

Guillermo Miguel Ruiz-Palacios y Santos y José Ramos Castañeda



La transmisión del dengue

Resumen

Conocer la forma de transmisión del dengue permite comprender su comportamiento epidemiológico, su impacto en la sustentabilidad de las acciones de control del vector, definir estrategias de vacunación, así como discernir el impacto del calentamiento global en el desarrollo futuro de las epidemias de dengue. En este artículo se abordan estos temas de manera general, con énfasis en la información obtenida en México.

Abstract

Understanding the form of dengue transmission allows us to comprehend its epidemiological behavior, its impact on the sustainability of vector control measures, to define vaccination strategies, and to discern the effects of global warming on the future development of dengue epidemics. In this article these issues are addressed in general terms, with an emphasis on information obtained in Mexico.

Conocer la forma de transmisión de una enfermedad infecciosa (EI) es crucial para el diseño de estrategias de salud pública efectivas. En 1854, John Snow estudió y determinó cuál era el principal foco de infección del brote de cólera que en ese momento afectaba a Londres, sentando las bases para el estudio sistemático de la transmisión de una EI. Esas observaciones pusieron énfasis en lo que ahora llamamos *medidas no terapéuticas* del control de la transmisión de una enfermedad, las cuales incluyen aspectos de gestión municipal, gestión del agua y residuos, medidas sanitarias comunitarias y de higiene personal. La mayoría de las infecciones que afectan a los humanos se dan por una transmisión de alguno de estos tres tipos:

1. Directa, cuando sucede por contacto de un ser humano a otro, a través de microgotas de Flügge –que son pequeñas gotas de saliva o moco que se expulsan



de forma inadvertida por la boca o la nariz al hablar, estornudar, toser o incluso al espirar—, o por contacto con tierra o vegetación contaminadas. Una gota microscópica puede transportar decenas de agentes patógenos; en particular, virus y bacterias.

2. Indirecta, cuando se da a través de partículas suspendidas en el aire o a través de un vehículo como el agua, los alimentos, productos de la sangre, **fómites**.
3. Por vectores como mosquitos, moscas o garrapatas.

Las enfermedades transmitidas por mosquitos, como el dengue, presentan un escenario de transmisión más complejo al requerir de un **vector** intermedio. Los patrones de contagio varían y resultan heterogéneos, dependiendo de la relación del mosquito vector con su entorno y con las personas. Hasta la década pasada, el modelo de transmisión de infecciones transmitidas por insectos era el desarrollado por Ronald Ross y George MacDonald entre 1930 y 1950 (**Figura 1A**). El modelo Ross-MacDonald establece que el evento principal en la transmisión de la malaria (también conocida como paludismo), o del dengue, es cuando el mosquito vector infectado pica a una persona susceptible. El único factor determinante de la persona que interviene en la transmisión es qué tan rápido desaparece el agente infeccioso de su organismo, así que el peso de la transmisión se centra en el mosquito. No es de sorprender, por tanto, que todas las medidas de control de la transmisión de las EI transmitidas por mosquitos se basen en el control de éstos.

Actualmente, el modelo de Ross-MacDonald ha sido modificado considerando los hallazgos recientes del estudio de las variables que determinan la dinámica de la transmisión (**Figura 1B**): la picadura del mosquito infectado y los diferentes **serotipos** del virus, las variables relacionadas con la escala de transmisión (nacional, estatal, municipal, local, sublocal, etc.), la estructura espacial (qué tan diferente es la transmisión a diferentes escalas, los efectos de la conexión entre las diferentes escalas y dentro de una escala, etc.) y la dinámica espacial (la dispersión de los mosquitos, el movimiento de los humanos, etc.).

En esta versión actualizada, son más los factores del ser humano considerados en la transmisión (factores como la inmunidad contra el agente causal, el comportamiento de los infectados, la nutrición, etc.); así como, contextualmente, el efecto del cambio climático en la dispersión del vector y en la frecuencia de los brotes inducidos por los cambios en el clima.

En vista de lo anterior, la Organización Mundial de la Salud ha propuesto un enfoque integral para el control del dengue y otras enfermedades transmitidas por vectores que no se limita al control de éstos, sino que incluye estrategias de vigilancia epidemiológica, el desarrollo e implementación de tratamientos farmacológicos (antivirales y vacunas) y la gestión del medio ambiente y la participación comunitaria.

La transmisión del dengue

El dengue es causado por un virus, el DENV, que pertenece al género Orthoflavivirus de la familia Flaviviridae. Se conocen cuatro especies que, para efectos prácticos, llamaremos serotipos y se denominan DENV-1 a DENV-4. Todos comparten manifestaciones clínicas, aunque existen diferencias importantes entre ellos, específicamente en cuanto a la gravedad de los casos; por ejemplo, DENV-3 y DENV-2 se asocian con cuadros de mayor gravedad que DENV-1 y DENV-4; sin embargo, todos pueden causar la muerte, especialmente en adultos mayores y en niños menores de 10 años.

Se estima que, luego de una primera infección por cualquiera de los cuatro serotipos del DENV, la persona queda inmune de por vida para el serotipo que la infectó y por un periodo corto, de nueve meses a un año, está protegida contra todos los demás serotipos. Se ha demostrado que esta característica explica el patrón de transmisión del dengue, que en términos llanos consiste en años con muchos casos, separados por años en que hay pocos casos. En lugares donde se ha establecido el dengue, los picos de transmisión están separados más o menos por tres años, y cada pico coincide con la circulación predominante de un nuevo serotipo de DENV.

Para medir la transmisión, se desarrollan modelos matemáticos a partir de datos epidemiológicos, como

Fómites

Objeto inerte, como jeringa o teléfono celular, contaminado con virus y otros microorganismos patógenos capaces de transmitir una infección.

Vectores

Organismos, usualmente insectos, que transmiten un agente infeccioso entre animales y humanos, o entre humanos.

Serotipos

Tipos de virus que se clasifican según sus antígenos de superficie y se identifican mediante sueros específicos.

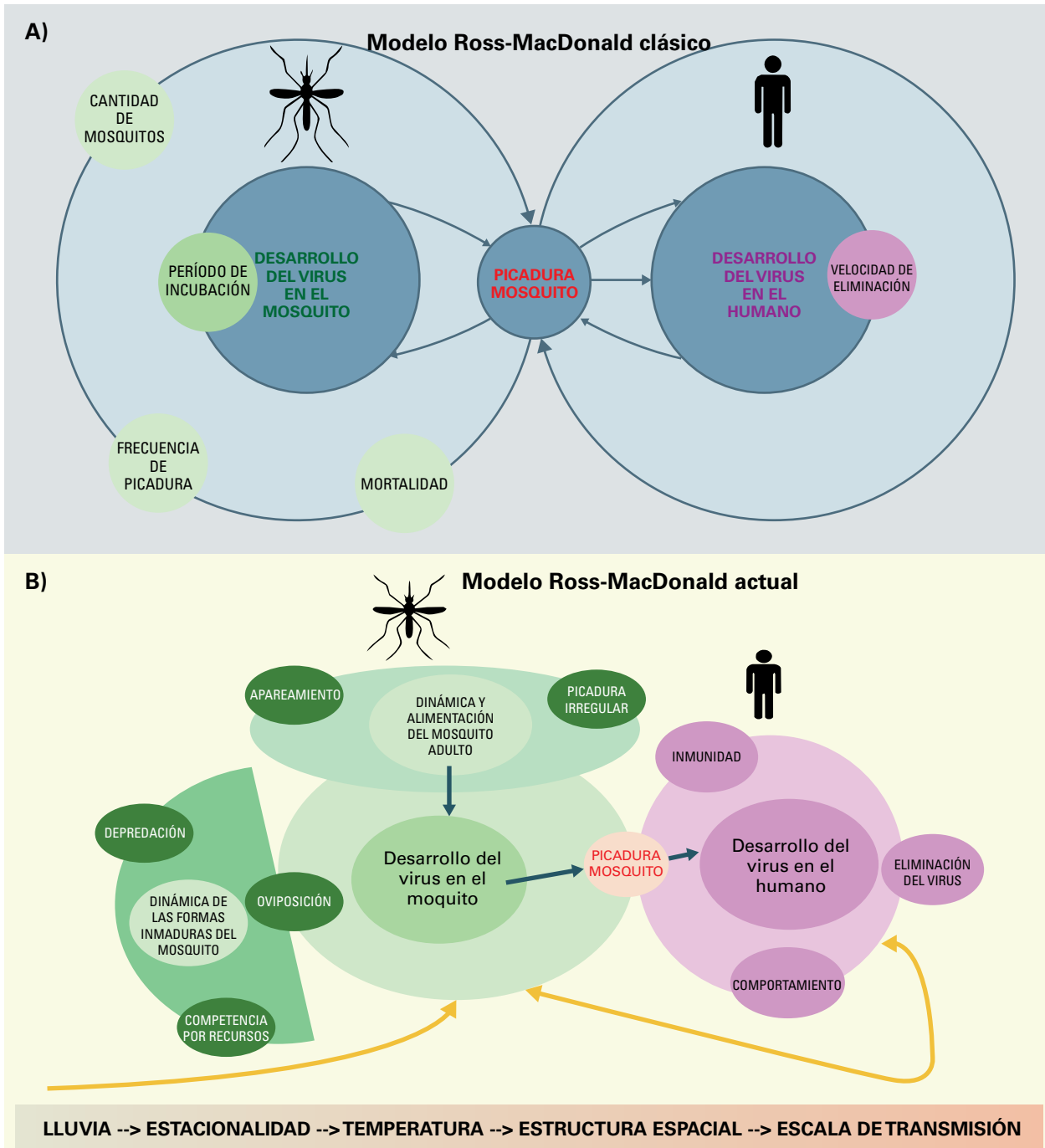


Figura 1. La transmisión de una infección transmitida por mosquitos (ETV). A) El modelo clásico de transmisión de ETV consideraba predominantemente los procesos que ocurrían en el mosquito. B) El modelo actual considera diferentes variables que ocurren en el mosquito y sus fases inmaduras, así como variables de la persona infectada que modifican la transmisión y las diferentes condiciones climáticas, de dimensión y de estructura espacial.

el número de casos nuevos registrados o la frecuencia de detección de anticuerpos contra el agente infeccioso en la población estudiada. El modelo más sencillo se conoce como SIR, pues analiza la dinámica de una población completamente susceptible (s) en

función de cuántas personas se infectan (I) y cuántas se recuperan (R). Mediante este modelo se puede determinar la frecuencia con la que una persona susceptible, en una población determinada, adquiere una infección en un tiempo determinado (Figura 2).

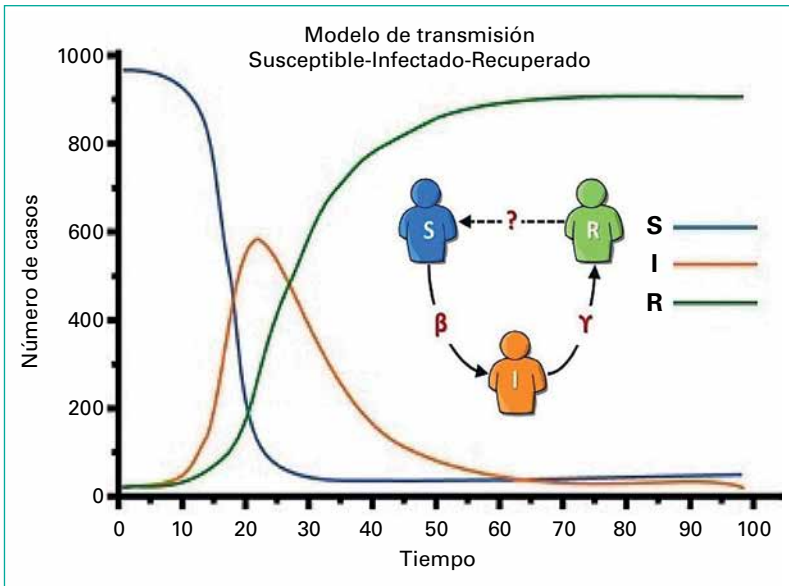


Figura 2. La transmisión de una ETV se puede caracterizar y medir mediante un modelo matemático que se conoce como modelo SIR.

A la probabilidad de que una persona se infecte se le denomina fuerza de infección (FoI) y al número de casos que genera una persona infectada se le conoce como número reproductivo básico (R0). Aunque estos parámetros en conjunto describen la transmisión de una EI, su interpretación es muy distinta: la FoI es una medida de la historia de la infección en la población, mientras que el R0 es la medida de la magnitud de la dispersión. Esto tiene consecuencias en el diseño de intervenciones para interrumpir la transmisión; por ejemplo, determinarla en las localidades del país permite racionalizar los programas de vacunación al priorizar localidades donde la probabilidad de infectarse de una persona sea mayor. Por otro lado, el R0 se utiliza con frecuencia para determinar qué cantidad de población debe ser vacunada para lograr la interrupción (Figura 3).

Un aspecto importante para ponderar estos parámetros es que los datos epidemiológicos con los que se mide la transmisión de la EI no reflejan la realidad de la transmisión, ya que, para el caso del dengue, no todas las infecciones generan síntomas; de hecho, se estima que casi el 85 % de las infecciones por dengue pasan inadvertidas para el sistema de vigilancia epidemiológica. Aproximadamente el 50 % son asintomáticas, pero el resto son infecciones con signos o

síntomas que, a juicio de los pacientes, no merecen una visita a los servicios médicos o a alguna atención privada (incluyendo los consultorios asociados a farmacias, que representan el 25 % del total), pues ésta no forma parte de la red de vigilancia epidemiológica en México.

Considerando lo anterior y dado que México tiene una geografía particular, resulta obvio que la distribución de la FoI por DENV en el país es heterogénea. Los estados con FoI menores que 0.1 (probabilidad mayor que 10 % de infectarse por DENV) son del sur-sureste del país; otro grupo lo conforman los estados con FoI menores que 0.1 y hasta 0.05, en su mayoría del centro y noroeste del país; y los estados con FoI menores que 0.05 están distribuidos en el centro y norte del país. A nivel de localidad, aquellas con mayores FoI no necesariamente se encuentran en los estados con mayor FoI.

Esta heterogeneidad distorsiona las magnitudes de la FoI, pues los cálculos se basan en que la pro-



Figura 3. La transmisión de una ETV se puede medir mediante dos parámetros: 1) la fuerza de infección, que nos dice cuál es la probabilidad de infectarse en una localidad independientemente de si hay un pico epidémico, y 2) el R0, parámetro que establece qué tan intensa es la transmisión durante el pico epidémico.

babilidad de infectarse es igual en toda la población. En el caso del dengue, esto no es posible, ya que influyen factores socioeconómicos, como la urbanización; demográficos, como la densidad de población, y climáticos, como la temperatura y las lluvias. Como consecuencia, durante un pico de transmisión, los casos se acumulan en áreas donde las condiciones interactúan de manera óptima para sostener una cadena de transmisión; a estas áreas las llamamos “puntos calientes” (*hot spots*, en inglés) (Figura 4). Estas áreas deberían ser el blanco de las medidas de control, pero no hay forma de pronosticar dónde aparecerán; vaya, conocemos las variables principales, pero no sabemos cómo interactúan entre sí para que se generen las condiciones y se forme un punto caliente.

El cambio climático y la transmisión del dengue

Las EI transmitidas por insectos, entre ellos el dengue, son muy susceptibles a los cambios climáticos, pues la mayoría de los insectos dependen de con-

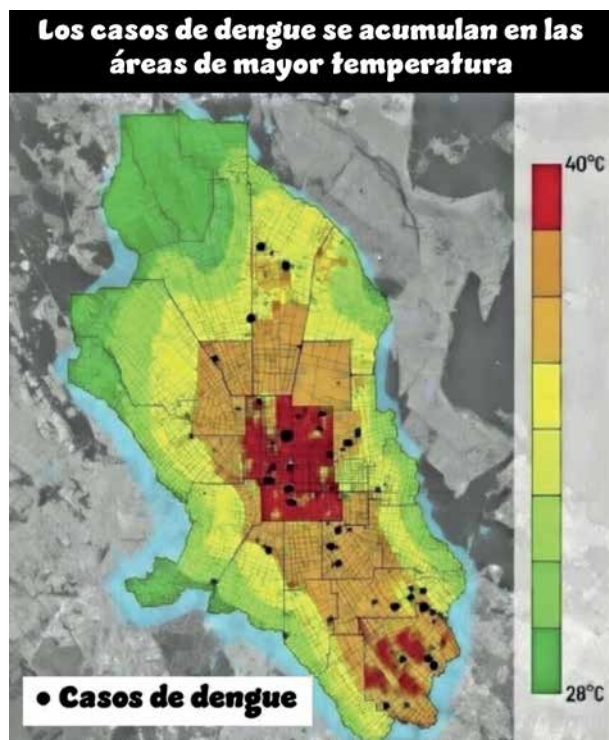


Figura 4. El clima afecta la distribución de casos de cualquier ETV no sólo a nivel local, pues existen zonas en donde el clima es óptimo para el desarrollo del mosquito. En Cuernavaca, Morelos, los casos de dengue (puntos negros: entre más grandes mayor es el número de casos) se acumulan donde las temperaturas del área son más altas (áreas de color).

diciones particulares de humedad y temperatura para prosperar; como consecuencia, el calentamiento global tiene impacto en la reproducción de los insectos y su dispersión en el planeta. Por ejemplo, se considera que por cada grado de aumento en la temperatura media de una región donde existe transmisión del dengue, se incrementa la cantidad de casos hasta en un 10%; no obstante, temperaturas medias extremas sostenidas mayores que 36°C pueden disminuir la transmisión o inclusive interrumpirla por completo. No sólo la temperatura media es importante, la humedad relativa en la región debe ser alta, de entre 75 y 90%; sin embargo, por los hábitos del principal mosquito transmisor de la enfermedad, humedades relativas de hasta 50% permiten la transmisión del dengue cuando el vector encuentra recipientes que contengan agua dentro de las casas y sus alrededores.

La relación entre humedad y temperatura media que permite la transmisión del dengue es compleja y se ve influida por la ecología, la urbanización y la movilidad de las poblaciones, por mencionar algunas variables involucradas; tal vez ésa sea la razón por la cual el norte de México tiene FoI menores que el sur-sureste, pues aunque la temperatura media es óptima para la transmisión, la humedad es mucho más baja que en el sur-sureste.

Podemos separar los efectos del cambio climático en dos aspectos: uno tiene que ver con la dispersión del dengue y otro, con los cambios específicos en los patrones locales del clima. Se pensaba que el dengue sólo se transmitía en localidades por debajo de los 1 500 metros sobre el nivel del mar y entre los 35°N y 35° S de latitud. El calentamiento global ha cambiado esta distribución, pues al aumentar la temperatura media, se propicia la transmisión del dengue debida al mosquito *Aedes aegypti*, pero además porque otro mosquito, el *Aedes albopictus* –que no es tan eficaz en transmitir el dengue–, puede sostener la transmisión en condiciones donde el *Aedes aegypti* no es eficiente, como en los casos de los brotes en Roma, París o Tokio. En México, el Bajío, por su altura y condiciones climáticas, no era una región endémica de dengue; sin embargo, los brotes recientes de dengue en León, Querétaro capital y

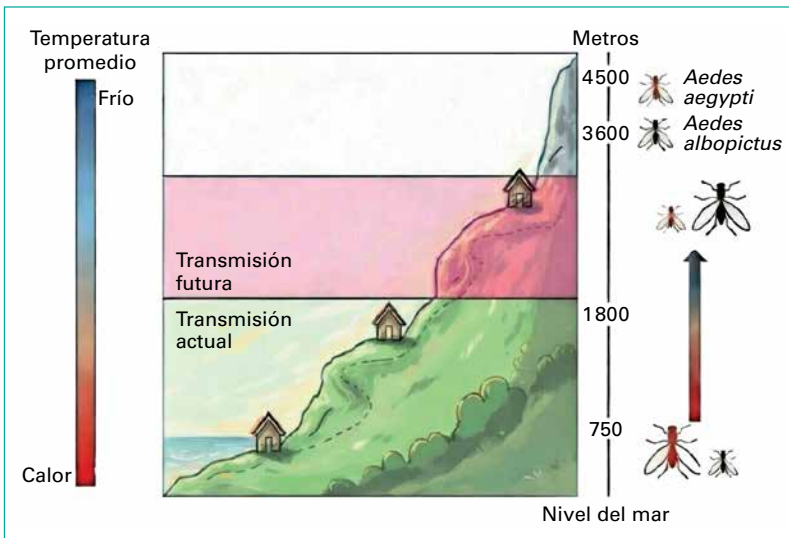


Figura 5. Actualmente, la transmisión del dengue se está desplazando de zonas tropicales/subtropicales a zonas templadas de temperatura media. Aparentemente, este desplazamiento va acompañado de un remplazo de la especie del mosquito transmisor, pues en climas tropicales el vector principal es *A. aegypti* y en climas templados el vector principal es *A. albopictus*.

Aguascalientes capital son ejemplos de lo que puede ocurrir en el futuro.

Finalmente, con las variaciones del clima derivadas del cambio climático, como el incremento de la humedad relativa anual, el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos y, en general, las variaciones en la temporalidad de las estaciones, se generan condiciones que incrementan la transmisión de esta EI (Figura 5).

Transmisión del dengue e intervenciones de salud pública

El conocimiento y el mejor entendimiento de la dinámica multifactorial de la infección por el virus del dengue han sido fundamentales para el desarrollo de métodos de control de la transmisión y disminución de la carga de enfermedad.

Control vectorial. Existen a la fecha tres tipos de control vectorial: químico, biológico y ambiental. Los métodos químicos incluyen el uso de soluciones, mezclas, aerosoles o sustancias repelentes, así como el uso de piretroides para la fumigación al aire libre, insecticidas para interiores y exteriores en *spray*, mosquiteros o larvicidas. Los métodos biológicos incluyen peces larvívoros, ciclopoideos y *Bacillus*

thuringiensis israelensis. Otros métodos con gran potencial incluyen vectores con alteraciones genéticas que inhiben la transmisión del virus del dengue. En este grupo se incluyen técnicas de esterilización del mosquito, mosquitos genéticamente modificados y la introducción de la bacteria *Wolbachia* en los mosquitos machos, reduciendo la población de vectores por incompatibilidad citoplasmática, lo que resulta en la muerte de los embriones y también por un efecto directo en la replicación viral. Recientes estudios en México, Brasil y Singapur han mostrado una eficacia por arriba del 80 por ciento.

En principio, en México, las medidas de control vectorial se ponen en marcha una vez confirmado un caso de dengue. No obstante, administrativamente, esto no sucede porque los recursos para operar el programa de control no están disponibles hasta que se inicia la “temporada de dengue”, que coincide con la temporada de lluvias; para entonces, sabemos que las cadenas de transmisión ya se establecieron y el impacto del programa de control vectorial sólo llega a disminuir en menos de 25 % la aparición de nuevos casos, lo cual es insuficiente para interrumpir la transmisión. Estimamos que por cada mes que se adelante el programa de control vectorial se suma un 10 % de reducción en los casos.

Supongamos que las limitaciones administrativas no pueden cambiarse por cuestiones de la administración de los recursos públicos. Lo que puede hacerse es reforzar el sistema de vigilancia epidemiológica, de tal manera que se puedan priorizar áreas de atención que, aunque no extingan la transmisión, al menos reduzcan el costo humano en hospitalizaciones, muertes y carga de la enfermedad en el sector público, que en 2011 fue de aproximadamente 1 400 millones de pesos.

La Secretaría de Salud, a través del Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades, desarrolló una plataforma informática que se alimenta de la información del programa de control del dengue, en la que actualmente se registran casos, cantidad de huevos y algunos índices de la cantidad de mosquitos. Así que, en el futuro, con trabajo multidisciplinario, quizá se puedan integrar datos de variables climáticas, demográficas y socioeconómicas

en un entorno de análisis mediante inteligencia artificial para elaborar mapas de riesgo en tiempo real que puedan alcanzar dos objetivos: el inicio temprano de las actividades de control y la optimización de los recursos para el control del mosquito.

Vacunación. Actualmente, se cuenta con dos vacunas con registro sanitario en México: Dengvaxia, de Sanofi-Pasteur, y TAK-003 (Qdenga), de Takeda. Pronto se someterá a evaluación una tercera vacuna, TVE003, desarrollada por el consorcio NIH-Butantan. Estas vacunas tienen una eficacia contra la infección de entre el 60 y el 70 %, y contra la enfermedad grave de más del 90 %. Independientemente de sus características particulares de dosificación, Dengvaxia y Qdenga deben aplicarse en poblaciones endémicas. Una población endémica es aquella en la que se presentan casos en todo momento, no importa si son pocos o muchos; este concepto es difícil de aplicar en el caso del dengue, porque no todas las infecciones son captadas por el sistema de vigilancia, a lo que a veces se le llama *transmisión silenciosa*; pero además, porque mientras se establece el ciclo recurrente de picos epidémicos, aproximadamente cada tres años, una población puede experimentar una “transmisión silenciosa” hasta que un nuevo serotipo del virus comience a circular. Puesto que México fue el primer país del mundo que otorgó licencia sanitaria a una vacuna contra el dengue (Dengvaxia), el grupo de expertos en dengue del país desarrolló un concepto de población endémica basado en indicadores epidemiológicos: que el 50 % de la población tuviera anticuerpos contra el DENV, que la incidencia, mortalidad, circulación de serotipos, sean sostenidos, etc.; sin embargo, aunque rigurosa, en la práctica esta definición tenía problemas para aplicarse, en particular porque no había datos de seroprevalencia para todas las localidades, ni tampoco están completos los registros epidemiológicos. En un esfuerzo por suplir esta deficiencia, se ha intentado asociar la FoI con factores ambientales, socioeconómicos y demográficos, de modo que se pueda estimar este parámetro sin recurrir a encuestas complejas

y costosas de llevar a cabo. Así pues, una localidad endémica se puede definir como aquella que tiene una altitud de 200 m sobre el nivel del mar; temperatura media anual mayor que 23 °C; lluvia promedio anual mayor que 600 mm, y frecuencia de agua municipal entubada menor que 75 % de las casas para FoI mayores que 5 por ciento.

■ **Conclusión**

■ El dengue es un problema de salud pública en el mundo. En México la transmisión no sólo se ha incrementado en magnitud, sino que también ha crecido el número de casos en áreas donde la transmisión era marginal o no existía. Por eso el conocimiento de los procesos y variables que la generan es una prioridad para diseñar y mejorar las intervenciones de salud pública que permitan interrumpir la transmisión.

Guillermo Miguel Ruiz-Palacios y Santos

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”.

gmrps@unam.mx

José Ramos Castañeda

Instituto Nacional de Salud Pública.

jramos@insp.mx

Lecturas recomendadas

Johnson, Steven y Cristina Mbarichi Lumu (2020), *El mapa fantasma: la epidemia que cambió la ciencia, las ciudades y el mundo moderno*, Madrid, Capitán Swing Libros.

Kennedy, Jonathan y Francisco J. Ramos Mena (2025), *Patogénesis: una historia del mundo en ocho plagas*, Barcelona, Penguin Random House.

Kucharski, Adam (2020), *Las reglas del contagio*, trad. de Francisco Herreros, s. l., Capitán Swing Libros.

Molina del Villar, América (2025), *Historia mínima de las epidemias en México*, México, El Colegio de México.

Sánchez Yáñez, Juan Manuel (2011), *Las enfermedades infecciosas en la historia humana*, s. l., Libros en Red.