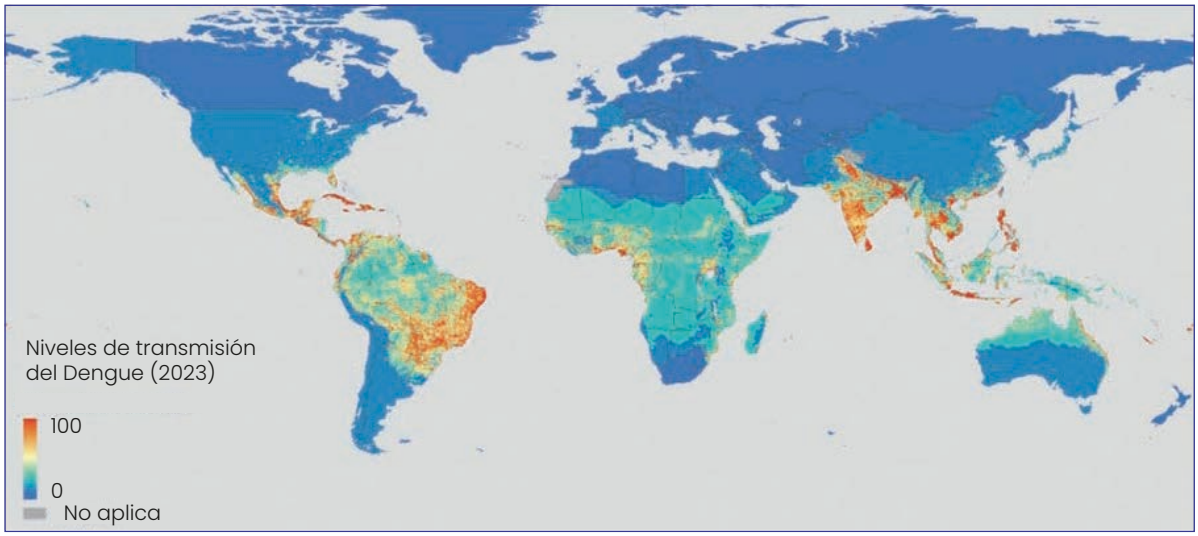
Prevención y control sostenido del dengue con Ecosalud

Ángel Francisco Betanzos Reyes,
Tannia Gioconda Mejía Mendoza,
Mario Henry Rodríguez López,
Josué Larios Morales

El dengue es un problema de salud pública global en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Desde 2021, el número de casos a nivel mundial se ha duplicado, pues más de 12.3 millones de casos se registraron a finales de agosto del 2024, casi el doble de los 6.5 millones de casos acumulados en el 2023[1] (figura 1).

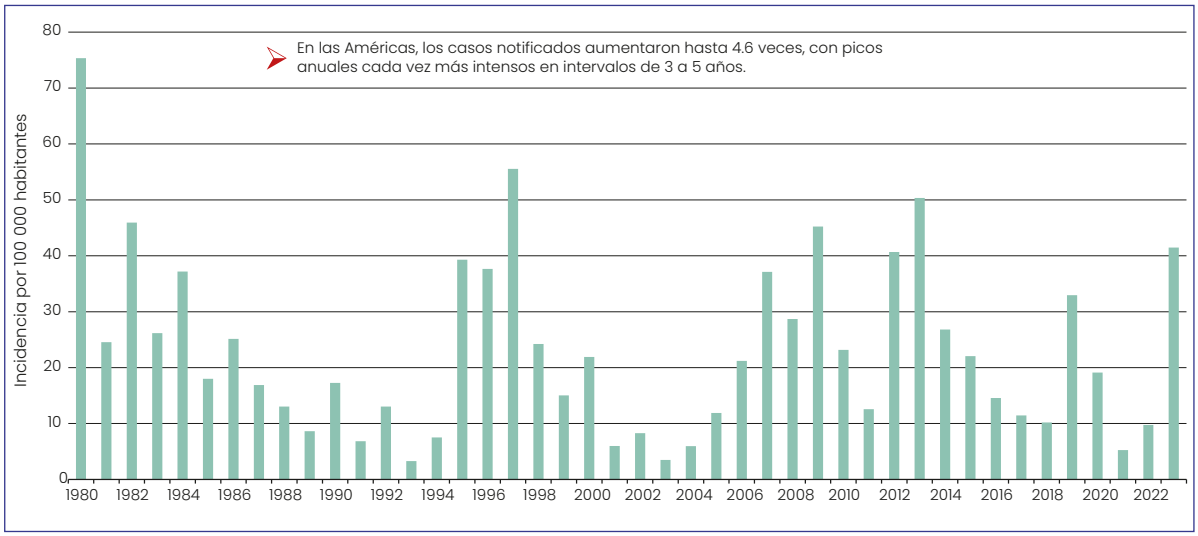
En México, el comportamiento de la incidencia del dengue es similar al de otros países endémicos de América Latina y el Caribe, con tendencia al incremento y repuntes anuales cada 3 a 5 años (figura 2). Durante 2024 se registró un total de 125 160 casos confirmados, más del doble (1.3 veces) de los casos registrados durante el año epidémico del 2023 (54 406 casos) (figura 3.) Lo anterior se asocia con la reemergencia y dispersión en el país del serotipo 3 del virus dengue que inició desde 2021 (5%) y progresó en 2022 (25%), 2023 (59.2%) y 2024 (86.45%).[2]

El riesgo del dengue se origina por condiciones que permiten la reproducción, abundancia y capaci-



Basada en *Global strategic preparedness, readiness and response plan for dengue and other Aedes-borne arboviruses.*[1]

Figura 1. Estimación mundial de intensidad de transmisión por dengue, 2023



Basada en *Global strategic preparedness, readiness and response plan for dengue and other Aedes-borne arboviruses y Panorama Epidemiológico del Dengue.*[1,2]

Figura 2. Incidencia anual de casos confirmados por dengue en México, 2013-2023

CASOS PROBABLES Y CONFIRMADOS DE DENGUE 2022-2023									
PROBABLES		CONFIRMADOS							
2023	2024	2023					2024		
		DNG	DCSA	DG	DCSA+DG	DNG	DCSA	DG	DCSA+DG
277 963	558 846	28 871	23 882	1 653	25 535	68 249	52 697	4 214	56 911

Basada en Panorama Epidemiológico del Dengue.[2]
* Semana 52, al 30 de diciembre del 2024
DCSA: Dengue con signos de alarma
DG: Dengue grave
DNG: Dengue no grave

Figura 3. Dengue en México, 2024

dad de transmisión del mosquito *Aedes aegypti*.[3,4] Esta transmisión es altamente focal, por lo que la distribución de susceptibilidad de la población es alarmantemente heterogénea en espacio y tiempo, lo que incluye la distribución de brotes epidémicos anuales.[5-8] Su incidencia y severidad se asocia a múltiples factores en el contexto local que conforman los componentes biológicos en la transmisión.[3,9] Esta transmisión ocurre justo en intersección con los tres componentes biológicos naturales: el vector, el virus y el huésped (figura 4), los cuales interactúan con factores del contexto social, económico, ambiental y sanitario que determinan su intensidad, dispersión y persistencia.[8,9]

En este orden biológico y contextual, descrito en los primeros capítulos del manual, los mosquitos *Aedes* spp. transmiten los virus del dengue de persona a persona y también lo transmiten sus huevos: los huevos se depositan en cualquier recipiente que pueda acumular agua, sobreviven secos y se reactivan cuando se ponen en contacto con agua. En el contexto local, estas condiciones que favorecen la presencia de criaderos pueden originarse principalmente por servicios sanitarios insuficientes, suministro deficiente de agua, construcción incorrecta de viviendas, ordenamiento sanitario paupérrimo de espacios públicos (parques recreativos, escuelas, área de concentración laboral, cementerios, entre otros) y una deficiencia en el desarrollo social y económico.[8]

En consecuencia, el problema del dengue y otras arbovirosis transmitidas por mosquitos *Aedes* spp. es sistémico y va más allá de la competencia directa de los servicios de salud, para su prevención y control integral y sostenido. La solución es eliminar los criaderos e interrumpir el contacto con los mosquitos que nos pican. Para ello, el mejor control de la transmisión es la prevención, con la aplicación de procesos y metas efectivas basados en la participación social sostenida, lo cual se complementa con las estrategias de control del programa de salud en interacción con la comunidad. Así, se debe transitar de una postura receptiva-dependiente de la comunidad a una activa participativa y de un modelo tradicional-operativo del programa de salud a un programa de salud colaborativo-asesor, todo ello con estrategias innovadoras de interacción con la comunidad y la colaboración de otros sectores gubernamentales en actividades permanentes de prevención.

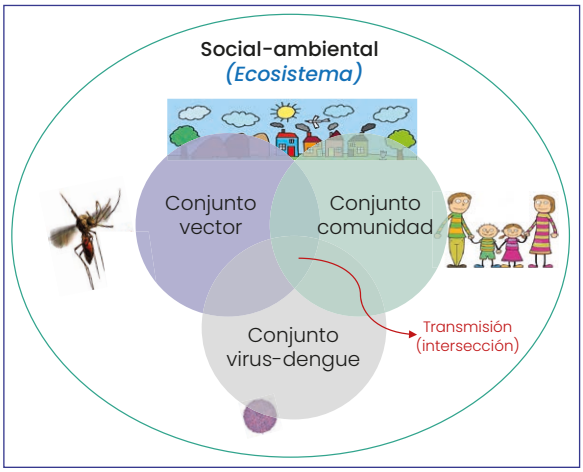


Figura creada por Mario Henry Rodríguez y Ángel Francisco Betanzos Reyes
México: INSP/CISEI, 2024.

Figura 4. Componentes biológicos de la transmisión

Al respecto, las intervenciones estratégicas de prevención y control sostenido del dengue y otras arbovirosis transmitidas por *Aedes aegypti* (basadas en la participación social y comunitaria) incluyen el soporte técnico-científico del abordaje ecosistémico o Ecosalud para su implementación y desarrollo. Un abordaje que integra principios de procesos (pensamiento sistémico, transdisciplina y participación) y metas (equidad con perspectiva de género, sustentabilidad e información para la acción) en intervenciones con base en la participación social y comunitaria. Todo lo anterior, realizado mediante el pensamiento sistémico, el entendimiento ordenado de la complejidad del problema y compresión de los determinantes asociados a la transmisión que reflejan las necesidades para su atención, control y prevención sostenida.

En estos conocimientos compartidos, analizados mediante un proceso transdisciplinario, confluyen experiencias, saberes, roles, intereses y recursos de diversos actores sociales y comunitarios para el escalamiento progresivo de la participación en la prevención permanente del problema. Se necesita una participación organizada y planificada en acciones conjuntas con metas sustentables, equitativas (social y de género) y decisiones efectivas y oportunas con base en la información obtenida mediante el monitoreo y evaluación para la mejora continua de las intervenciones.[1,9,10] En

este sentido, la efectividad de actividades para la prevención sostenida, basada en la participación social y comunitaria, está sustentada en evidencia científica y soporte técnico, el cual supera las estrategias de control vertical.[11-15] El enfoque Ecosalud complementa procesos y metas facultadas para mejorar los alcances de la efectividad y permanencia de las intervenciones.[9,12-14]

En línea con lo anterior, una experiencia práctica en la implementación de la intervención se aplica en el municipio de Cuernavaca, específicamente en la región ecológica del Apatlaco en el estado de Morelos, México (2024-2025). La intervención "Prevención y control sostenido del dengue y otras arbovirosis transmitidas por *Aedes aegypti* con rectoría de salud y abordaje de Ecosalud" se aplica con participación de actores diversos del Gobierno municipal, escuelas (primarias, secundarias y medio superior), Dirección de Desarrollo Sustentable y Servicios Urbanos y sectores del Gobierno estatal (ambiente, desarrollo social y educación), en colaboración con el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (Cenaprece) de la Secretaria de Salud (SS) y la Universidad Autónoma del Estado del Morelos (UAEM), con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.

Esta intervención está fundamentada en la interpretación y comprensión de la complejidad del problema de transmisión, señalada en capítulos previos del presente manual, con base en evidencia científica, lineamientos técnicos del nivel internacional y técnicos-normativos del nivel nacional. Además, durante los procesos transdisciplinarios, esta intervención se enriquece con la experiencia, recursos y roles de actores involucrados de la comunidad científica, institucional de salud, educación, desarrollo social y líderes comunitarios.[1,9,12,13,15]

Asimismo, la propuesta de intervención resalta la función esencial de la rectoría de los servicios de salud, la cual articula los niveles técnico-normativos, central-nacional, estatal y local (distritos regionales, municipios y comunidades o colonias) y une, de manera horizontal, los programas sustantivos de promoción de la salud, vigilancia (epidemiológica y entomológica), control del vector y Atención Primaria de la Salud (APS). Las intervenciones están estructuradas con los siguientes componentes estratégicos y convergentes para la implementación anual, nacional, estatal y local, con abordaje de Ecosalud (cuadro I):

Focos operativos de transmisión e información en plataforma (FOTI). Con base en la información sobre focos operativos de transmisión (capítulo 9), se preparan y comparten datos, información y mapas ilustrados de la ubicación de focos de transmisión a nivel nacional, estatal y local (localidades por municipios). Esto se realiza con apoyo tecnológico de una plataforma de información en red que procesa y analiza el comportamiento espacial y temporal del gradiente de la intensidad de la transmisión basada en variables e indicadores entomológicos y epidemiológicos y capas digitales de ubicación de espacios públicos urbanos y suburbanos de interés logístico (escuelas, parques recreativos, parques industriales, unidades de APS, hospitales, cementerios, mercados, llanteras, "talacheras", entre otros).

Para su uso se cuenta con el adiestramiento y capacitación local con el fin de asegurar su utilidad y posible mejoría mediante el análisis de datos, generación de información sobre la variabilidad de indicadores climatológicos, vulnerabilidad social (localidades por municipio) y posibilidades en la estimación y mapeo digital de indicadores sobre concentración y movilidad de personas en áreas y sitios de afluencia turística (capítulo 6 [figura 5 a, b y c] y capitulo 7 [figura 6]).[16]

Planeación de intervenciones anuales (PIA). Con la información sistematizada en plataforma y soporte técnico normativo se prepara el plan de intervención nacional, estatal y local (distritos). Incluye la programación administrativa, presupuesto y distribución eficiente de los recursos para su operación. El plan tiene una continuidad anual, con etapas trimestrales de operación y seguimiento, adaptado a las variaciones estacionales de la transmisión (seca-no epidémica y lluvia-epidémica), preparación y respuesta a emergencias climáticas y eventos epidemiológicos (brotes, tendencia en la abundancia del vector, dispersión y distribución serotipos y genotipificación del dengue) regional y local.

A nivel local (distritos y localidades municipales), la planeación es precisa sobre la atención de necesidades asociadas a los determinantes de la transmisión,

Cuadro I. Componentes estratégicos para la prevención y control sostenido del dengue y otras arbovirosis transmitidas por *Aedes aegypti* con rectoría de salud y Ecosalud

Procesos (Ecosalud)			Rectoría de salud	Metas (Ecosalud)		
Pensamiento sistémico	**Transdisciplina**	**Participación**	**Articulado:** Nacional, estatal y local (distritos de salud y municipios) **Integral:** Promoción de la salud, control del vector, vigilancia y APS **Integrado:** Determinantes y riesgos de la salud con participación social	**Sustentabilidad**	**Equidad y género**	**Información-acción**
			Focos operativos de transmisión y plataforma de información, monitoreo, logística operativa y evaluación			
			Planeación de intervención anual			
			Implementación y coordinación intersectorial			
			Control racional del vector			
			Atención y manejo de casos sospechosos con la comunidad (APS-hospitales)			
			Comunicación, información y educación social en salud			
			Participación escolar en prevención del dengue, Copeden			
			Movilización municipal en saneamiento y recolección sustentable de residuos sólidos urbanos. Megadescacharrización			
			Marco legal y sostenimiento del programa anual			

Fuente: Ángel Francisco Betanzos Reyes (INSP/CISEI).
Copeden: Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue; RSUS: Residuos Sólidos Urbanos Sustentable; APS: Atención Primaria de la Salud

esto para priorizar áreas y núcleos de población vulnerables (estrato socioeconómico bajo, con servicios sanitarios deficientes en el abasto de agua potable, recolección de residuos sólidos urbanos, saneamiento municipal, entre otros), rutas de movilidad y áreas turísticas con afluencia nacional e internacional provenientes de áreas endémicas.

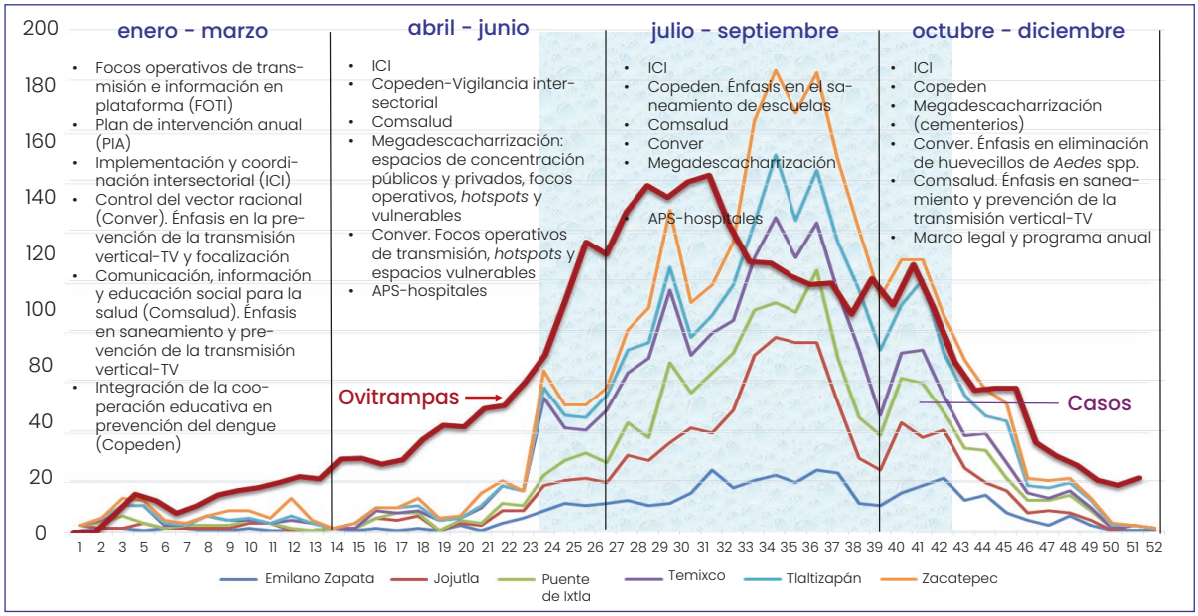
Implementación y coordinación intersectorial (ICI). La instalación, adiestramiento y coordinación anual de los planes de intervención incluyen mantener una red de comunicación, soporte técnico-normativo y socialización de los planes a nivel nacional, estatal y distritos operativos, todo ello con el establecimiento de tácticas locales, con asesoría en servicio, supervisión y soporte técnico para el progreso de la colaboración intersectorial, interinstitucional y municipal con estricto seguimiento del comportamiento temporal y local del riesgo de transmisión (capitulo 9), abundancia del vector y comportamiento epidemiológico para la aplicación racional y oportuna del control del vector. Además, se debe prever la atención oportuna de emergencias epidemiológicas, ambientales (huracanes, movimientos telúricos, entre otros) y sociodemográficos (migración, movilidad, pobreza extrema, entre otros). La plataforma de información apoya con documentación espacial y temporal de indicadores epidemiológicos (tendencia semanal, mensual y periódica de casos), entomológicos (monitoreo semanal de ovitrampas y encuestas entomológicas por el programa de control y "vigilancia entomológica intersectorial" con la estrategia Copeden (capitulo 10) y el registro de actividades de prevención y control, mediante el reporte de información de resultados, productos, monitoreo y evaluación[1,15] (figura 5).

Control racional del vector (Conver). Mediante la focalización espacial y temporal en las actividades de control de criaderos (patio limpio y cuidado del agua almacenada y control antilarvario) y de mosquitos adultos (control químico). Las actividades de control se programan por trimestre y estacionalidad (no epidémico y epidémico), con prioridad escalonada con base en la intensidad local del riesgo de transmisión de focos operativos-*hotspots* (capitulo 9), riesgo de dispersión del dengue en focos activos y áreas con población vulnerable asociada al riesgo de transmisión. La aplicación de las actividades es selectiva, no masiva, para optimizar la oportunidad en la interrupción de la dispersión vectorial del dengue, a través del control químico intradomiciliario dentro y alrededor de casos recientes con oportunidad (no mayor a tres semanas) y cobertura efectiva (no mayor a 400 metros).[17-22]

Atención y manejo de casos sospechosos con la comunidad (APS-hospitales). Se llevó a cabo el adiestramiento y actualización del personal médico y paramédico en unidades de APS y hospitales públicos y privados para la atención, calidad y oportunidad en la detección, atención y manejo oportuno de enfermos (capitulo 8 [figura 4 y 5]). La atención incluye el abasto suficiente de recursos necesarios, acceso en la detección oportuna (utilización razonable y pertinente de pruebas rápidas y unidades centinela), referencia, vigilancia, investigación epidemiológica y promoción de la demanda oportuna de atención de enfermos sospechosos basada en la participación social y comunitaria.[23-26]

Comunicación, información y educación social para la salud (Comsalud). La estrategia de comunicación y promoción de la salud se desarrolla con esfuerzos compartidos de las unidades locales de comunicación intersectorial (unidades de enlace de comunicación social, ambiente, educación, participación ciudadana municipal, entre otros) bajo la dirección del programa de promoción de la salud nacional, estatal y distrito-local. Asimismo, esta estrategia se realiza con adaptación local (social, cultural, psicológico y conductual) basada en la ubicación de focos operativos de transmisión, grupos vulnerables para la transmisión y adecuación de prácticas efectivas basadas en evidencia, en donde se incluyen la comunicación con abordaje de Ecosalud, innovación social, prácticas sociales existentes (desviación positiva) y participación escolar (capitulo 10).[27-31]

Copeden. Dentro de la colaboración intersectorial, se incluye la estrategia descrita en el capítulo 10 sobre la participación de escuelas primarias, secundarias y nivel medio superior en escuelas ubicadas o cercanas a focos operativos de transmisión y población vulnerable.[32,33]



Basada en Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi).[16]

Figura 5. Plan anual de actividades de prevención y control sostenido del dengue y otras arbovirosis con Ecosalud

Movilización social municipal para el saneamiento y recolección de residuos sólidos urbanos sustentable-RSUS (Megadescacharrización). En coordinación con Promoción de la Salud, Control de Vectores, Dirección de Salud Municipal, Secretaría y Dirección de Servicios Públicos y Saneamiento Ambiental, se organiza la logística e implementación de jornadas de promoción de saneamiento y recolección de RSUS, con rutas, jornadas y cobertura sobre áreas prioritarias y vulnerables de transmisión (capitulo 9), con apoyo logístico de la plataforma de información y guía de implementación.[34]

Marco legal y sostenimiento del programa anual (Marcoanual). El sostenimiento de la intervención se refuerza con la gestión e instrumentación de un marco legal y reglamentación del programa de prevención y control sostenido del dengue municipal y estatal. Este marco legal se realimenta con la trayectoria operativa del año y apoyo técnico de los programas de promoción de la salud, control del vector, vigilancia y atención de casos sospechosos con APS. Además, incluye la justificación sobre los determinantes y riesgos de transmisión, planeación administrativa y distribución eficiente de los recursos necesarios para actividades complementarias de participación municipal, estatal e intersectorial.

Este documento legal, con publicación oficial, apoya funciones de gobernanza en salud pública, con incidencia en la atención de necesidades asociadas al problema de transmisión del dengue y sostenimiento de la participación social, lo que garantiza la continuidad de la intervención y es independiente a cambios del Gobierno municipal y estatal. Su aplicación incluye, por ejemplo, la regulación de espacios públicos, instrumentación de la colaboración intersectorial con inversión en infraestructura social y ambiental para la población vulnerable a la transmisión, solución en el abasto suficiente de agua, gestión de residuos sólidos urbanos sustentable-GRSUS, planeación urbana sustentable, mejoría y protección en viviendas (protección de puertas y ventajas con tela mosquitera, entre otros) y regulación ambiental (patios baldíos-parques industriales con riesgo entomológico, disposición sus-

tentable de llantas usadas, entre otros). Esta actividad esencial se encuentra en proceso de formalización en el municipio de Cuernavaca[1,35,36] (cuadro I y figura 5).

Por otro lado, en Cuernavaca, los principios de Ecosalud dan soporte para la mejoría continua de las intervenciones a través del pensamiento sistémico con el reconocimiento local y regional de patrones estacionales, características biológicas (intersección: vector, huésped y virus) que influyen en la variación epidémica (epidémica-humedad-calor y no epidémica-seca-frío)[15] y espacios con riesgo potencial de transmisión y dispersión (espacios industriales, focos fronterizos, concentración y movimiento de personas), esto para identificar oportunidades en la aplicación focal de actividades integrales de saneamiento e interrumpir posibilidades en la transmisión vertical durante la época seca (capitulo 7). Además de reducir condiciones de vulnerabilidad y riesgo de transmisión previo a eventos culturales con concentración de personas (cementerios: "día de muertos"), inicio de clases, flujos migratorios entre áreas endémicas, entre otros (figura 5; capítulo 6 [figura 5]; capitulo 7 [figura 6]), así como la posibilidad de bloquear focos de transmisión persistentes y activos con base en la información entomológica y epidemiológica en cooperación con el programa de vigilancia y control del vector (capítulo 9) y considerar la dispersión de vectores secundarios como el *Aedes albopictus* con dispersión potencial en México (capitulo 5 [figura 2 y 3]).

Durante los procesos interactivos entre autoridades de los municipios de Jiutepec y Cuernavaca, se lograron acuerdos para realizar actividades simultáneas en focos de transmisión en límites fronterizos (ciudad Chapultepec-Cuernavaca y colonia Parque Industrial Civac-Jiutepec), esto con información, conocimientos y recursos disponibles (figura 6). Se incluyeron procesos transdisciplinarios y esfuerzos para resolver el problema creciente de neumáticos usados mediante la utilización de maquinaria en la trituración y reciclaje comercial sustentable para su comercialización en empresas dedicadas a la construcción de carpetas de pistas asfálticas, canchas deportivas, carreteras, impermeabilización de techos y combustión en plantas cementeras, entre otros. Con ello, se aprovecha el interés en gestionar actividades para una economía circular sustentable, a través de grupos organizados en el manejo responsable de llantas usadas en el marco de la intervención con Ecosalud.[37-39] A la par, en la implementación en campo, los actores involucrados (docentes, investigadores, autoridades gubernamentales, padres de familia y líderes comunitarios-ayudantes municipales) mostraron creciente interés, aceptación y participación en el desarrollo de la intervención.[33]

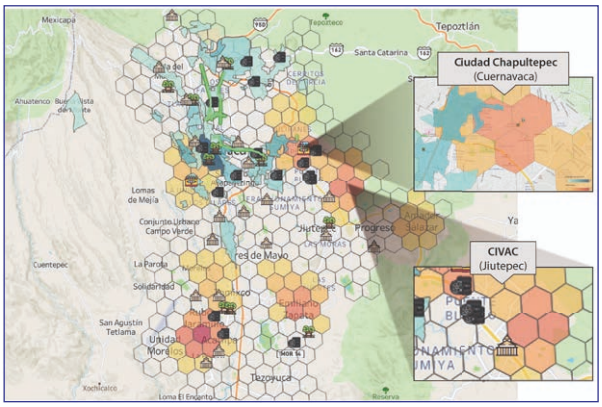
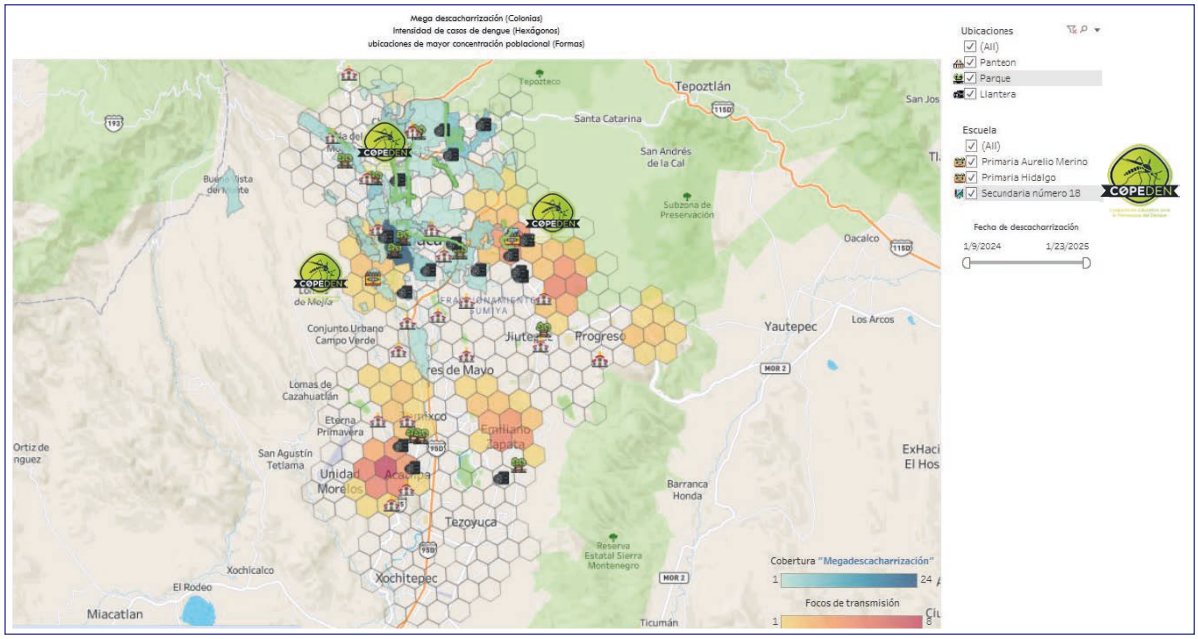


Figura 6. Áreas fronterizas con focos de transmisión en Cuernavaca y Jiutepec, Morelos, 2024

La plataforma de información aplicada para el municipio de Cuernavaca demostró una creciente utilidad en la identificación de indicadores sociales disponibles del Inegi 2020,[16] ubicación e intensidad de focos operativos de transmisión (capitulo 9) y apoyo en la logística de actividades con la ilustración cartográfica de sitios públicos y privados de interés (escuelas, parques recreativos, unidades de APS, hospitales, cementerios, mercados, sitios de afluencia turística, parques industriales, llanteras, entre otros) así como resultados sobre la cobertura territorial de las actividades de intervención (Copeden, Megadescharrización, entre otros) (figura 7).[40]

De igual manera, la plataforma brinda soporte técnico para la implementación de las estrategias de cooperación intersectorial con escuelas primarias y secundarias, lo cual provee acceso a un repositorio de materiales didácticos, mapas interactivos para la ubicación de focos operativos de transmisión, aplicación *App-móvil* para el diagnóstico espacial y temporal de



Basada en Plataforma de información RedCap.[40]

Figura 7. Focos operativos de transmisión, movilización social (megadescacharrización) y Copeden. Cuernavaca, Morelos, 2024

criaderos en viviendas (capitulo 10), estimación de indicadores entomológicos y semaforización para la práctica de saneamiento resolutivo y monitoreo intersectorial. En este tenor, resultados recientes (en proceso de publicación) con la aplicación *App-móvil* en el proceso interactivo de "vigilancia intersectorial" de la Copeden, aplicado a finales del 2024 en escuelas del suroriente (Ciudad Chapultepec), sur poniente (Lagunilla) y norte (Santa Maria Ahuacatitlán) de Cuernavaca, mostraron amplia discordancia entre la percepción buena en el saneamiento y control de criaderos vs. los indicadores registrados sobre criaderos de *Aedes aegypti* con alto riesgo entomológico (cuadros II y III).

El grupo de trabajo y colaboración municipal a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Servicios Públicos Urbanos de Cuernavaca valoró el beneficio brindado a la población sobre la prevención del dengue mediante la planeación y ejecución de jornadas de movilización social, saneamiento y recolección de RSUS, con cobertura e intensidad operativa basada en la información de focos de transmisión y áreas con población vulnerable,[16] en complemento y sinergia con estrategias de Copeden (figura 7).

En conclusión, la intervención con sus componentes estratégicos y abordaje de Ecosalud, sustentada en evidencia científica, lineamientos técnicos, normativos y factibilidad operativa brinda posibilidades para la prevención efectiva del problema de interés. Su avance progresivo, dentro de procesos de adecuación a la dinámica variable de la transmisión local, permite su innovación continua y el fortalecimiento de capacidades técnicas y sociales en la prevención sostenida.[10,30] En su desarrollo y sostenimiento, además de cumplir con la efectividad y generación de capital social participativo en prevención, complementa la integración funcional de un marco legal en la gobernanza municipal y estatal con alcances regulatorios, aplicación de políticas públicas sustentables y desarrollo social basado en los determinantes de enfermedades transmitidas por mosquitos *Aedes aegypti*[1,12,36,37] (cuadro I).

Cuadro II. Indicadores entomológicos. App-Copeden en escuelas de Cuernavaca, Morelos.
3 al 16 de diciembre del 2024

Escuelas	Ubicación	Viviendas	Habitantes		Indicadores entomológicos		
		n (%)	n (%)	Media (DE)	ICP	IRP	IB
Primaria Unión de las Américas. Matutino	Santa María Ahuacatitlán	44 (17.05)	265 (19.74)	6.02 (3.48)	18.18	16.40	138.64
Primaria Hidalgo. Matutino	Ciudad Chapultepec	111 (43.02)	572 (42.60)	5.15 (1.94)	16.22	11.32	71.17
Primaria México. Vespertino	Ciudad Chapultepec	26 (10.08)	123 (9.16)	4.73 (1.25)	26.92	9.09	73.08
Secundaria Técnica No. 18. Matutino	Ciudad Chapultepec	33 (12.79)	150 (11.21)	4.56 (1.37)	27.27	14.60	142.42
Primaria Prof. Aurelio Merino. Matutino	La Lagunilla	44 (17.05)	232 (17.28)	5.27 (2.49)	20.45	13.41	109.09
Totales		258 (100.00)	1342 (100.00)	5.21 (2.37)	19.77	12.97	98.45

- Índice de casa positiva (ICP): porcentaje de viviendas infestadas con larvas o maromeros de *Aedes* spp.; índice de recipientes positivos= porcentaje de recipientes con agua y presencia de larvas o pupas de *Aedes* spp.
- Índice de Breteau (IB): número de recipientes positivos a larvas y pupas de *Aedes* spp., entre el total de viviendas revisadas por 100.

Fuente: Aplicación móvil de encuesta entomológica de criaderos de mosquitos *Aedes* en viviendas para la vigilancia intersectorial de Cooperación Educativa para la Prevención del dengue en Escuelas Primarias de Cuernavaca, Morelos (3 al 16 de diciembre del 2024. Plataforma de información Red Cap/INSP. Proyecto Arronte S73.[40]

Cuadro III. Percepción de contenedores controlados. App-Copeden en escuelas de Cuernavaca, Morelos. 3 al 16 de diciembre del 2024

Escuelas	Viviendas	Malo	Regular	Bueno
		n (%)	n (%)	n (%)
Unión de las Américas. Santa María Ahuacatitlán	42	0 (0.0)	13 (30.95)	29 (69.05)
Hidalgo (matutino). Ciudad Chapultepec	111	1 (0.90)	23 (20.72)	87 (78.38)
México (vespertino). Ciudad Chapultepec	24	1 (4.17)	5 (20.83)	18 (75.00)
Secundaria Técnica No. 18. Ciudad Chapultepec	32	1 (3.13)	11 (34.38)	20 (62.50)
Prof. Aurelio Merino. La Lagunilla	41	0 (0.0)	13 (31.71)	28 (68.29)
Totales	250	3 (1.20)	65 (26.00)	182 (72.80)

Referencias

1. World Health Organization. Global strategic preparedness, readiness and response plan for dengue and other *Aedes*-borne arboviruses. Ginebra: WHO Press, 2024. Disponible en: https://www.who.int/publications/m/item/global-strategic-preparedness--readiness-and-response-plan-for-dengue-and-other-aedes-borne-arboviruses
2. Secretaría de Salud. Panorama epidemiológico del dengue. México: SS, 2024 [citado enero 3, 2025]. Disponible en: https://www.gob.mx/salud/documentos/panorama-epidemiologico-de-dengue-2024
3. Williams RJ, Brintz BJ, Dos Santos GR, Huang AT, Buddhari D, Kaewhiran S, *et al*. Integration of population-level data sources into an individual-level clinical prediction model for dengue virus test positivity. Sci Adv. 2024;10(7):eadj9786. https://doi.org/10.1126/sciadv.adj9786
4. Romeo-Aznar V, Picinini-Freitas L, Gonçalves-Cruz O, King AA, Pascual M. Fine-scale heterogeneity in population density predicts wave dynamics in dengue epidemics. Nature Commun. 2022;13(1):996. https://doi.org/10.1038/s41467-022-28231-w
5. Lai WT, Chen CH, Hung H, Chen RB, Shete S, Wu CC. Recognizing spatial and temporal clustering patterns of dengue outbreaks in Taiwan. BMC Infect Dis. 2018;18(1):256. https://doi.org/10.1186/s12879-018-3159-9
6. Estupiñán-Cárdenas MI, Herrera VM, Miranda-Montoya MC, Lozano-Parra A, Zaraza-Moncayo ZM, Flórez-García JP, *et al*. Heterogeneity of dengue transmission in an endemic area of Colombia. PLOS Negl Tropl Dis. 2020:14(9):e0008122. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008122
7. Thai KTD, Nagelkerke N, Pouong HL, Nga TTT, Giao PT, Hung LQ, *et al*. Geographical heterogeneity of dengue transmission in two villages in southern Vietnam. Epidemiol. Infect. 2010;138(4):585-91. https://doi.org/10.1017/S095026880999046X
8. Gubler DJ. Epidemic dengue/dengue hemorrhagic fever as a public health, social and economic problem in the 21st century. Trends Microbiol. 2002;10(2):100-3. https://doi.org/10.1016/S0966-842X(01)02288-0
9. Sommerfeld J, Kroeger A. Eco-bio-social research on dengue in Asia: a multicountry study on ecosystem and community-based approaches for the control of dengue vectors in urban and peri-urban Asia. Path Glob Health. 2012;106(8):428-35. https://doi.org/10.1179/2047773212Y.0000000055
10. Charron DF. Ecohealth research in practice: innovative applications of an ecosystem approach to health. Canadá: Springer, International Development Research Centre, 2012.
11. Tapia-Conyer R, Méndez-Galván J, Burciaga-Zúñiga P. Participación comunitaria en la prevención y control del dengue: la estrategia del

patio limpio en México. Pediatr Int Child Health. 2012;32(suppl 1):10-3. https://doi.org/10.1179/2046904712Z.00000000047

12. Caprara A, De Oliveira-Lima JW, Rocha-Peixoto AC, Vasconcelos-Motta CM, Soares-Nobre JM, Sommerfeld J, *et al*. Entomological impact and social participation in dengue control: a cluster randomized trial in Fortaleza, Brazil. Trans Royal Soc Trop Med Hyg. 2015;109(2):99-105. https://doi.org/10.1093/trstmh/tru187
13. Vanlerbergue V, Toledo ME, Rodriguez M, Gómez D, Baly A, Benitez JR, *et al*. Community involvement in dengue vector control: cluster randomised trial. BMJ. 2009;338:b1959. https://doi.org/10.1136/bmj.b1959
14. Ledogar RJ, Arosteguí J, Hernández-Alvarez C, Morales-Perez A, Nava-Aguilera E, Legorreta-Soberanis J, *et al*. Mobilising communities for *Aedes aegypti* control: the SEPA approach. BMC Public Health. 2017;17(suppl 1):103-14. https://doi.org/10.1186/s12889-017-4298-4
15. Betanzos-Reyes AF, Rodríguez MH, Romero-Martínez M, Sesma-Medrano E, Rangel-Flores H, Santos-Luna R. Association of dengue fever with *Aedes* spp. abundance and climatological effects. Salud Publica Mex. 2018;60(1). https://doi.org/10.21149/8141
16. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo y conteo de población y vivienda. México: Inegi, 2020 [citado diciembre 21, 2024]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos
17. Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades. Guías arbovirosis 2024. México: Cenaprece, 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/salud/cenaprece/documentos/guias-arbovirosis-2024
18. Harrington LC, Scott TW, Lerdthusnee K, Coleman RC, Costero A, Clark GG, *et al*. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. Am J Trop Med Hyg. 2005;72(2):209-20 https://doi.org/10.4269/ajtmh.2005.72.209
19. Getis A, Morrison AC, Gray K, Scott TW. Characteristics of the spatial pattern of the dengue cector, *Aedes aegypti*, in Iquitos, Peru. En: Anselin L, Rey S (eds.). Perspectives on spatial data analysis. Advances in spatial science. Berlín: Springer, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01976-0_15
20. Anders KL, Nga LH, Thuy NTV, Ngoc TV, Tam CT, Tai LTH, *et al*. Households as foci for dengue transmission in highly urban Vietnam. PLoS Negl Trop Dis. 2015;9(2):e0003528. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003528
21. LaCon G, Morrison AC, Astete H, Stoddard ST, Paz-Soldan VA, Elder JP, *et al*. Shifting patterns of *Aedes aegypti* fine scale spatial clustering in Iquitos, Peru. PloS Negl Trop Dis. 2014;8(8):e3038. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003038
22. Gómez-Dantés H, San Martín JL, Danis-Lozano R, Manrique-Saide P, Romeo-Montoya AS, Marenco JA, *et al*. La estrategia para la prevención y el control integrado del dengue en Mesoamérica. Salud Publica Mex. 2011;53(supl 3):349-57.
23. Secretaria de Salud. Protocolo de atención médica para casos de infección por virus dengue. México: Cenaprece, 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/promosalud/documentos/protocolo-de-atencion-medica-para-casos-de-infeccion-por-virus-dengue
24. Organización Panamericana de la Salud. Guías para la atención de enfermos en la región de las Américas. Washington, D.C.: OPS, 2016. Disponible en: https://iris.paho.org/handle/10665.2/28232
25. Secretaría de Salud. Algoritmos para el manejo clínico de los casos de dengue. México: Cenaprece, 2025 [citado enero 27, 2025]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/969931/Algoritmos_para_el_Manejo_Clinico_del_Dengue.pdf
26. Secretaría de Salud. Guía de estudio: introducción a la Atención Primaria de Salud (APS). México: Insabi, 2023 [citado enero 23, 2025]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/828977/Gu_a_de_Estudio_APS.pdf
27. Montes de Oca A, Rizk M. La comunicación para la salud y el desafío del enfoque ecosistémico. Comun Salud. 2014;12(2):28-35. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-32932014000300006&lng=es&nrm=iso
28. Organización Panamericana de la Salud. Abordaje de los determinantes ambientales de la salud en las estrategias de vigilancia y control de vectores: orientaciones para promover intervenciones clave. Washington, D.C.: OPS, 2019. Disponible en: https://iris.paho.org/handle/10665.2/51563
29. Organización Panamericana de la Salud. Guía de

mensajes clave destinados a individuos, familias y comunidad sobre las acciones preventivas y el control para combatir al mosquito A*edes aegypti* transmisor del dengue, chikungunya, Zika y otras arbovirosis en las Américas. Washington, D.C.: OPS, 2024. Disponible en: https://iris.paho.org/handle/10665.2/59569

30. Echaubard P, Thy C, Sokha S, Srun S, Nieto-Sanchez C, Grietens KP, *et al*. Fostering social innovation and building adaptive capacity for dengue control in Cambodia: a case study. Infect Dis Poverty. 2020;9(05):93-104.
31. Organización Panamericana de la Salud. Estrategias y prácticas de comunicación efectivas sobre el dengue y otras enfermedades arbovirales. Washington, D.C.: OPS, 2024. Disponible en: https://www.paho.org/es/documentos/estrategias-practicas-comunicacion-efectivas-sobre-dengue-otras-enfermedades-arbovirales
32. Betanzos-Reyes AF, González-Chacón DA, Rodríguez-López MH, Rangel-Flores H. Participación escolar en la prevención y control de enfermedades transmitidas por *Aedes* spp. Dengue, Zika y chikungunya. Cuernavaca: INSP, 2018. Disponible en: https://www.insp.mx/produccion-editorial/novedades-editoriales/4972-participacion-escolar-prevencion-control-aedes.html
33. Yáñez-Santaolalla J, Arenas-Monreal L, Lloyd LS, Betanzos-Reyes ÁF, Gómez-Dantés H. Estrategia educativa innovadora basada en TIC para el control del *Aedes aegypti*. Salud Publica Mex. 2025;67(1):65-73. https://doi.org/10.21149/15855
34. Betanzos-Reyes AF, Rangel-Flores H, Rodríguez-López MH, Barona-Ríos C, López-Martínez RA, Marmolejo-Plascencia FA, *et al*. Megadescacharrización de saneamiento preventivo del dengue y otras enfermedades transmitidas por mosquitos. México: INSP, 2023. Disponible en: https://www.insp.mx/novedades-editoriales/megadescacharrizacion-de-saneamiento-preventivo-del-dengue-y-otras-enfermedades-transmitidas-por-mosquitos
35. Tapia-López E, Bardach A, Ciapponi A, Alcaraz A, García-Perdomo HA, Ruvinsky S, *et al*. Experiencias, barreras y facilitadores en la implementación de intervenciones de control del *Aedes aegypti* en América Latina y Caribe: estudio cualitativo. Cad Saude Publica. 2019;35(5):e00092618. https://doi.org/10.1590/0102-311X00092618
36. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Ley para la prevención y control del dengue, Zika y chikungunya en el Estado de Morelos. México: Dirección General de Legislación, 2020. Disponible en: http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LEYDENGUEDOMO.pdf
37. Porcelli AM, Martínez AN. Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. Rev Direito GV. 2018;14(3):1067-105. https://doi.org/10.1590/2317-6172201840
38. Martínez AN, Porcelli AM. Estudio sobre la economía circular como una alternativa sustentable frente al ocaso de la economía tradicional (segunda parte). Rev Fac Der Cien Pol Universidad Alas Peruanas. 2019;17(23):257-96. https://doi.org/10.21503/lex.v17i23.1679
39. Asociación Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C. Inicio. México. Disponible en: https://reciclallantas.org.mx
40. Mejía-Arriaga HA. Plataforma de información RedCap INSP/Proyecto Arronte S735. México: Tableau Public, 2025. Disponible en: https://public.tableau.com/app/profile/augusto3799/viz/DENGUEdescacharrizacion/ Dashboard3.

Epílogo

Participación municipal, una alternativa en el control sostenido del dengue

Nuestros profesionales de la salud hacen del mundo un lugar más seguro y confortable para vivir; y es dable pensar que, a los esfuerzos de estos expertos, bajo la máxima médica *primum non nocere* (lo primero es no hacer daño), se pueden sumar los mejores oficios que la política permita, en la búsqueda de mejores respuestas y propuestas para la salud pública.

El registro más antiguo que se tiene sobre el dengue es en la dinastía Jin (265 a 420 d.C.) en China y, a partir de ahí, su evolución se puede cartografiar en varias partes del mundo, la cual se favoreció de la industrialización y los conflictos bélicos (como la Segunda Guerra Mundial), entre otros factores que potenciaron su intensidad epidémica. A nivel global y en la actualidad, esta enfermedad representa una emergencia de salud pública importante, especialmente en México, en donde el dengue se ha convertido en un reto, pues su existencia involucra una importante movilización de recursos humanos y económicos para la atención y control de casos en los que, lamentablemente, hay pérdidas humanas. Sobre todo en lugares donde la enfermedad es endémica, como lo es el estado de Morelos.

Cabe señalar que los esfuerzos realizados por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la documentación de casos, investigación, apoyo y acompañamiento al dengue se han vuelto de interés común en la agenda de administración sanitaria en México, particularmente en el municipio de Cuernavaca, Morelos, razón por la cual las autoridades gubernamentales locales han emprendido acciones determinantes en conjunto con aliados estratégicos, como el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), con el propósito de encontrar nuevas alternativas y prácticas socioeconómicas viables para el control sostenido de esta enfermedad, todo ello con base en el conocimiento y evidencia científica.

Lo anterior hace impostergable el involucramiento de todos los sectores de la sociedad y del área gubernamental, no solamente para las enfermedades transmitidas por vector, sino también por la presencia simultánea de ellas con las enfermedades emer-

gentes. Un ejemplo de ello fue la pandemia ocasionada por Covid-19, la cual dejó como enseñanza que es indispensable poseer preparación y prevención en materia de salud en el presente para contar con mejores prácticas en el futuro.

Al respecto, y de manera particular en Cuernavaca, ya se han implementado y propuesto estrategias para el control y prevención de enfermedades transmitidas por vector, acciones en donde la experiencia ha comprobado que es indispensable involucrar a las autoridades gubernamentales de todos los niveles a modo de conjuntar esfuerzos, obtener mejores resultados y así abonar a la salud pública municipal, estatal y nacional. Un ejemplo de lo anterior es la propuesta Cooperación Educativa para la Prevención del Dengue (Copeden), desarrollada e implementada por el INSP en colaboración con el sector educativo, en donde, entre otras cosas, se ha realizado la recolección de residuos sólidos de manera focalizada para detectar y prevenir potenciales riesgos de albergar criaderos de mosquitos. Acciones como la mencionada demuestran la relevancia de la participación comunitaria y su vinculación con los actores gubernamentales.

Es importante anotar, finalmente, que la salud de la población morelense, y en general del país, debe ser una bandera blanca que facilite el acercamiento de los agentes políticos y el sector médico con la comunidad, esto con el propósito de tomar decisiones en función de la mejoría de la salud individual y colectiva.

Lic. José Luis Urióstegui Salgado

Presidente Municipal de Cuernavaca, Morelos (2025-2027)

Aedes aegypti y **arbovirosis**

Factores que determinan
la presencia del vector y pautas
para su control integral sostenido

Se terminó de imprimir en diciembre de 2024.
La edición consta de 1000 ejemplares y estuvo al
cuidado de la Subdirección de Comunicación Científica
y Publicaciones del Instituto Nacional de Salud Pública