



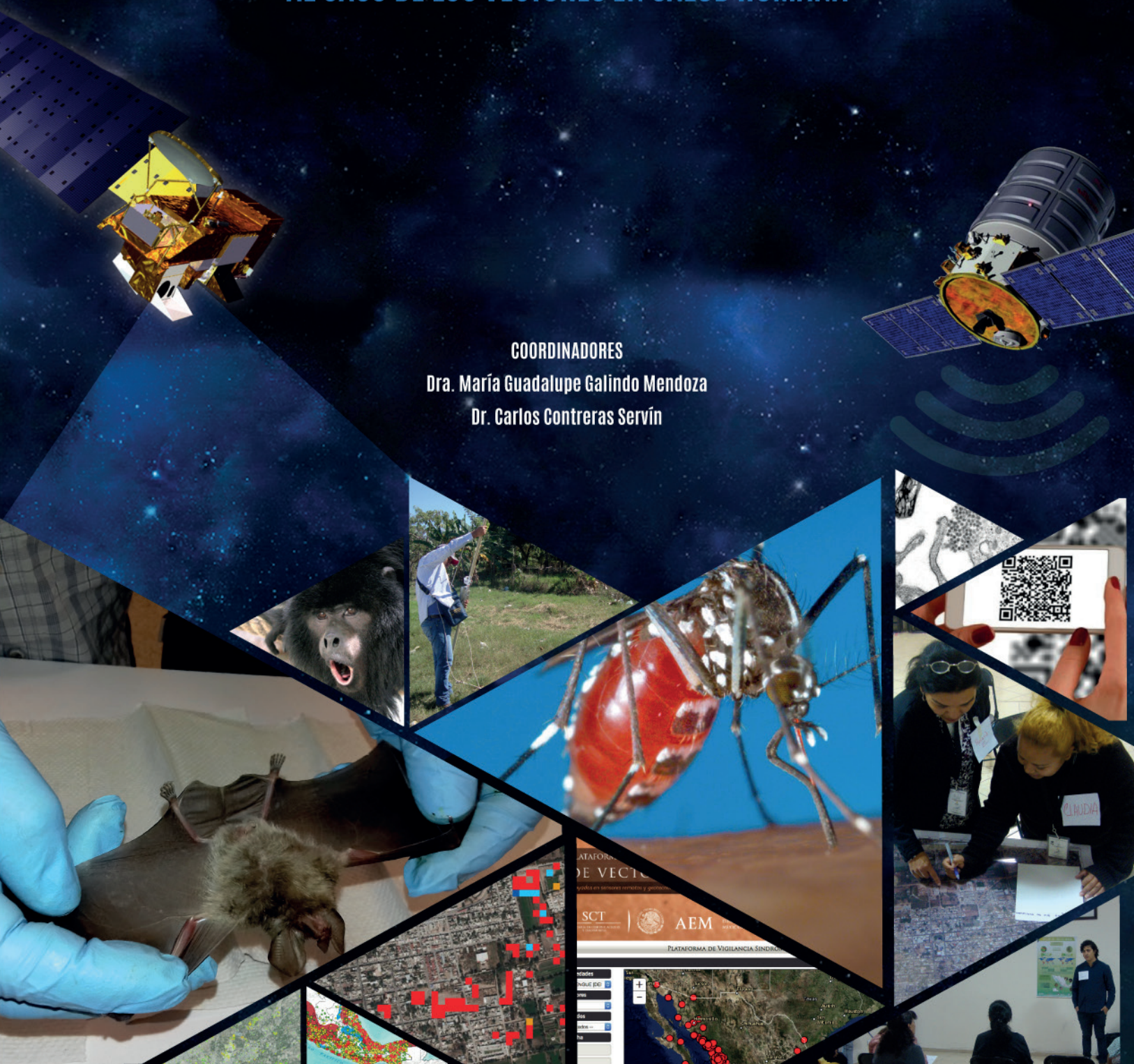
GEOMEDICINA

Y LA TECNOLOGÍA ESPACIAL APLICADA AL CASO DE LOS VECTORES EN SALUD HUMANA

COORDINADORES

Dra. María Guadalupe Galindo Mendoza

Dr. Carlos Contreras Servín





AEM

AGENCIA
ESPACIAL
MEXICANA

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



GEOMEDICINA Y LA TECNOLOGÍA ESPACIAL APLICADA AL CASO DE LOS VECTORES EN SALUD HUMANA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ - UASLP
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y LA APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA - CIACYT
LABORATORIO NACIONAL DE GEOPROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN FITOSANITARIA - LANGIF

Sierra Leona No. 550, Lomas 2ª Sección
San Luis Potosí, S.L.P. CP 78210
Tel. 01 (444) 826 23 00 ext. 8430 - 8431

DIRECTORIO

Mtro. en Arq. Manuel Fermín Villar Rubio
Rector de la Benemérita Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. en Arq. Anuar Abraham Kasis Ariceaga
Secretaro General

Mtra. Dolores Lastras Martínez
Secretaria Académica

Dr. Jorge Fernando Toro Vazquez
Secretario de Investigación y Posgrado

Dr. Hugo Ricardo Navarro Contreras
Coordinador General de la CIACYT

Dra. María Guadalupe Galindo Mendoza
Coordinadora técnica LaNGIF

PRIMERA EDICIÓN. SEPTIEMBRE 2018

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

ISBN: 978-607-535-065-3

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.
Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito del editor en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y en su caso de los tratados internacionales aplicables.

CONTENIDO

13 PRIMERA PARTE

- 15 **CAPÍTULO I** GEOMEDICINA Y TECNOLOGÍA SATELITAL APLICADA A LA VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA Y CONTROL DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR VECTOR
María Guadalupe Galindo Mendoza, Carlos Contreras Servín
- 43 **CAPÍTULO II** GEOMEDICINA Y TELEMEDICINA, UN BINOMIO INSOSLAYABLE
Juan Carlos Hernandez Marroquín

53 SEGUNDA PARTE

- 55 **CAPÍTULO III** ESPECIACIÓN Y PLASTICIDAD EN ESCENARIOS FUTUROS: LA DIVERSIFICACIÓN DE LOS VECTORES
Patricia Deniss Campos Ibarra, Luis Alberto Olvera Vargas, Ángel González Canuto
- 69 **CAPÍTULO IV** EL IMPACTO AMBIENTAL COMO CAUSA DE LA EMERGENCIA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR
Ángel Santiago González Canuto
- 91 **CAPÍTULO V** ECOLOGÍA QUÍMICA DE *Aedes aegypti* LUNNEUS (DIPTERA:CULICIDAE) PRINCIPAL VECTOR DE DENGUE, CHIKUNGUNYA Y ZIKA
José Luis Torres Estrada
- 105 **CAPÍTULO VI** FICHA TÉCNICA DEL VECTOR *Aedes aegypti* (LINNAEUS, 1762)
Patricia Deniss Campos Ibarra, María Guadalupe Galindo Mendoza, Carlos Contreras Servín, Raúl Gonzales Montero
- 119 **CAPÍTULO VII** FICHA TÉCNICA DEL VECTOR *Aedes albopictus*
Patricia Deniss Campos Ibarra, María Guadalupe Galindo Mendoza, Carlos Contreras Servín, Raúl Gonzales Montero

135 TERCERA PARTE

- 137 **CAPÍTULO VIII** MODELADO ECOBIOGEOGRÁFICO PARA LA ESPACIALIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE VECTORES TRANSMISORES DE DENGUE
Patricia Deniss Campos Ibarra, Luis Alberto Olvera Vargas
- 147 **CAPÍTULO IX** MODELO SOCIO-ECOLÓGICO PARA EL ESTUDIO DE *Aedes aegypti*: UNA MIRADA A LA SITUACIÓN DEL DENGUE, EL ZIKA Y EL CHIKUNGUNYA EN PUERTO RICO
José Seguinot Barbosa, Johel Padilla Villanueva, Gloricel Ramos, Jorge L Cosme López

161 **CAPÍTULO X** CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS FUTUROS DE LA EXPANSIÓN DEL DENGUE EN MÉXICO
Carlos Contreras Servín, Alejandro Tovar García , Ma. Guadalupe Galindo Mendoza

181 **CUARTA PARTE**

183 **CAPÍTULO XI** LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN EL CONTROL DE VECTORES DE ENFERMEDADES EMERGENTES
R. Patricia Penilla Navarro PhD, Américo D. Rodríguez PhD

201 **CAPÍTULO XII** DESARROLLO DE MAPAS DE IDONEIDAD DEL HÁBITAT DE TRIATOMINOS, VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS, EN MÉXICO USANDO SIG Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS
Hugo Medina Garza, Carlos Contreras Servín, Ma. Guadalupe Galindo Mendoza, Beatriz E. Arreola Martínez, Alejandro Tovar

221 **CAPÍTULO XIII** MODELO DE PARTICIPACIÓN SOCIAL A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS EN EL MARCO DE LA GEOMEDICINA APLICADA A VECTORES
Claudia Leticia Hernández Hernández, María Guadalupe Galindo Mendoza, Julio Cesar Hernández Montes, Héctor Alejandro Torres Briones

PREFACIO



Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez
Director General Agencia Espacial Mexicana

Desde su creación, la Agencia Espacial Mexicana ha mantenido como visión el contar con una infraestructura espacial soberana y sustentable de observación de la tierra, navegación y comunicaciones satelitales de banda ancha, que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población y al crecimiento económico de México. Para ello hemos realizado continuos esfuerzos para desarrollar políticas, estrategias y líneas de acción, a fin de avanzar hacia la meta de que México llegue a su máximo potencial en materia espacial. De conformidad a lo establecido en los Lineamientos Generales de Política Espacial de México, así como en nuestro Programa Nacional de Actividades Espaciales, nos esforzamos para formular y conducir acciones para la construcción de capacidades nacionales que fomenten, en estrecha coordinación con el Sector Central y Paraestatal del Gobierno Federal, gobiernos estatales, instituciones educativas, centros de investigación, industria, y en general la sociedad y todos los participantes del sector espacial, el desarrollo de soluciones desde la perspectiva espacial, para el país y sus habitantes.

Para todo ello, la Agencia Espacial Mexicana impulsa de manera decidida la construcción de las capacidades nacionales para desarrollar la investigación y la innovación en ciencia espacial, fomentando, entre otras áreas relevantes, las asociadas a medicina espacial, astrobiología, experimentación biológica en ambiente de micro gravedad, y desarrollo de aplicaciones espaciales para el sector salud. Lo anterior a través de diversos mecanismos, como por ejemplo el Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Actividades Espaciales CONACYT-AEM, que la Agencia Espacial Mexicana mantiene en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el fondeo de proyectos relevantes en dichos campos del conocimiento.

Dada la relevancia y el impacto de la tecnología espacial en sus aplicaciones a los vectores en la salud humana, es para la Agencia Espacial Mexicana una gran satisfacción la publicación de este libro, que refleja un trabajo intenso de creación de conocimiento de muy alta calidad académica y de gran pertinencia en el sector, así como de acertada visión y articulación de los coordinadores del Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF), de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, contribuyendo así a seguir posicionando a la Geomedicina en el sector salud como un área estratégica de oportunidad en el México moderno y en la comunidad internacional.

Con el fin de seguir potenciando las aplicaciones del sector espacial nacional; mucho agradecemos y valoramos el vínculo con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y con entidades gubernamentales, académicas y empresariales de este vigoroso Estado, que es un ejemplo de aplicación de la ciencia y tecnología para el beneficio social y para el desarrollo económico, ahora con el espacio, que es un gran habilitador de aplicaciones y soluciones ante los grandes retos locales, regionales

y nacionales, a la vez que es un factor de inspiración para niños y jóvenes para emprender actividades, estudios y carreras en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM).

Por ello estoy seguro que este libro aportará grandes beneficios por el conocimiento en él integrado, así como por su contribución a despertar el interés y el entusiasmo por estas fascinantes aplicaciones y desarrollos espaciales al sector salud; la Agencia Espacial Mexicana extiende una invitación a los lectores para que se atrevan a inspirarse con el infinito del espacio, y se sumen a los esfuerzos de este notable grupo de expertos entusiastas y comprometidos con el espacio.

Formulo finalmente un sincero reconocimiento a todos los que participan en este magnífico libro, pues representa una clara contribución a la misión de la Agencia Espacial Mexicana de utilizar la ciencia y la tecnología espacial para atender las necesidades de la población mexicana y generar empleos de alto valor agregado, impulsando la innovación y el desarrollo del sector espacial, contribuyendo a la competitividad y al posicionamiento de México en la comunidad internacional, en el uso pacífico, eficaz y responsable del espacio.

Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez
Director General Agencia Espacial Mexicana

INTRODUCCIÓN

Alrededor de dos tercios de la población mundial vive en áreas infestadas con vectores del dengue, principalmente *Aedes aegypti*. Los cuatro virus del dengue están circulando, a veces simultáneamente, en la mayoría de estas áreas. Se estima que hasta 80 millones de personas se contagian anualmente, aunque un marcado subregistro da como resultado la notificación de cifras mucho más pequeñas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), confirma que casi 3 millones de niños han sido hospitalizados con este síndrome en las últimas 3 décadas, principalmente en el sudeste de Asia. Actualmente, el dengue es endémico en todos los continentes, excepto en Europa, y la fiebre hemorrágica del dengue epidémico (FHD) se produce en Asia, América y algunas islas del Pacífico.

En las Américas, según la OMS, la aparición del FHD epidémico se produjo en 1981 casi 30 años después de su aparición en Asia, y su incidencia muestra una marcada tendencia al alza. En 1981, Cuba informó sobre el primer brote importante de fiebre hemorrágica de las Américas, durante el cual se notificaron 344.203 casos de dengue, incluidos 10.312 casos graves y 158 muertes. La epidemia cubana de FHD se asoció con una cepa DENV-2 y se produjo cuatro años después de que se introdujera el DENV-1 en la isla, lo que provocó epidemias de dengue. Antes de este evento, cinco países informaron casos sospechosos de FHD o casos fatales de dengue, pero solo unos pocos cumplieron los criterios de la OMS para el diagnóstico de FHD. El brote en Cuba es el evento más importante en la historia del dengue en las Américas. Posteriormente, en todos los años, excepto en 1983, se notificaron casos confirmados o sospechosos de FHD en la Región. El segundo brote importante en las Américas ocurrió en Venezuela en 1989 y desde entonces este país ha sufrido epidemias de FHD cada año. Entre 1981 y 1996, un total de 42.246 casos de dengue hemorrágico y 582 muertes fueron informados por 25 países de las Amé-

cas, el 53% de los cuales procedían de Venezuela y el 24% de Cuba. Colombia, Nicaragua y México han reportado más de 1,000 casos durante el período 1992-1996. Alrededor del 74% de los casos colombianos y el 97% de los casos mexicanos se reportaron durante 1995-1996. Una causa principal del surgimiento de FHD en las Américas fue el fracaso de la campaña hemisférica para erradicar *Aedes aegypti*. Después de un período exitoso que resultó en la eliminación del mosquito de 18 países en 1962, el programa comenzó a declinar y como resultado hubo una diseminación progresiva del vector de modo que para 1997 con la excepción de Canadá, Chile y Bermuda, todos los países de las Américas están infestados. Otros factores que contribuyen al surgimiento y resurgimiento del dengue incluyen el rápido crecimiento y la urbanización de las poblaciones en América Latina y el Caribe, y un mayor desplazamiento de personas que facilita la diseminación de los virus del dengue que aunado al cambio climático, aumentan su difusión. Así, al iniciar el Siglo XXI se presentan las grandes transiciones epidemiológicas y espaciales de esta pandemia.

A partir de los últimos 10 años, países del centro y del sur de América donde el dengue había sido una enfermedad endémica durante 3 décadas, han reportado un patrón cambiante en la población de riesgo de padecer dengue. Un estudio publicado por Ivonne Torres en el Boletín Médico del Hospital Infantil de México en 1994, determina que durante las epidemias de 2000 y 2002 en El Salvador se encontró que, principalmente, niños entre 3 y 4 años cursaron con mayor riesgo de padecer FHD y síndrome de choque por dengue, además de experimentar mayor morbimortalidad. Situaciones similares fueron observadas en Nicaragua en un estudio realizado en 2001, donde se reportaron casos de FD y FHD en lactantes de 4-9 meses y en niños de 5-9 años principalmente, donde las segundas infecciones por dengue incrementaron el riesgo

de gravedad en los niños. En Costa Rica, en 2007, el 50% de las defunciones por FHD/síndrome de choque por dengue ocurrió en niños menores de 3 años (cuatro casos). En Brasil, el porcentaje de hospitalizaciones por FHD en menores de 15 años aumentó de 9.5% en 1998a 46.2% en 2007 y 2008. En un brote epidémico que afectó a Río de Janeiro, el 88% de las muertes por FHD ocurrieron en jóvenes menores de 15 años. Asimismo, en Guatemala, en un informe emitido por la Universidad de San Carlos en 2010 se reportó que el 36.67% de los casos con FHD ocurrió en pacientes entre 11 y 20 años. Recientemente en Colombia se reportó una mayor mortalidad por dengue en niños de uno a 5 años, en comparación con los grupos de lactantes menores de un año y niños mayores de 5 años¹⁹. México no ha sido la excepción. La epidemia del DENV resurge a partir de 2002-2003 con epífcos aislados sobre todo en zonas urbanas. En 2002, se reporta por primera vez una tendencia de aumento de dengue infantil y juvenil. Para 2005 y 2007 se presentan epífcos fuertes en zonas rurales marginadas, saliéndose de control en 2009 con 120 nuevos municipios. Para 2012 y 2013 la zona centro del país estaba con nuevos brotes y 370 nuevos municipios en climas secos, muy lejos de la humedad del trópico y dónde jamás se había presentado esta enfermedad.

Mustafa et. al., Oficial Comandante, de la Organización de Salud de India, publica en 2015 en *Medical Journal Armed Forces India*; el descubrimiento del quinto serotipo del virus del dengue (DENV-5), que se aisló en octubre de 2013. Este serotipo sigue el ciclo selvático a diferencia de los otros cuatro serotipos que siguen el ciclo humano. El descubrimiento de DENV-5 y más de estas cepas selváticas en el futuro puede dificultar aún más la iniciativa de la Vacuna contra el Dengue. Se necesitan más estudios epidemiológicos y ecológicos para detectar cepas selváticas del dengue. Se necesitan urgentemente, estudios ecológicos (EcoSalud) para detectar la existencia de cepas de dengue selvático adicionales a otros hospederos (primates y murciélagos principalmente) y sus modos de transmisión

a los humanos, incluyendo el papel de los vectores implicados en la transmisión del dengue. El papel de la información, la educación y la comunicación será fundamental en el control del dengue (GeoSalud). Así la Vigilancia Epidemiológica no sólo enfrenta el reto de la notificación en tiempo real, sino de un nuevo paradigma (multi e interdisciplinario) que incluya innovación tecnológica. La ampliación hacia la Telemedicina y la Cibersalud serán vitales para llegar a las zonas más aisladas. Ya que como no es probable que esté disponible ninguna vacuna contra el dengue en el futuro cercano, las intervenciones integradas basadas en la participación social y comunitaria serán la clave para lograr un control sostenible del dengue.

Con base a lo anterior, se puede decir que la transformación del mundo en las últimas décadas, adquiere relevancia en el ámbito de la salud pública, debido a que, con apoyo de la Red de Telemedicina, se pueden acercar los especialistas de las distintas áreas médicas, por lo que resulta de particular interés, establecer la relación que se puede tener entre epidemiología, Internet y tecnologías web. Esta situación, origina el nacimiento de la Ciber-Salud, como una nueva área de la salud pública. Actualmente, la información enviada a través de Internet, permite emitir notificaciones y alertar de focos epidémicos, estableciendo un avance tecnológico para mejorar los sistemas de salud pública en el Mundo. Por otra parte, la vinculación entre el estado de salud personal y el espacio geográfico (ambiente) proporcionan un poderoso conjunto de información que los médicos pueden emplear para mejorar la atención hospitalaria. Como consecuencia de lo anterior, la "Geomedicina" como nuevo campo emergente del conocimiento científico, utiliza los datos espaciales en beneficio de la medicina humana.

En términos generales, se puede decir que la Geomedicina, se apoya en tres principios fundamentales: interdisciplinaridad; intersectorialidad y participación. Como método científico, involucra al medio ambiente, el ser humano y la salud

pública, dimensiones del conocimiento que al integrarlos, permite la toma de decisiones para una región específica. Dentro de este panorama, el presente libro de "Geomedicina y la tecnología espacial aplicada al caso de los vectores en salud humana", constituye un esfuerzo pionero de investigadores de diferentes campos de la ciencia, enfocados a comprender problemáticas de salud, relacionadas con la Geomedicina y la forma en que las temáticas propias de esta disciplina se pueden abordar.

En relación con la obra, esta se integra en cuatro grandes apartados y trece capítulos. El primer apartado, lo conforman dos capítulos: "Geomedicina y tecnología satelital aplicada a la vigilancia en salud pública y control de enfermedades transmisibles por vector" y "Geomedicina y Telemedicina, un Binomio Insoslayable", el primero de ellos pertenece a los autores: María Guadalupe Galindo Mendoza y Carlos Contreras Servín, mientras que el segundo es de la autoría de Juan Carlos Hernández Marroquin, ambos capítulos, constituyen una breve reflexión teórica-metodológica sobre la importancia y posibilidades de desarrollo de la Geomedicina.

El segundo apartado lo constituyen cinco capítulos sobre los siguientes temas: "Especiación y plasticidad en escenarios futuros: La diversificación de los vectores", escrito por Patricia Deniss Campos Ibarra, Luis Alberto Olvera Vargas y Ángel González Canuto; "El Impacto Ambiental como causa de la emergencia de enfermedades transmitidas por vector" de Ángel Santiago González Canuto; "Ecología química de *Aedes aegypti* Lunneus (Diptera: Culicidae) Principal vector de Dengue, Chikungunya y Zika de la autoría de José Luis Torres Estrada; "Ficha técnica del vector *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762)"; "Ficha técnica del vector *Aedes albopictus*" ambos capítulos de los autores Patricia Denisse Campos Ibarra, María Guadalupe Galindo Mendoza, Carlos Contreras Servín y Raúl Gonzales Montero. El propósito de estos cinco capítulos, es resaltar las enfermedades transmitidas por vectores, particularmente por insectos hematófagos, como

son el caso de los mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, responsables de la trasmisión del Dengue, Chikungunya y Zika.

El tercer apartado, lo forman tres capítulos: "Modelado ecobiogeográfico para la espacialización de la distribución potencial de vectores transmisores de Dengue de Patricia Deniss Campos Ibarra y Luis Alberto Olvera Vargas; "Modelo Socio-ecológico para el estudio de *Aedes aegypti*: Una mirada a la situación del Dengue", el Zika y el Chikungunya en Puerto Rico de José Seguinot Barbosa, Johel Padilla Villanueva, Gloriel Ramos y Jorge Cosme López; "Cambio climático y escenarios futuros de la expansión del Dengue en México" de Carlos Contreras Servín, Alejandro Tovar García y Ma. Guadalupe Galindo Mendoza. El objetivo de esta apartado, es la de mostrar como el impacto ambiental a los ecosistemas tiene repercusiones en la salud humana, como consecuencia de la transformación del paisaje y el cambio climático, circunstancias que han provocado la modificación en la distribución habitual de las plagas y enfermedades.

El cuarto y último aparta del libro, lo integran los capítulos: "La resistencia a insecticidas en el control de vectores de enfermedades emergentes" de Patricia Penilla Navarro, Américo D. Rodríguez; "Desarrollo de mapas de idoneidad del hábitat de triatomíneos, vectores de la enfermedad de Chagas, en México usando SIG y métodos estadísticos" de Hugo Medina Garza, Carlos Contreras Servín, Ma. Guadalupe Galindo Mendoza, Beatriz E. Arreola Martínez y Alejandro Tovar García; "Modelo de participación social a través de metodologías participativas en el marco de la Geomedicina aplicada a vectores" de Claudia Leticia Hernández, María Guadalupe Galindo Mendoza, Julio Cesar Hernández Montes y Héctor Alejandro Torres Briones. La finalidad de estos tres capítulos, es la de proponer diferentes metodologías como alternativa, a la resistencia a insecticidas de los vectores responsables de la trasmisión de enfermedades, la utilidad de los mapas y los patrones espaciales, en el caso de la enfermedad de Chagas en México y la impor-

tancia de la educación popular, para la construcción de metodologías participativas aplicadas a vectores en el marco de la geomedicina.

Como se puede observar, en estos trece capítulos y cuatro grandes apartados del libro, se pretende dar a conocer diferentes enfoques de la geografía, la antropología, la biología, la medicina, informática y la geomática, bajo una visión multidisciplinaria sobre el campo de estudio de la "Geomedicina" y particularmente sobre los vectores que transmiten el Dengue, Zika y Chikungunya. Finalmente, no nos queda más que esperar que la obra sea de utilidad y agrado de los lectores.

**María Guadalupe Galindo Mendoza y
Carlos Contreras Servín**
Coordinadores del libro.

PRIMERA PARTE

GEOMEDICINA Y TECNOLOGÍA SATELITAL APLICADA A LA VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA Y CONTROL DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES POR VECTOR

María Guadalupe Galindo Mendoza
Carlos Contreras Servín

Antecedentes.

Desde que epidemias de impacto mundial reciente como los brotes del síndrome respiratorio agudo severo (SRAS) en 2003, el H1N1 en 2009, Ébola (EVE), Chikungunya y Zika en 2015 (OMS, 2016), se establecieron con urgencia mecanismos para apoyar la vigilancia y el control de enfermedades infecciosas, ya sea de tipo informático, y a través de medios de comunicación (Smolinski, *et. al.* 2003; Cheong-wai, 2007; Jin-feng Wang, 2007). Desde 1967 se han identificado al menos 39 agentes patógenos nuevos (en su mayoría zoonóticos), entre ellos el VIH, virus Nipah, síndrome pulmonar de Hantavirus, la fiebre de Marburgo y MERS (con cepas resistentes a los fármacos que representan otro desafío significativo), que se incluyen en el inventario epidemiológico junto con más de 250 enfermedades transmisibles identificadas en todo el mundo, incluidos aquellos trastornos considerados raros o exóticos (Chin, 2001). Hace tan solo unas décadas, el impresionante avance científico alcanzado en el campo de la detección, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, nos hizo pensar que en esta centuria las enfermedades transmisibles pasarían a ser parte de la historia del siglo XX; pero la realidad es que los problemas que ellas generan todavía están lejos de ser resueltos. Es así que, a partir de 1990, el control de las enfermedades transmisibles ha suscitado un interés y apoyo crecientes, no sólo por la aparición de estas nuevas enfermedades sino por la reaparición de muchas de ellas (re-emergentes) como el Paludismo y la Tuberculosis, y por la amenaza creciente del terrorismo biológico (Gubler, 1998; Smolinski, *et. al.*; 2003). Propiciado en parte, por el uso de

antimicrobianos, plaguicidas y el control biológico de manera constante, lo que ha provocado a su vez cambios en patógenos, huéspedes y en los sistemas ecológicos (Knobler *et. al.*, 2003). La OMS (2016), determina que las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas, y provocan cada año más de 1 millón de defunciones (aún no está cuantificado el nivel de morbilidad –incluyendo la discapacidad– así como su traslape con otras enfermedades). Más de 2,500 millones de personas, en más de 100 países, corren el riesgo de contraer dengue por ejemplo. Cada año, el paludismo provoca más de 400,000 defunciones en todo el mundo, la mayor parte de ellas entre niños menores de cinco años. La malaria provoca 19 millones de AVAD (años de vida ajustados en función de la discapacidad); provocada en gran medida por deficiencias en el abastecimiento de agua en la vivienda y en la ordenación del uso de la tierra, que impiden reducir efectivamente las poblaciones de vectores. Se suman 12.6 millones de habitantes enfermos por impacto ambiental. Estas enfermedades (por vector y ambientales) reciben poca atención y se ven postergadas en las prioridades de la salud pública porque los afectados carecen de influencia política; en contraste con los 49 millones de enfermos por estilo de vida, que son los que reciben mayor atención y financiamiento (OMS, 2006; OPS, 2017). Sin embargo, la información reportada por enfermedades por vector y zoonóticas a los organismos nacionales e internacionales, dista mucho de la realidad local y domiciliaria (WHO; 2014; Xiao-Xu *et. al.*, 2014). La inexistencia de estadísticas fiables también ha dificultado los esfuerzos por

sacarlas de las sombras (Poh-Lai and Mak; 2007); entre esas enfermedades cabe destacar el Dengue, la Rabia, el Tracoma causante de ceguera, la úlcera de Buruli, las Treponematosis endémicas (pian), la Lepra (enfermedad de Hansen), la enfermedad de Chagas, la Tripanosomiasis africana humana (enfermedad del sueño), la Leishmaniasis, la Cisticercosis, la Dracunculosis (enfermedad del gusano de Guinea), la Equinococosis, las infecciones por trematodos transmitidas por los alimentos, la Filariasis linfática, la Oncocercosis (ceguera de los ríos), la Esquistosomiasis (Bilharziasis) y las Helmintiasis transmitidas por el suelo (gusanos intestinales; Prüss-Üstün and Corvalán; 2006; Ngai Sze Wong; 2007; OMS; 2007). La distribución de estas enfermedades está determinada por una compleja dinámica de factores medioambientales y sociales en las últimas tres décadas: a) la globalización de los desplazamientos y del comercio, b) la urbanización no planificada y c) el impacto ambiental a través de la deforestación y el cambio climático, lo que transformo a las denominadas enfermedades tropicales, *al quebrantar su determinismo geográfico*, ya que a partir del siglo XXI las enfermedades transmitidas por vector (ETV) se difundieron hacia latitudes más allá del Ecuador y los Trópicos, llegando incluso a ser epífcos severos más allá del paralelo de 30 grados (tanto en latitudes Norte y Sur) y hacia regiones de climas secos y desérticos de ciudades medias principalmente. Enfrentamos mayor plasticidad, adaptación y evolución de la micro-fauna (virus, bacterias, hongos e insectos; Wilcox y Colwell, 2005; Thomson *et. al.*, 2008; Weaver and Vasilakis; 2009; Zinsstag, *et. al.*, 2015). Asimismo, el número creciente y el posible hacinamiento de muchas poblaciones humanas facilitan la difusión de enfermedades transmisibles de una persona a otra. Estos factores también pueden contribuir a provocar cambios epidemiológicos o a exacerbar la virulencia de algunos agentes infecciosos. Además, la expansión de algunas poblaciones hacia nuevos nichos ecológicos puede poner a la gente en contacto con nuevos microorganismos potencialmente patógenos, y originar problemas relacionados con enfermedades de

aparición reciente; el ejemplo más representativo es la gripe aviar, donde sus hospederos (pollos, patos, cerdos y seres humanos) conviven en lugares estrechos y hacinados y con las condiciones ambientales para su dispersión y difusión (Daszak, 2001; OMS, 2016). En el caso mexicano, el 77.8% de la población ya vive en zonas urbanas y sólo el 22.2% es rural (INEGI, 2015). Los nuevos cambios desde 1990, en la dinámica del crecimiento urbano en México, indican que, por un lado, las grandes zonas rurales disminuyen su crecimiento de población, a favor de las localidades urbanas, localizadas dentro de su área de influencia; y por otro lado, las ciudades medias o intermedias, se caracterizan por ser los centros urbanos de mayor crecimiento demográfico (Álvarez, 2010; Aguilar, 2010; Graizbord, 2015). Este patrón de urbanización se ha mantenido a lo largo del siglo XX, y continúa hasta los primeros años del siglo XXI. Ya sólo el 25% de la población vive en zonas rurales, en base a actividades agropecuarias y mineras y que comparten frontera con Áreas Naturales Protegidas (ANP) que determinan una nueva relación naturaleza-sociedad, ya que son áreas fragmentadas o modificadas (con altas pérdidas de biodiversidad faunística y florísticas) y sufren el efecto el cambio climático, lo que conlleva a elevar condiciones de enfermedades tanto crónico degenerativas por el uso de agroquímicos como nuevas enfermedades zoonóticas. El traspasado es el vínculo (y se ha trastocado) hoy, representa una zona de alto riesgo como epífcico de nuevas epidemias y virus liberados desde áreas boscosas y selváticas que llegan rápidamente a las zonas peri-urbanas a través del turismo y viajes comerciales (Knobler, *et. al.*, 2003; Marvier, *et. al.*, 2004; Baker; 2015). Así la forma de enfermar y morir ahora, está determinada por diversos procesos de cambio. Los retos para la primera parte del presente siglo XXI será enfrentar las transiciones demográficas, de riesgos, tecnológica y epidemiológica (González-Pier, *et. al.*, 2007; Kury, 2011; Kury, 2015 a y b) que contribuyen a agravar el problema de las ETV, ya que *“la propagación intencional de enfermedades amenaza la salud, la economía y la seguridad”* (OMS, 2006 y 2007).

En un esquema de prioridad nacional según la Secretaría de Salud las enfermedades transmisibles nuevas y re-emergentes serían están representadas en la Figura 1:



Figura 1. Algunos retos para la salud en México
Fuente: Kuri, (2015). Retos de la Salud Pública. ANMM. Ponencia.

Meses después a esta ponencia ya se reportaba la primera notificación por Zika en el país, que hasta el día de hoy presenta 7 mil 634 casos autóctonos y sólo un caso de microcefalia para éste mismo año (InDRE, 2017). Sin embargo, el AVAD que se enfrenta la población mexicana por esta afección, esta silenciada. El primer paso para controlar las ETV y reconocer la aparición de las nuevas es su detección e identificación inmediatas. Para ello, es esencial contar con un sistema organizado de vigilancia de las enfermedades prevalentes, conocidas y diagnosticadas, y de las nuevas y desconocidas. Desde la perspectiva oficial que hasta hoy prevalece, la vigilancia de la salud pública se define como la recopilación, el análisis y la difusión sistemática de todos los datos importantes para la prevención y el control de problemas de salud pública (SS, 1994); así mismo su base es la epidemiología, que se define como el estudio sistemático de los factores que determinan o influyen en las características y la prevalencia de una enfermedad o afección en la población (SS, 1994). Por consiguiente, para controlar cualquier enfermedad transmisible se necesita el conocimiento epidemiológico de la enfermedad, así como

datos fiables de vigilancia, que sean pertinentes en cuanto a su prevalencia y distribución. La notificación de las enfermedades transmisibles constituye solo una parte de cualquier sistema integral de vigilancia de la salud pública, pero carece de información ambiental (la forma de contagio y las características socio-ecológicas del paciente), del modo de vida del paciente y si tiene enfermedades sobrepuestas. Éste sistema de vigilancia epidemiológica (SVE) resulta de una visión muy positivista y lineal del sistema, donde la participación ciudadana y sobre todo el papel del paciente y su entorno es estática, reactiva y marginal. Lo más importante es transitar de un modelo pasivo y reactivo a un modelo dinámico, preventivo y síncrono, ya que lo más importante, es la forma y rapidez con que se difunde la información. Pasar de una vigilancia pasiva a una activa especializada es el reto de esta centuria. *“La presente vulnerabilidad general a estas amenazas exige solidaridad mundial para mejorar la seguridad. La seguridad sanitaria internacional es una aspiración colectiva y una responsabilidad recíproca. Las nuevas consignas son: diplomacia, cooperación, transparencia y preparación.”* (OMC; 2007). Gobiernos y público en general se han vuelto muy conscientes de la importancia de información oportuna y precisa. Dicha información debe ser confiable y de fácil acceso para la toma decisiones y respuestas rápidas (Jin-feng Wang, 2007; Ngai Sze Wong, 2007). Hay una necesidad urgente, para que se pongan en marcha mecanismos para proporcionar a los tomadores de decisiones, una visión rápida de la situación epidemiológica que constantemente está cambiando. Sin embargo, también es necesario y urgente el empoderamiento de las comunidades y de los pacientes. Así, el sistema de vigilancia epidemiológico de vectores y enfermedades zoonóticas ciertamente, debe abarcar desde la escala de genomas hasta los ecosistemas regionales poblados por seres humanos y reservorios naturales (*sistemas socioecológicos*), y lo que Wilox y Colwell (2005) denominó *“biocomplejidad”*. Así se contemplan, diversos mecanismos y procesos de la *enfermedad-emergencia* que involucran múltiples factores desde los niveles

celulares y bioquímicos hasta macroespaciales cómo los patrones de circulación del aire y eventos climáticos y meteorológicos extremos, así como la ecología de los reservorios y vectores de los patógenos (comportamiento dinámico de los ecosistemas y con múltiples hospederos) y huéspedes (silvestres, domésticos y humanos); esto es, transitar a un sistema complejo aunado a la gran movilidad de población por turismo, negocios y migrantes (legales e ilegales) que son otra alerta para la seguridad sanitaria mundial (Berkes y Folke, 1998; Berkes et al., 2003; OPS-OMS, 2013, 2017). Es un marco verdaderamente holístico que se construye al incorporar factores relacionados con el ámbito socio-cultural para entender los procesos de distribución y difusión parte fundamental del análisis del riesgo. Deben trabajarse de forma integrada con los conceptos y metodologías integrales a la salud pública como *One Health* y Ecosalud (FAO-OIE-WHO, 2010) para conocer en su totalidad las causas y consecuencias de la prevalencia y establecimiento de la enfermedad (Aenishaenslin, *et. al.* 2013). La relación ambiente-salud o salud ambiental no sólo es de tipo toxicológico, sino es transversal a todo el sistema de salud mundial y más aún a ETV, ya que el riesgo ambiental que representan un desequilibrio ecológico en selvas y bosques representa hoy en día un riesgo a la salud humana (Myers, 2010; Wilcox y Colwell, 2005; Knobler, 2003; Daszak, *et. al.*, 2001). Hoy las áreas naturales protegidas (ANP) pueden ser reservorios de plagas y enfermedades de los humanos (zoonóticas y de vectores), para los agro-sistemas (agricultura y la ganadería) que tienen su interconexión en el traspasamiento, tanto a las áreas naturales como a zonas turísticas y comerciales, donde las especies invasoras y devastadoras, encuentran sus áreas de difusión, dispersión y nuevos nichos (Meade and Emech; 2010; Galindo *et. al.*, 2011 y 2014). Ahora bien, si los efectos visibles de este impacto es la deforestación a sistemas selváticos son evidentes (múltiples patógenos y vectores liberados hacia zonas antrópicas) esta no es la principal consecuencia de las ETV, sino es la **fragmentación** de las selvas, la principal causa del incremento de **epizoo-**

tias (Gillespie, 2012; figura 2) lo que acrecienta el riesgo de transmisión hacia humanos de enfermedades que son naturalmente zoonóticas (con solo ciclos selváticos de transmisión) y esto implica que no son sólo los Culícidos (los géneros Anopheles, Culex, Psorophora, Ochlerotatus, Aedes, Sabethes, Culiseta y Haemagogus (en la actualidad existen algo más de 3500 especies reconocidas), que compartimos humanos y fauna silvestre y doméstica como mamíferos (por lo menos 16 especies), primates (por lo menos 15 especies), murciélagos (por lo menos 8 especies), reptiles (por lo menos 8 especies; Gundersen y Holling, 2002; Weaver and Vasilakis; 2009). Por eso es fundamental determinar el área endémica para realizar la intervención que no sólo controle, sino que erradique tanto ciclo del virus como el control del vector. Generalmente la infección viene del epifoco rural, donde se comparten vectores silvestres y domésticos, así como hospederos. Sin embargo, es el que recibe la menor atención (menores recursos e investigación) y por ende no hay un protocolo de acción y/o atención sanitaria, sino hasta que llega a las zonas periurbanas y urbanas (figura 2).

Asimismo, otro punto fundamental de cambio y transformación en las últimas décadas, es la participación ciudadana que adquiere relevancia en el ámbito de la salud pública, y son el nuevo rol del paciente, como agente activo, gestor y generador de su salud. El lugar que ocupaban tradicionalmente la consulta y el profesional sanitario ante cualquier síntoma o signo de alarma, lo comienza a tener hoy día el autocuidado y otros recursos de información y formación sanitaria al alcance de los pacientes y la ciudadanía. El acceso a Internet se constituye como fuente inagotable de recursos de información sanitaria dirigida a pacientes y de herramientas de participación, con las redes sociales como enclave de intercambio de información y consejos prácticos entre pacientes, familiares y profesionales sanitarios (Fernández, 2013). La consideración de que los pacientes pueden ser expertos en su propia enfermedad posibilita una opción de participación real en salud, y de esta manera se

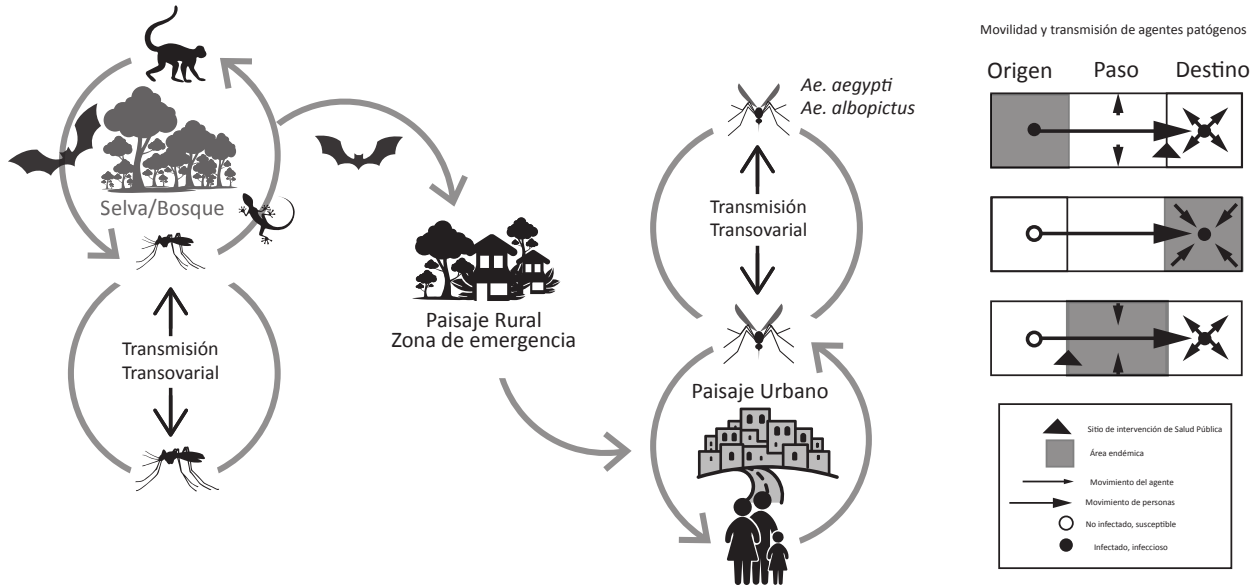


Figura 2. Ciclo biocomplejo, difusión e intervención en ETV

Fuente: Elaboración propia en base a Weaver and Vasilakis (2009); Meade and Emch (2010).

acepta que adopten un papel más activo en las decisiones sobre su salud, como ocurre en la toma de decisiones compartida, así como formando parte de iniciativas y de evaluaciones de acciones en salud pública y servicios sanitarios, lo implica a declarar que el siguiente cambio estructural que revolucionará nuestra sociedad es la relación médico-paciente.

Del hospital y la clínica a la Geomedicina y Telemedicina

De una muestra de 14 años (del 2000 al 2014), la Secretaría de Salud (SS, 2000-2014) a través de los CLUES (Clave Única de Establecimientos de Salud) se reconocen 91,929 casos de pacientes seropositivos a Dengue, 618 a Chagas; 1,559 a Malaria (paludismo), 1 caso de virus del Nilo y 465 enfermedades por vectores sin especificar (pueden ser incluso virus y vector nuevos en México). En el caso de Dengue, el sector salud especifica que 55,945 (61%) son dengue clásico (DENC) y 35,984 (39%) Dengue Hemorrágico (DENH). En este sentido, oficialmente no se especifica el serotipo (DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4). Cuando una persona se recupera de la infección adquiere inmunidad de por vida contra el serotipo en particular. Sin embargo, la inmunidad cruzada

a los otros serotipos es parcial y temporal. Las infecciones posteriores causadas por otros serotipos aumentan el riesgo de padecer el dengue grave. De aquí que debe especificarse en el historial clínico del paciente y en su registro en el marco de la vigilancia epidemiológica. Son más de 512 hospitales los que han registrado los casos seropositivos a nivel nacional, de los cuales el 76.5% de la atención a pacientes con dengue en México lo hace el Sistema de Seguro Popular (70,295 pacientes). Sin embargo, hay 37,487 pacientes donde no está especificado el hospital o clínica de atención y 9,824 pacientes donde se ignora por completo donde fueron atendidos (figura 3). Los grupos indígenas son ahora los más vulnerables y representan el 22% (26,680) de seropositivos, de los cuales son los mayas (55%; 1075 pacientes) tanto de Yucatán como de Quintana Roo lo que más registros presentan. Sólo el Hospital General Agustín O'Horán en Mérida, Yucatán, según la Secretaría de Salud (SS) atendió en 14 años más de 3,458 casos de dengue. Asimismo, el Hospital General de Cancún Dr. Jesús Kumate Rodríguez es el segundo a nivel nacional en atención a pacientes de dengue con más de 2,763 casos en el mismo periodo. Le sigue el grupo indígena zapoteco, sobre

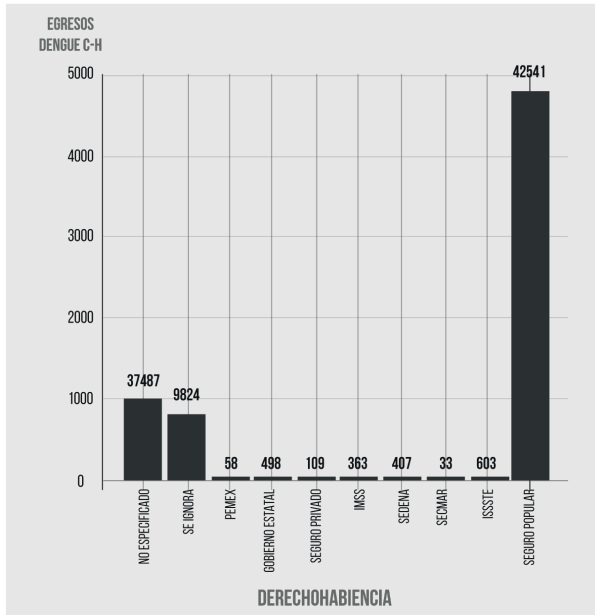


Figura 3. Pacientes seropositivos a dengue por tipo de derechohabientia 2000-2014

todo de la zona istmeña de Oaxaca. El Hospital de Juchitán Dr. Macedonio Benítez Fuentes atendió más de 1,984 pacientes seropositivos a dengue. El grupo indígena náhuatl es más difícil de rastrear ya que se distribuyen en 13 estados del país y los más afectados son los guerrerenses (39%), veracruzanos (34%) e hidalguenses (10%). Los Chinantecos son el siguiente grupo indígena más afectado sobre todo entre Oaxaca y Veracruz, así como los indígenas chiapanecos Tzeltal entre Chiapas y Tabasco (figuras 4 y 6).

Los hospitales regionales que atienden a esta población (la más vulnerable) son Hospital de Alta Especialidad de Veracruz (en la Cd. de Veracruz) 1884, Hospital General de Tapachula, Chiapas 1850, Hospital Regional Dr. Rafael Pascasio Gamboa de Tuxtla Gutierrez 1790, Dr. Jorge Soberon Aceveo 1552, Hospital Regional de Coatzacoalcos Dr. Valentín Gómez Farias 1539, Hospital de Minatitlan, Veracruz 1539. Las distancias de sus comunidades y sus traslados a zonas urbanas, evidencian de alguna forma la carencia de infraestructura hospitalaria, en zonas de alta marginación y pobreza a nivel nacional. Por la caracterización de los sistemas de ciudades tenemos 52,502 (57%) de los casos pacien-

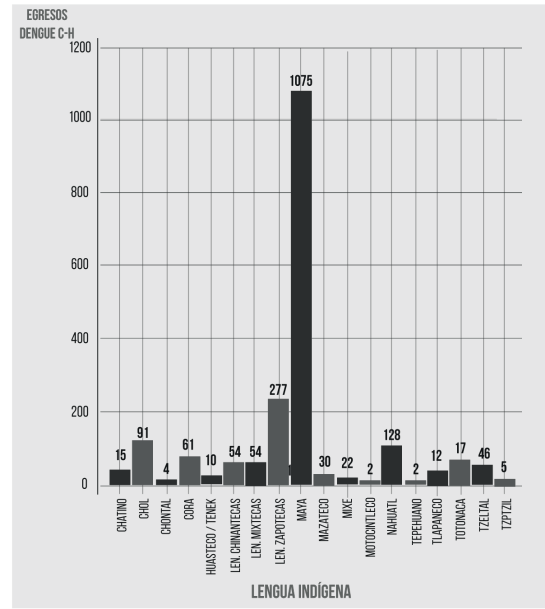
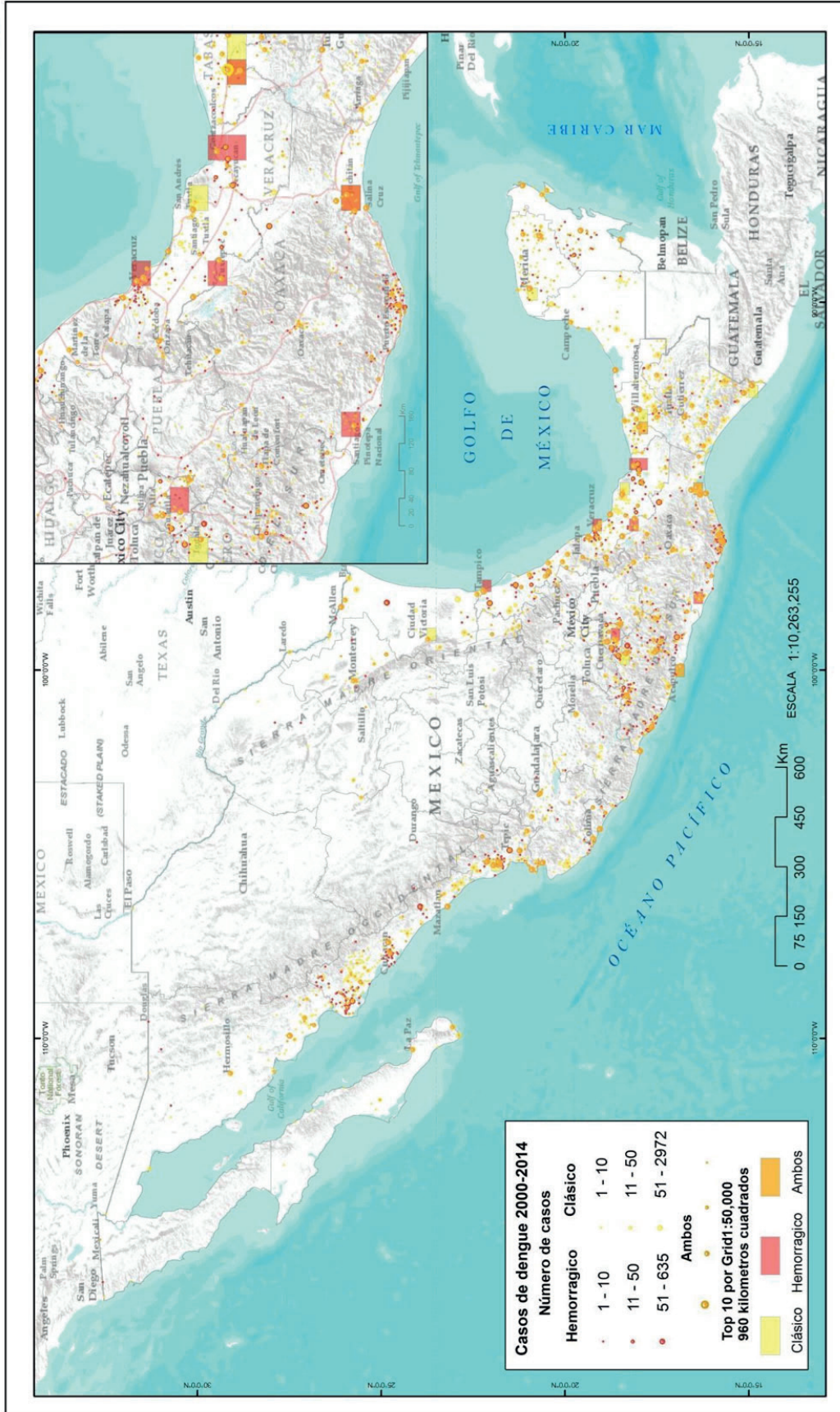


Figura 4. Pacientes seropositivos a dengue por lengua indígena 2000-2014

tes en zonas rurales y 39,169 (43%) de pacientes atendidos en zonas urbanas (figura 6). Son 5 ciudades (Juchitan, Tuxtepec, Coatzacoalcos, Puerto de Veracruz, Pinotepa Nacional y Cuautla) que concentran el 40% de dengue hemorrágico (figura 5), donde se acrecienta el problema por ser endémico y al parecer no hay forma de control. Todas las zonas costeras del país, tanto la del Golfo de México y el Caribe junto con el Pacífico hasta la Península de Baja California, ya son zonas endémicas de dengue y a partir del 2010 se empieza a extender hacia el centro del país y lugares donde no se habían presentado epifocos como son Querétaro, Guanajuato y las partes desérticas de Zacatecas, San Luis Potosí, Coahuila, Durango. El 73% (65,724) de los casos de dengue son endémicos de las zonas de climas cálidos (húmedos 67% y subhúmedos, 33%), mientras que el 13% (11,441) ya están presentes en los climas áridos (semiáridos 76% y muy secos 23%), y el 14% (13,228) están presentes en climas templados (húmedos y subhúmedos), que además rebasan altitudes de los 2600 a 3000 msnm. (figura 7). Entre 2000 al 2009 había 326 municipios afectados por dengue, para 2010 al 2014 se suman 819 municipios nuevos para un total de 2016 localidades en todo el país.



**CASOS ACUMULADOS DE DENGUE
CLÁSICO Y HEMORRÁGICO EN EL PERIODO 2000-2014**



LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO EN AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

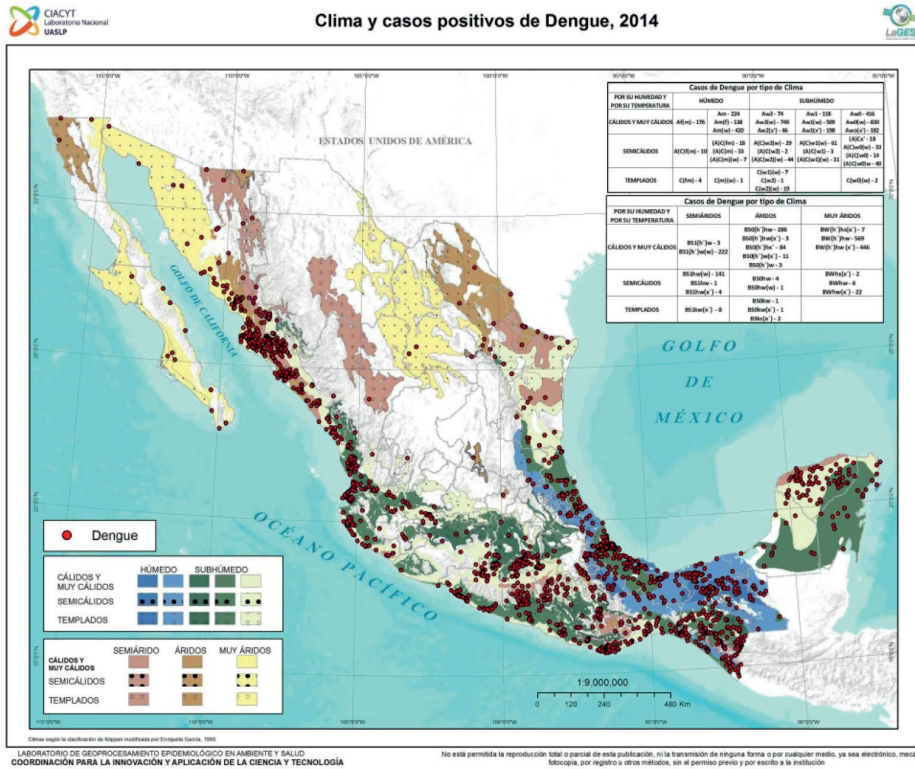


Figura 6. Seropositivos a dengue por tipo de clima en México

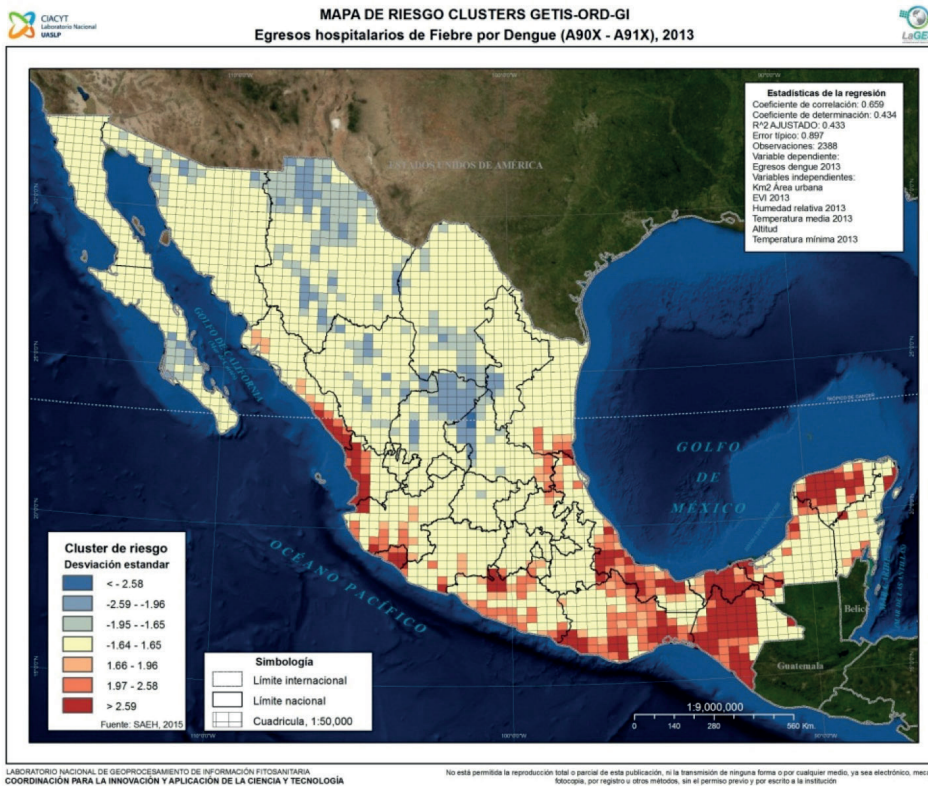


Figura 7. Mapa de riesgos y escenarios futuros de ETV en México

Las enfermedades sobrepuestas, esto es, las enfermedades que el paciente presenta previo al dengue son en términos generales (CLUES-SS, 2000-2014). No se habla de discapacidad o de muertes en ésta base de datos.

El nivel de riesgo por ETV presenta ya dos escenarios en México, que determinarían dos tipos de políticas de prevención, acción, difusión y comunicación que deberían ser implementadas mediante sistemas de Telemedicina y Ciber-Salud. No hay evidencias que el tratamiento se haga por consulta de telemedicina en el caso de Dengue, CHK o Zika, o ninguna enfermedad transmitida por vector o zoonóticas. La necesidad de acercar nuevas tecnologías de comunicación a los hospitales a través de la telemedicina es urgente. Desde el 2004 el Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud Federal, es responsable del Programa Nacional de Telemedicina y e-Salud en México (CENETEC, 2017). No hay una clasificación por endemismos que determine el tratamiento y planes de acción en las zonas endémicas y las nuevas zonas de invasión. Y a pesar de los enormes esfuerzos y especialistas en el campo, no hay una plataforma que determine las prioridades a nivel localidad. Además de que la capacitación a distancia en cuento a ETV sólo se limita a la identificación de síntomas, difusión visual pero no capacitación o incorporación del paciente al sistema de notificación. En sintonía con esto, el dialogo entre epidemiología y las herramientas web está llegando a otro nivel. Internet se ha convertido, en la actualidad, en fuente esencial de información sobre salud para profesionales y pacientes posicionando la web 2.0 en el primer plano de innovación en salud. (Fernández, 2013). Redes sociales en línea, como Facebook, Ttwitter, Flickr y YouTube, alcanzan más de un billón de usuarios y están transformando la sociedad, la manera como se comunica y la promoción de la salud. Del mismo modo, el uso extensivo de teléfonos inteligentes, iPod y tabletas ha llevado a otro nivel la apropiación de la información. Un ejemplo de todo esto es el uso de dispositivos móviles e

inalámbricos para el aprendizaje, es decir, el llamado *m-learning (mobile-learning)*, que encarna una nueva revolución, no solo tecnológica sino en el área de la experiencia pedagógica. Los seres humanos tenemos una increíble capacidad para generar información y más aún en la era de Internet. No solo es impresionante la capacidad para generar información, sino también la capacidad de procesar millones de datos simultáneamente, lo cual nos ha sumergido en la era del *big data*. Su misión es llamada minería de datos y el objetivo principal es usar algoritmos adecuados para identificar correlaciones ocultas en las masas de datos que no serían aparentes o posibles sin programas de computación. Por ejemplo, a través de un análisis de redes en un Sistema de información Geográfica, podemos determinar a partir de epífitos de dengue hemorrágico en Chiapas (tanto seropositivos en pacientes como en vectores) las rutas susceptibles y de alto riesgo para la difusión (si viaja un paciente seropositivo) o de distribución y dispersión del vector (seropositivo al patógeno; figura 8). Localiza las ciudades y localidades donde hay efectuar los planes de acción (a través de mensajes de texto y plataformas SIG-WEB síncronas) a los tomadores de decisiones e incluso empezar la capacitación y/o implementación de los simulacros epidemiológicos. Nos permite determinar áreas de influencia (buffer) para determinar localidades y población en riesgo, centros hospitalarios y unidades móviles que determinarán rutas de vigilancia epidemiológica y acciones directas para el control de los vectores. Para esto se apoyarán en catálogos especializados y de mapas que determinan las características del lugar (clima, vegetación, zonas prioritarias, etc.).

El tiempo que podría recorrer un autobús (con cuclido seropositivos dentro o pacientes infectados) de un brote de dengue en Chiapas, puede calcularse (a través de análisis de redes dentro del módulo Network Analyst de los sistemas de información geográfica-SIG-), así como las áreas que se afectarán por contacto en centrales de autobuses (figura 8) sobre todo en temporadas de alta influencia turística con altas tasas de incidencia-prevalencia y

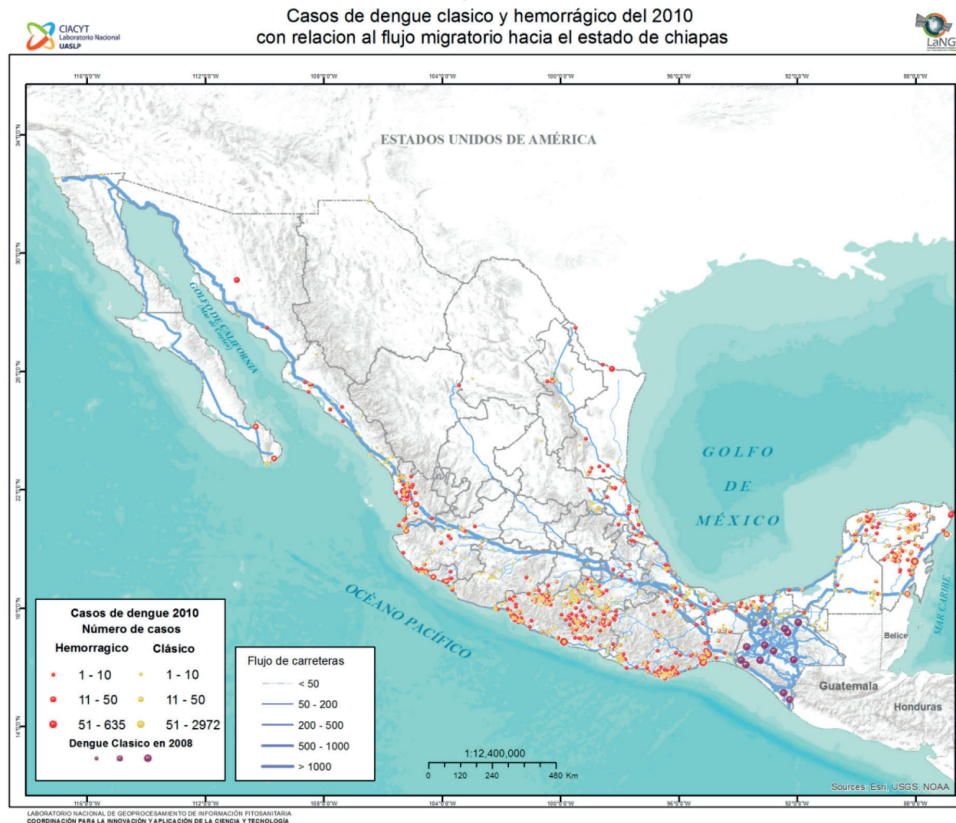


Figura 8.

con apoyo de la Red de Telemedicina, se pondrán en contacto los especialistas de las distintas áreas, sin embargo entre estos fenómenos hay uno particular que surge de la relación entre epidemiología, Internet y tecnologías web 2.0: el nacimiento de la CiberSalud (*eSalud* por si siglas en inglés), definida como un campo emergente en la intersección de la informática médica, salud pública y las iniciativas privadas, en referencia a los servicios de salud y la información entregada o mejoradas a través de Internet y las tecnologías relacionadas. Esta evolución en las tecnologías produce nuevas formas de relacionamiento social en espacios virtuales, haciendo que las relaciones personales sean más complejas, pero a su vez, más enriquecedoras, permitiendo mayor grado de intercambio e interacción. Así lo entendieron las naciones del mundo cuando en 1948, a través de constitución de la OMS, definieron salud como "... un estado de completo bienestar físico, psíquico y social y no meramente la ausencia de enfermedad o discapacidad". La OMS (2004^a y b; 2006; 2007) y la OPS (2013; 2017). Coinciden en conceptualizar a la ciber salud

como el uso de las tecnologías de información y comunicación para fomentar la salud, ya sea in situ o a distancia; brinda hoy una oportunidad única para el progreso de la salud pública; fortalecer los sistemas sanitarios mediante la ciber salud y poder garantizar derechos humanos fundamentales: mejorar los niveles de equidad y solidaridad, así como la calidad de vida y de la atención sanitaria". Hay que tratar de reducir la excesiva carga de morbilidad que lastra a los grupos vulnerables y marginados. Es fundamental invertir en el desarrollo de las infraestructuras tecnológicas de información y comunicación para ponerlas al servicio de la salud, y velar por el disfrute universal, equitativo y a precio asequible de las ventajas que ello trae consigo (Farmer, *et. al.*, 2010). Las cuestiones de orden ético, relativas a la confidencialidad de los datos, la dignidad y la privacidad, conciernen a todos los países. Habida cuenta de las diferencias entre personas debidas a factores como la cultura, la educación, el idioma, el lugar geográfico, la capacidad física y mental, la edad o el sexo, es indispensable que se respeten los principios de equidad. Lejos de sus-

traer recursos destinados a satisfacer las necesidades sanitarias básicas de la gente, las tecnologías de información y comunicación deben servir para extraer el máximo provecho de los escasos recursos disponibles (OMS; 2004 a y b). Es de sobra conocido, además, que cada vez más, los pacientes buscan información clínica en la red de una manera activa, tanto para profundizar en sus problemas de salud o patologías, como incluso para cuestionar tratamientos o recomendaciones de profesionales. Este tipo de paciente supone un reto en sí mismo, ya que, si bien este papel activo debe considerarse positivo **“Paciente Empoderado”**, también entraña un importante riesgo potencial de basar su actitud, en información sin base científica o que pudiera ser incluso fraudulenta. Asimismo, son los pacientes y las comunidades tanto urbanas como rurales, los que también pueden generar información y emitir notificaciones y alertar de focos epidémicos que junto con la evolución de los servicios que brindan los diferentes sistemas de salud en México, pueden constituir el modelo de salud pública más democrático y transparente que México requiere. La propuesta oficial sigue siendo una relación lineal de arriba hacia abajo, donde el centro del sistema sigue siendo el médico (figura 9). El paciente en éstas propuestas sigue esperando instrucciones dejando un sistema reactivo sin esbozo de prevención.

Así, la necesidad de crear nuevas metodologías de adquisición y tratamiento de datos e información de salud, vendrán acompañadas no sólo de la tecnología biomédica sino también acompañada de la tecnología espacial (incluidos los SIG). Sin embargo, muy poco ha impactado la espacialización de los datos en los protocolos de la OMS, tanto cuanto un sistema digital cartográfico que muestra los seropositivos de las enfermedades o la dispersión de los vectores, donde no hay generación de nueva información o modelos predictivos de dispersión y/o difusión para la toma de decisiones o en su caso el empoderamiento de los pacientes y sus comunidades. Dónde se ha tenido voz y propuestas incipientes es en la Organización Panamericana de la Salud que impulsó, en la década de los noventa, el empleo de los SIG en Salud en el marco de la creación del Programa Especial de Análisis de Salud (SHA). En las líneas de acción de éste programa se destaca la reorganización y funcionamiento de los servicios de epidemiología y estadísticas de salud donde se subraya la importancia del empleo de los SIG en epidemiología –mortalidad y morbilidad- SIG-EPI EpiMap y SiMap (OPS-OMS, 2017c), para contribuir al fortalecimiento de la capacidad de análisis epidemiológico de los trabajadores de la salud, proveyendo herramientas eficientes

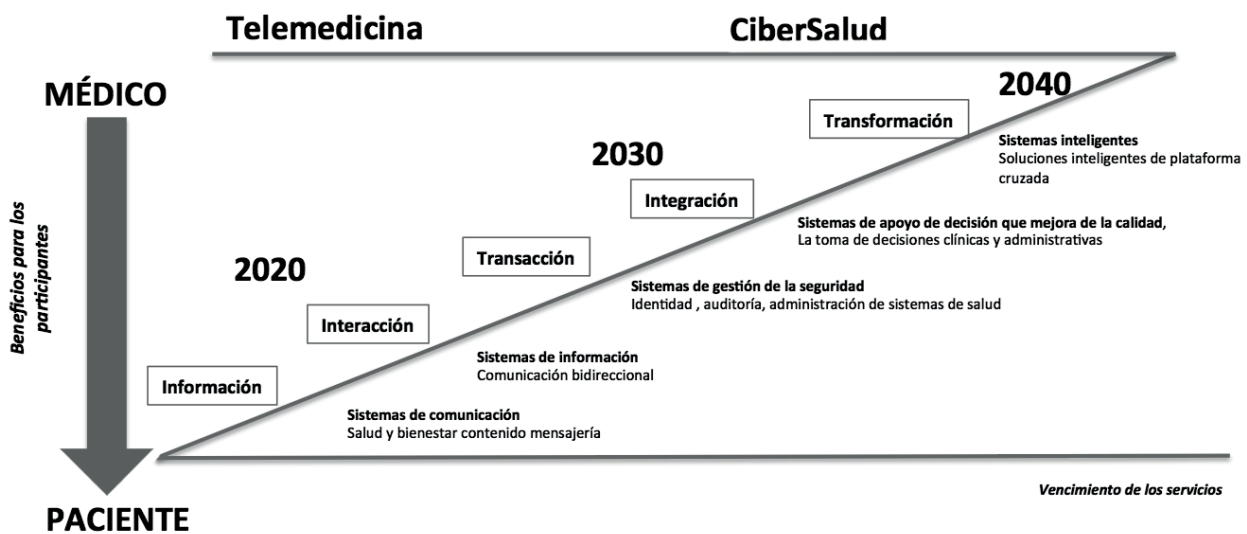


Figura 9. Procesos y sistemas de gestión-comunicación para la implementación de modelos de CiberSalud
Fuente: elaboración propia en base a

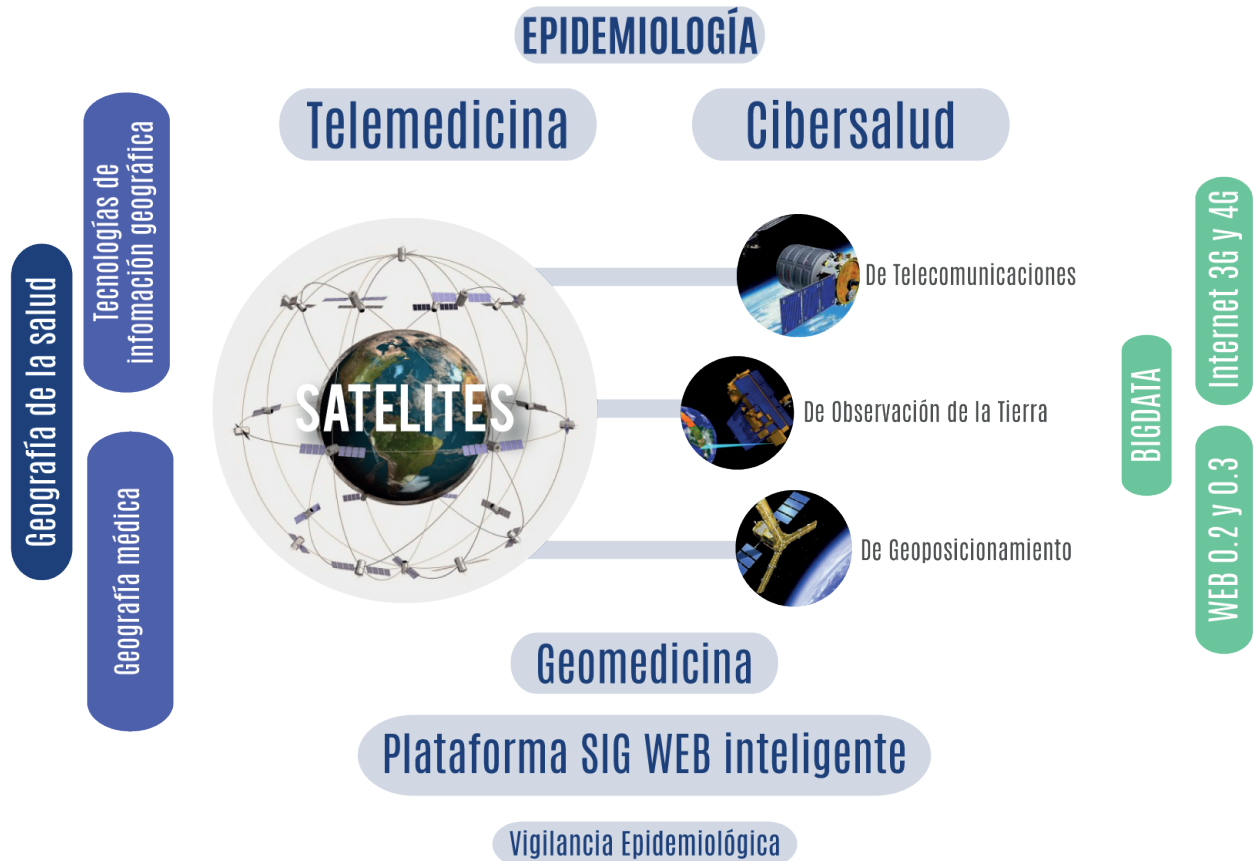


Figura 10. Transiciones epidemiológica y tecnológica
Fuente: Elaboración propia.

que faciliten dichas tareas en el análisis. Otro de los grandes programas-proyectos son GEOSa-lud: *Metodología para una evaluación integrada de medio ambiente y salud* (PNUMA-OPS-OMS, 2009). Iniciativa motivada por la declaración de los Ministros de Medio Ambiente y Salud de las Américas en Ottawa, en marzo 2002, en que se reafirmaron los compromisos establecidos en la Carta Panamericana sobre Salud y Medio Ambiente en el Desarrollo Sostenible y el respectivo Plan de Acción de Washington de 1995, como lo son: *“el valor, la importancia y la necesidad de que los sectores de la salud y del medio ambiente trabajen más de cerca en la definición de los problemas, la identificación de las soluciones y en la instrumentación de iniciativas conjuntas con la participación del sector público y el sector privado, así como de la sociedad civil”*. Hoy hay más evidencias científicas que en cualquier otro momento de la historia, que nos muestran las

interrelaciones nítidas entre la integridad ecosistémica y los servicios ambientales, y el bienestar humano y la calidad de vida de las personas, Esas pruebas de los vínculos socio-ambientales han comenzado a exigir la atención de diferentes actores de nuestra sociedad. La conciencia acerca de la drástica ampliación de las desigualdades e inequidades sociales y sanitarias de las poblaciones latinoamericanas, y la paulatina incorporación de enfoques emanados de la medicina social y de la salud colectiva, completan el contexto favorable para el protagonismo de la localización, la distribución, la diferenciación espacial y territorial, orientado por nuevos objetivos prioritarios: la estratificación la tipificación o la focalización espacial de problemas y necesidades en salud. Sin embargo, será necesario incluir tecnología geoespacial (sistemas de información geográfica, percepción remota y GPS) al sistema tanto de telemedicina como cibersalud

desde la perspectiva de la biocomplejidad sanitaria (figura 10). Hasta el momento, todas estas tecnologías se han empleado de forma aislada, pero es precisamente la integración la que potencializa su uso y aplicación y sobre todo a la resolución de problemas sin gastos económicos que mejoran la toma de decisiones. Lo que sería parte de los nuevos paradigmas en salud pública y medicina traslacional.

Su salud depende de muchos factores: genética, acceso a los servicios de salud, si usted hace ejercicio o no, cuántas frutas y verduras usted come, etc. Pero hay otro determinante muy importante de la salud a menudo ignorado, y ahí es donde vivimos. Ocupamos diferentes lugares del mundo (zonas urbanas y rurales), y en el transcurso de nuestra vida cotidiana nos movemos de un lugar a otro (el lugar que vivimos, el lugar donde trabajamos / vamos a la escuela, los lugares que recreamos), y estos lugares tienen un impacto sustancial en nuestra salud. En resumen, nuestra "salud" y nuestras "geografías" están inextricablemente ligadas. Esto significa que la evidencia debe contribuir a que las personas vivan más y mejor, es decir, debe contribuir a reducir las tasas de mortalidad y morbilidad; los beneficios de la evidencia han de superar los costes (riesgos y daños humanos y materiales). Hay que desechar aquellas evidencias en las que los beneficios dejan de ser rentables por culpa de los costes. La tecnología SIG tiene la capacidad de arrojar luz sobre ciertos patrones espaciales de salud y morbilidad. La vinculación entre el estado de salud personal y el espacio geográfico (ambiente) proporcionan un poderoso conjunto de información médica que los profesionales pueden utilizar para mejorar la calidad de la atención. El campo emergente de la GeoMedicina producirá un nuevo tipo de "medicina inteligente" que aprovechará las infraestructuras nacionales de datos espaciales en beneficio de la salud humana personal. En la actualidad, muy poca información geográfica relevante se consulta para la salud humana. El médico (general o especialista) no se dispone de éste tipo de información en el momento

del diagnóstico, y ciertamente no es una parte típica de una historia clínica completa. La GeoMedicina utiliza geotecnología de la información para ofrecer información sobre un paciente de exposiciones ambientales potenciales en las manos del médico mientras que están en la sala de examen y diagnóstico lo que conlleva a una mayor precisión clínica comprensión de los vínculos entre la salud y la vida cotidiana. A través de geotecnologías: Sistemas de información Geográfica (SIG), Percepción Remota o imágenes de satélite (PR), geoposicionadores (GPS o Smartphone), junto con el análisis espacial, integran la tecnología hardware, software y datos para capturar, gestionar, analizar, y visualizar de todas las formas de información geográficamente referenciada a la comunidad donde vive el paciente. Los SIG nos permiten ver, entender, cuestionar, interpretar y visualizar los datos de muchas maneras que revelan las relaciones, patrones, y las tendencias en forma de mapas, informes y gráficos; además de ayudar a responder preguntas y resolver problemas mirando el comportamiento de los datos de manera que se entiendan de forma rápida. Los SIG como otros sistemas de información, deben ser vistos en el contexto de la sociedad de la información y su rápido tratamiento de cara a contestar preguntas y facilitar la toma de decisiones.

La GeoMedicina cómo metodología de innovación tecnológica de integración en vigilancia de vectores en salud humana

Una de las razones de la complejidad de la puesta en marcha de un SIG es que este es un proceso necesariamente político, en el sentido que atañe a la interrelación entre personas, entre departamentos y entre instituciones. En primera instancia, la adopción de una nueva tecnología suele significar que sus usuarios deben aprender a realizar las tareas de una manera diferente. Cualquier organización debe evolucionar para ampliar satisfactoriamente una nueva tecnología, pero cuando es tan "reactiva" y corporativa como el SIG, el grado de innovación puede llegar a modificar el funcionamiento general de toda organización. (Comas y Ruiz; 1993). Con

una historia corta de sólo 10 años, la integración de Internet y las geotecnologías (SIG-PR-GPS) ha producido una zona en expansión de la investigación a que se refiere como GIS basado en Web (Internet SIG, GIS on-line, e Internet GIServices; Kraak, 2004; Dragicevic, 2004; Dragicevic and Shivanand, 2004; Sakamoto and Fukui, 2004; Chandra and Ghosh, 2006). Los primeros resultados se basan en la difusión de mapas estáticos o mapas interactivos con funciones pan-selección-zoom (primer nivel del análisis espacial; Comas y Ruiz; 1993), soporte para cliente/diseños de servidores cartográficos avanzados y herramientas de geo-visualización (Kraak and Ormeling, 2010). Esto ha creado nuevas oportunidades de investigación en Información Geográfica, lo que ha mejorado el uso abierto de los SIG en tres direcciones principales: a) acceso espacial y difusión de datos; b) la exploración de datos espaciales y geo-visualization, y c) procesamiento espacial de datos, análisis y modelado -minería de datos (Cheong-wai Tsoi, 2007, Buzai, 2015). Lo más importante de esta segunda etapa de desarrollo del análisis espacial en WEB (de segundo y tercer nivel de análisis espacial; Comas y Ruiz, 1993; Galindo y González, 2014) es el acceso de datos espaciales y de mapas como elementos indispensables en la planeación estratégica y la toma de decisiones en tiempo real, además de la transparencia y democratización de la información tanto espacial como no espacial (incluso de planeación financiera y la evaluación de políticas de prevención). El mapa ahora es dinámico, interactivo y accesible a una amplia selección de usuarios y como una herramienta de comunicación visual. Todos éstos desarrollos informáticos, de comunicación y geotecnológicos, se han aplicado para enfrentar la realidad en tiempo cuasi-real y poder afrontar la toma de decisiones con menor incertidumbre, pero, sobre todo, con menores costos de inversión (Tomilson; 2007; Li, et.al., 2011). **Un mapa inteligente** (McLafferty, 2003; Ngai Sze Wong, et. al., 2007) determina y señala activamente la información geo-relacionada que permite al usuario explorar y encontrar información relevante en un contexto determinado. Los ma-

pas inteligentes sirven como pieza central de la gráfica en los portales de información WEB. Ofrecen las ayudas visuales a los usuarios al navegar en espacios de información de dominio específico. Y si a esto agregamos la información obtenida en tiempo real (síncrona o cuasi-real), a través de puntos fijos (líneas o polígonos o imágenes de satélite) como las estaciones climáticas, el monitoreo en campo (de tipos de vivienda, actividades económicas, equipamiento e infraestructura, caracterización del traspatio y discapacidad-enfermedades-defunciones) a través de enviar formatos QR vía INTERNET (mensajes de texto, bases de datos, historias de vida, registro clínico, fotografías con coordenadas georreferenciadas), y en ese mismo instante podamos hacer análisis o modelado de ese fenómeno, y sólo así podremos decir que estamos ante una plataforma **SIG-WEB Inteligente** (y que estamos haciendo Geomedicina) ya que tenemos la posibilidad de planificar acciones inmediatas o tomar decisiones estratégicas territoriales de manera síncrona y preventiva (Fu and Sun, 2011; Davis; 2007). La información entonces es *bidereccionada* y creada de ambos lados del modelo: a) información institucional científica y oficial y b) información creada por la sociedad civil (que se vuelve también) científica y oficial. Ésta segunda, cambia el modelo estático y lineal de la telemedicina y la ciber salud (Médico-Médico-Paciente o Médico-Paciente) a una realidad donde el paciente y su familia e incluso su comunidad son lo más importante (Paciente-Médico-Tomadores de decisiones). Las dos partes del sistema conocen y entienden tanto la estructura de la información de su entorno (paisaje epidemiológico) como la forma de notificar y emitir una alerta epidemiológica o de salud. Incluso de una consulta médica vía WEB con el apoyo de su historial clínico digital (Secretaría de Salud, 2011 a y b). Así se desarrollan capacidades de enfrentar de forma preventiva escenarios de alto riesgo y amenaza tanto en salud pública como epidemiológica en tiempo real. A la par, se efectúa el desarrollo del diagnóstico médico (apoyado en su historial clínico digital) donde la fortaleza descansa en la telemedicina

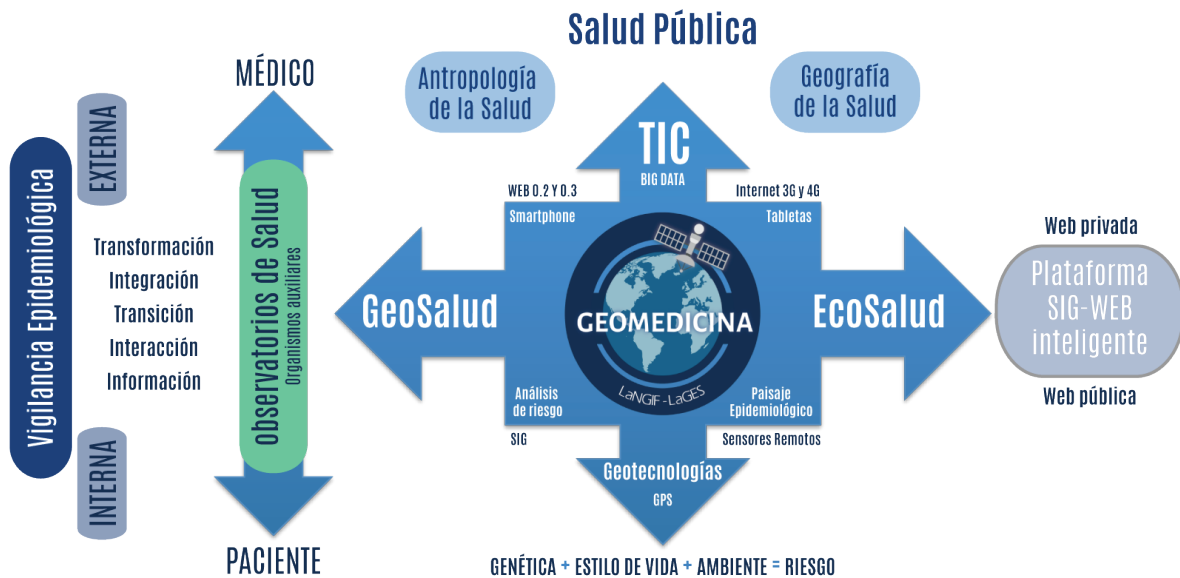
(cibersalud) y seguimiento por APK (o APP) a través de la figura del etnoinvestigador (elegido por la comunidad y capacitado de forma multidisciplinaria y nivel técnico de salud), el médico (profesional, servicio social, etc.) y coordinadores de apoyo del Comité de Vigilancia Epidemiológica (CVE; biólogos, antropólogos, geógrafos e informáticos) que centran su base de operaciones desde la clínica de salud y el observatorio de salud comunitario (OSC; que debe ser un organismo auxiliar descentralizado (Oropeza, 2010; WHO, 2014; SENASICA-SAGARPA, 2014, 2011 y 2016; OPS, 2017;SS; 2017). Éstos expertos técnicos de campo, podrán alimentar la plataforma SIG-WEB síncrona diariamente a través de políticas de vigilancia epidemiológica previamente consensadas (rutas de vigilancia, ruta de trapeo, comunidades y casas centinelas, área de exploración, muestreo, talleres de cartografía participativa (TCP), etc. (SINAVEF-SENASICA-SAGARPA, (2017); Galindo, *et. al.*, 2011). El resultado: análisis espacio temporales, análisis epidemiológicos y planeación estratégica semanal, así como emisión de notificaciones y alertas tempranas: climáticas -climatología médica-, epidemiológica –epifoco y brotes-, padecimientos y discapacidades, número de pacientes atendidos y calidad del servicio, así como la situación económica y psicosocial a nivel local, municipal, estatal y regional, es decir todo el análisis GeoMédico. Ejemplos de éstas plataformas ya están dentro de SENASICA-SAGARPA en México (tanto en sanidad vegetal y sanidad animal), con más de 4 mil técnicos en campo, más de 40 mil datos diarios y más de cinco modelos geoespaciales corriendo en tiempo real (Informes Técnicos... fuentes...), además de planes operativos de acción preventivos y de acción rápida, así como simulacros epidemiológicos. Toda la recopilación de información apoyados por Smartphone móviles y códigos QR; con un sistema de consulta en WEB pública y privada jerarquizada para los tomadores de decisiones (estratégicos y públicos en general) con la posibilidad de monitorear y actualizar la información de una manera constante por un lado, y por otro, crear sistemas de consulta en formatos digitales que faciliten la

labor científica a través de informes técnicos, Análisis Espacio Temporales (AET) y Análisis de Riesgo Epidemiológico (ARE), manuales operativos y programas de trabajo (SENASICA-SAGARPA, 2014). Contando con registros de rastreabilidad y trazabilidad en conjunto con laboratorios certificados y autorizados desde la Secretaría de Salud (muestras de sangre, orina; rayos x, imágenes ópticas etc.) y con la aplicación diagnósticos rápidos apoyados en APP enviados a través de datos conectados en códigos de barra o QR por cada paciente. La GeoMedicina y las plataformas SIG-WEB cumplen con todos estos objetivos. El observatorio de salud comunitario (OSC) debe ser la columna vertebral dentro del sistema tanto de Salud Pública como de Telemedicina, CyberSalud y GeoMedicina para el monitoreo de enfermedades transmitidas por vector y zoonóticas así como el seguimiento a pacientes y áreas epifocales (que funcionarían como organismos auxiliares descentralizados del gobierno federal), a través de un Comité de Salud Comunitario (con un consejo de juntas locales) donde el presidente, es un representante ciudadano de la comunidad y el secretario, un médico general (enfermera, técnico en salud comunitaria, etc.) y coordinado por una brigada especializada (geógrafos, antropólogos, biólogos, geomáticos y el etnoinvestigador; (OPS, 2017; SS, 2017). El OSC tiene como responsabilidades junto con el Comité de Salud Comunitario: a) Vigilar las tendencias de la salud y la enfermedad e identificar ámbitos en los que es preciso intervenir, b) Asesorar sobre métodos para evaluar el impacto en la salud y las desigualdades sanitarias; c) Aplicar nuevas formas de reunir datos de diversas fuentes para mejorar la salud; d) Llevar a cabo proyectos para identificar problemas de salud concretos; e) Evaluar los progresos realizados por los organismos locales en lo relativo a mejorar la salud y suprimir la desigualdad y f) Mirar al futuro para alertar tempranamente de futuros problemas de salud pública (WHO, 2014). Y podemos llegar a transformar el sistema de salud pública (información, interacción, transición, integración) acortando la mitad del tiempo (a 10 años) la implantación y modernización de los

sistemas de telemedicina y ciber salud previstas hacia 20 años, contando con información fidedigna y con menos inversión financiera (figura 9).

CONACyT, a través de los Fondos Sectoriales de la Agencia Espacial Mexicana y Secretaría de Comunicaciones y Transportes, financió el proyecto 262694 (2016) **“Plataforma de vigilancia sindrómica y alerta epidemiológica de vectores en salud humana apoyados en sensores remotos”** del cual resulta la plataforma de Vigilancia Sindrómica de Vectores en Salud Humana apoyados en Sensores Remotos denominada PAVES (SIG-WEB inteligente y PAVESmóvil; LaGES-UASLP-CONACyT, 2017) que dotará a los médicos (y especialistas) y a comunidades, de información y de conocimiento para ampliar el diagnóstico médico, con la capacidad de relacionarlo con las condiciones geográfico-ambientales y así precisar las decisiones clínicas. Así PAVES y la metodología propuesta desde la Geo-Medicina, se convierten en un instrumento capaz de evaluar la relación entre la salud del medio ambiente (urbano y rural) y la salud humana

por medio de una matriz de indicadores básicos, debidamente organizados, integrados y analizados con base en un marco lógico-conceptual sólido. A diferencia de los métodos multidisciplinarios, éste no se limita a presentar en un mismo informe, indicadores de medio ambiente e indicadores de salud, sino que se propone integrarlos sistemáticamente (ya que la diferencia será la información activa y participativa del paciente y su comunidad). La fortaleza de la propuesta es, justamente, la de ofrecer a los formuladores de políticas indicadores integrados de medio ambiente y salud contruidos de forma interdisciplinaria, intersectorial y participativa. Los indicadores integrados de medio ambiente y salud representan una valiosa (y novedosa) herramienta para orientar políticas públicas de fomento al desarrollo sostenible, a los ambientes saludables, a la promoción de la salud y a la participación ciudadana. PAVES (SCT-AEM-CONACyT-UASLP; figura 10), cuenta a la fecha con 30 millones de datos georreferenciados de 126 enfermedades (contagiosas y no contagiosas) y 800 mil datos de pacientes seropositivos a Dengue, Malaria, Chagas. Tiene la capacidad de ser



*De la salud Pública a la Salud personal
Empoderamiento del paciente y de la comunidad*

Figura 11. Conceptualización de la Geomedicina
Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Plataforma de vigilancia sindrómica de vectores en salud humana apoyados en sensores remotos (PAVES y PAVESmóvil).
Fuente: <http://>

alimentada en cualquier momento tanto por el sector oficial como de las comunidades y pacientes. Más un BD hemerográfica que se alimenta en tiempo real a través de un módulo de captura (georreferenciado) a nivel colonia y localidad. Cinco módulos de modelado epidemiológico, de análisis espacio temporales y de climatología médica (ENSO, huracanes -con pronósticos de dos a tres meses de anticipación-, temperatura y humedad por región epidemiológica), costos por paciente y por intervención hospitalaria, movilidad y difusión una vez detectado el brote (modelo de difusión), el módulo GEOsalud con más de 10 mil datos recogidos a nivel casa por el entoinvestigador así como cartografía epidemiológica de brote por domicilio. Más de 200 datos de EcoSalud a nivel de muestreo entomológico y su modelado ecobiogeográfico; relacionado con la biodiversidad (faunística y florística) de zona reportada; determinación y seguimiento (captura y muestreo) de hospederos primarios y secundarios de dengue (aparte de culícidos, hospederos secundarios como

murciélagos, marsupiales y reptiles). Con éstas variables y procesos (GeoSalud y EcoSalud) nos acercamos al modelo de "Una Sola Salud" (One Health; figura 10) que presenta la diversidad de vectores y hospederos para un solo virus o bacteria. Se presenta una sola base de datos con índices e indicadores que serán parte del diagnóstico médico local y se tomarán las decisiones de salud y de presupuesto, así como prioridades a nivel estatal y federal. Se desarrolla el concepto de comunidades informadas y empoderadas a través de procesos de metodologías cualitativas investigación acción participativa, una sociología sentipensante y educación popular (fuente...) evidenciada a través de Cartografía y SIG participativo para la definición de diagnósticos, notificaciones y alertas en enfermedades transmitidas por vector hasta las de estilo de vida (módulo de GeoSalud). El trabajo de brigadas en los observatorios de salud: geógrafos, geománticos, biólogos y antropólogos para el trabajo participativo y que alimenta el sistema de información PAVES a través de PAVESmóvil.

El concepto de ciudadano digital (e-participación), propicia que los propios ciudadanos, organizados en movimientos sociales o redes ciudadanas no sólo sean productores de información, sino que también entiendan y realicen las acciones preventivas puntuales o prolongadas en el tiempo (control cultural de las enfermedades), y a su vez se incentiven en la toma de decisiones públicas a la hora de evaluar la calidad y veracidad del servicio médico y del control que se toma a través de las acciones contra los vectores y la deschatarrización, por ejemplo (McCall, 2003; OMS, 2014). La red podría suponer un canal de comunicación interactiva y multidireccional entre representados y representantes que aumentaría la capacidad de información y comunicación en ambos sentidos, aumentando la transparencia de la información pública. La posibilidad de expresarse libremente en el mundo virtual hace que los ciudadanos también quieran hacerlo de igual manera en el mundo real. La cartografía participativa aspira a dotar a los miembros de la comunidad, las competencias y conocimientos necesarios para que sean capa-

ces de elaborar sus propios mapas y representar su propio “saber espacial”, tanto para su propio uso interno, como para transmitir este saber a otras personas ajenas a dicha comunidad. (FIDA, 2009). El desafío de la propuesta es, precisamente, la fragilidad de las capacidades instaladas en la región; con excepción de algunas pocas ciudades en México. El sistema de información de salud adolece de una dramática escasez de datos secundarios de medio ambiente y de salud, principalmente en áreas rurales, en pequeñas localidades y en territorios de interés socioambiental, donde está el 90% de los epifocos de Dengue, CHIK y Zika por ejemplo, y donde está precisamente la población desatendida. En esos casos, la GeoMedicina fortalece las capacidades locales, la utilización de indicadores proxy y –en los casos en los que resulte necesario– el método prevé la generación de datos primarios de fácil recolección y procesamiento.

Así se les da voz incluso a las enfermedades silenciosas (de la pobreza y la marginación) y la capacidad de evaluar mediante indicadores el



Figura 13. El dengue en mi comunidad

Fuente: Archivo fotográfico (2017). IAP-Taller de cartografía participativa, proyecto AEM-CONACyT-UASLP-LaGES 2016-2017. Febrero del 2017.

efecto de los problemas ambientales estudiados sobre la salud; adaptabilidad instrumental a las condiciones presupuestarias y a la capacidad tecnológica instalada en cada uno de los municipios y localidades de México. Al trabajar los talleres de cartografía participativa (por edad, género o comunitarios en el consenso), se propicia que se determinen las causas del problema, las variables sociales, económicas, políticas, culturales y ambientales que lo reproducen y la forma en que han enfrentado el proceso salud-enfermedad y las distintas formas de prevenirlo. La cartografía del territorio se propone como nuevo instrumento para la construcción de conocimiento desde la participación y el compromiso social, posibilitando una mirada inédita que hace visible lo invisible y posibilita la transformación de los territorios (figuras 11, 12 y 13). Contribuyendo de esta manera al empoderamiento ciudadano y comunitario, a través de la georreferenciación de su espacio por medio de estas aplicaciones de mapas on line. Unas aplicaciones que además de convertirse en canales para la transmisión de ideas, proyectos y propuestas de mejora, cuentan con el valor añadido que les otorga el carácter multimedia de la Red (con la posibilidad de incluir texto, imagen, sonido, vídeo, animaciones y cartografía), pero lo más importante es el mapa comunitario en línea (figuras 12 y 13), que enriquecen el discurso y por supuesto la base de datos epidemiológica. Los OSC y así como los TCP enriquecen por mucho éste proceso y focaliza además las necesidades de la comunidad. La figura del etnoinvestigador es clave, ya que es el que se queda en la comunidad a levantar información para enriquecer el sistema de vigilancia epidemiológica y enviarla

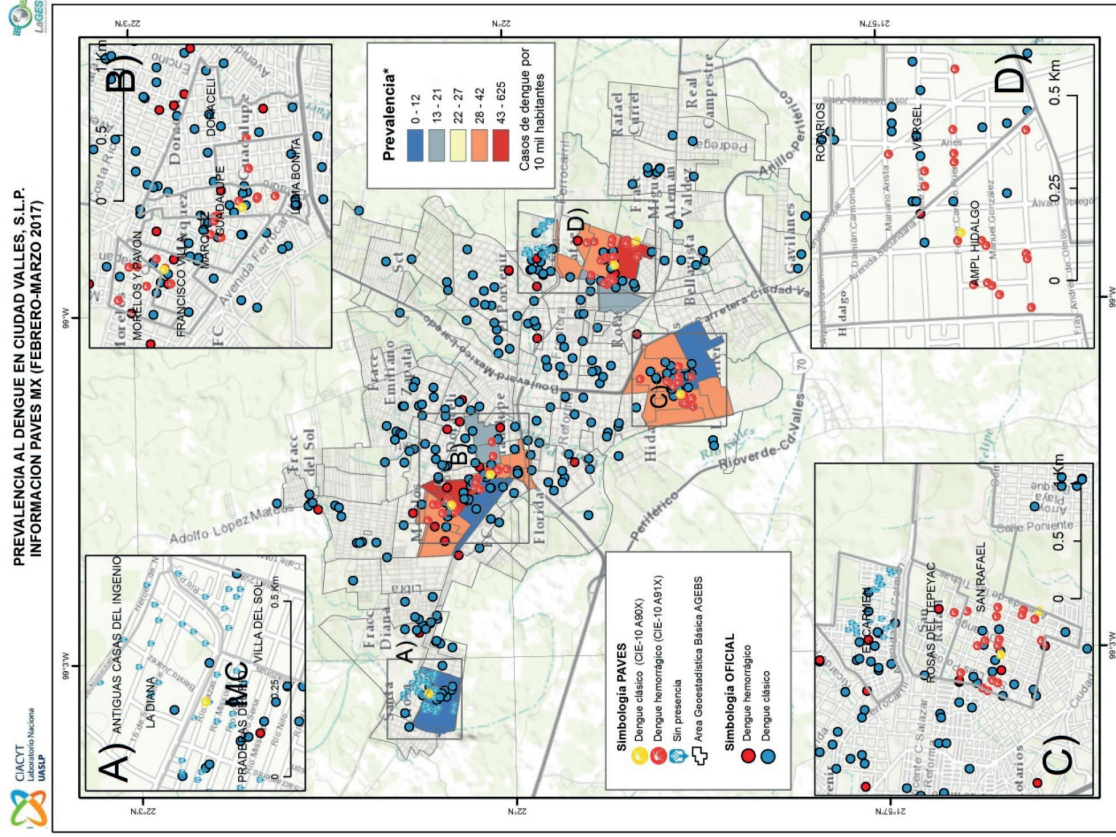
a través del smarthphone así como tener reuniones GoToWebinar o Skype (a distancia) cada semana para discutir esa información con los especialistas y tomadores de decisiones (Galindo, et. al; 2017). En el caso de Ciudad Valles, se produjeron más de 10 mil datos en sólo dos meses (enero y febrero del 2017), que confrontaron dos tipos de información (figuras 17 y 18): a) la oficial generada por SINAVE y b) la científica (CONA-CyT-AEM-UASLP, 262674-2016) generada a partir de la ruta de vigilancia y el censo por familia (domicilio) por el etnoinvestigador dirigido por el Laboratorio de Geoprocesamiento (LaGES) de la UASLP apoyado por PAVESmóvil. El resultado es contundente: SINAVE reporta 340 seropositivos en un periodo de cuatro años, mientras que el etnoinvestigador registro 184 pacientes seropositivos en dos meses (cuadro 2). Sin embargo, se debe mencionar que hay colonias referidas en los tres años por SINAVE de personas infectadas por dengue y que al hacer tanto el taller de cartografía participativa y corroborando con el etnoinvestigador, no se registró presencia histórica de la enfermedad y es importante ya que representa el 66% de la BD de PAVESmóvil (cuadro 2, figuras 14 y 15).

Las colonias dónde parece haber una incidencia y prevalencia alta para SINAVE es Antiguas casas del ingenio. Donde SINAVE reporta 30% de incidencia, mientras que LaGES-UASLP determina una incidencia del 1% y 36 registros levantados que determinan la no presencia del seropositivos en dicha colonia (figuras 17 y 18-cuadrante A-).

LaGES-UASLP reporta 15 colonias de alta prioridad (recuadros B, C, y D, figura 18) por la presen-

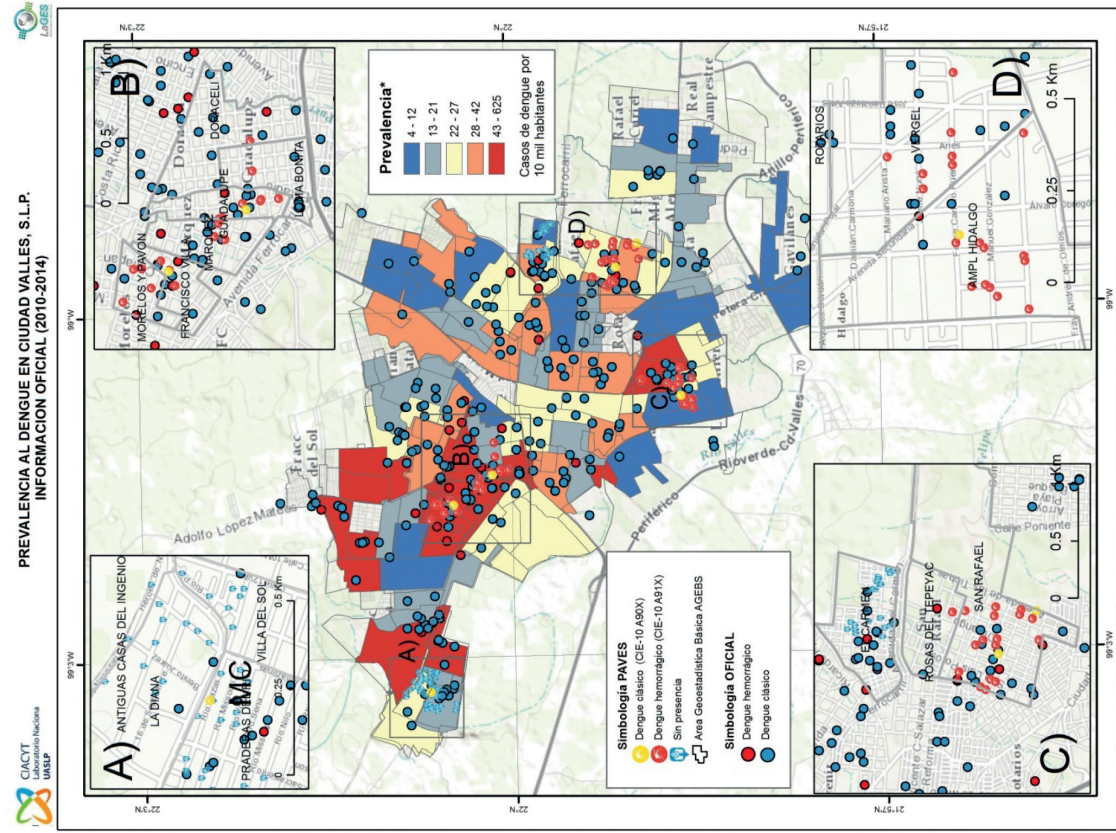
	Periodo	Número de datos	Dengue Clásico	Dengue Hemorrágico	Sin presencia
SINAVE	2010-2014	340	33	307	ND
LaGES-UASLP PAVESmóvil	enero y febrero 2017	184	7	56	121

Cuadro 2. BD PAVES y PAVESmóvil de seropositivos a nivel domiciliario en Cd. Valles, SLP e información oficial SINAVE-SLP.



LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLOGICO AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Figura 15.



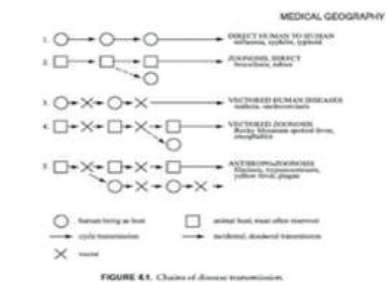
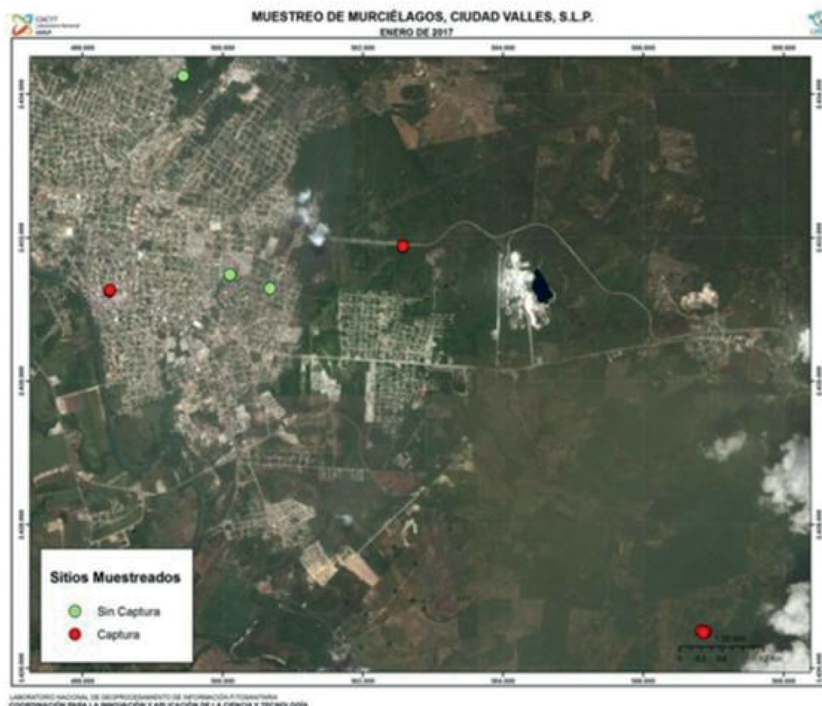
LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLOGICO AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Figura 14.

cia de dengue hemorrágico con una prevalencia del 60% por el total de AGEB, con un nivel de marginación muy alto, esto es, sin drenaje, sin agua potable, pero sobre todo con altas concentraciones de murciélagos (frugívoros, insectívoros y hematófagos) que pudieran estar compartiendo culícidos con la población y la fauna doméstica (figura 16). Éstas son los epífcos que debieran estarse monitoreando por semana y llevando acciones de control por parte de SINAVE. El 80% de éstas colonias presentan enfermedades sobrepuestas a Diabetes Mellitus 1 (55%) y Diabetes mellitus 2 (3%), hipertensos (14%) y desnutrición en niños (28%). Una población infantil de alta exposición (20%), población joven económicamente activa del 42% y población adulta de tercera edad del 38%. La preocupación mayor es, que dentro del módulo de EcoSalud, la información fue limitada en tanto recursos financieros y tiempo de la investigación, pero que es fundamental ya que cambiaría por completo la visión dentro de la política pública de la conservación-biodiversidad-salud

humana. La contundencia de éste módulo dentro de la visión de GeoMedicina y la salud pública de los vectores en salud humana determinaría dos elementos: a) seguir con la exploración de mayor número de hospederos secundarios (murciélagos, roedores y reptiles) que están dentro y fuera de la zona urbanas y periurbanas que son contiguas a las ANP y b) desarrollar los primeros modelos espaciales y espectrales para determinar los epífcos y lugares donde inicia el contagio.

En este proyecto se muestrearon 30 murciélagos (7 con referencias científicas de ser portadores del virus) de los cuales sólo uno se dio positivo a dengue y como nueva especie en la referencia científica a nivel nacional (*Mormoops megalophylla*, figura 16). Éstas especies fueron capturadas en Cd. Valles en zonas de traspatio, en el centro de ciudad (en cines, estacionamientos y desniveles de caminos, así como zonas periurbanas de la ciudad), evidenciando (o por lo menos abrir a la sospecha) la biocomplejidad de



Mormoops megalophylla
Rancho La Tinaja
Cd. Valles, SLP

Figura 16. Murciélago Seropositivo a dengue, Ciudad Valles, SLP-México
Fuente: Informe Técnico proyecto CONACyT 262694-2016. Sección EcoSalud. Marzo del 2017. Laboratorio de..... UASLP.

la circulación del virus del Dengue. Esto debe ser prioritario dentro de la política pública que relaciona conservación y salud humana, ya que no basta sólo el muestreo y la vigilancia de los culícidos sino de fauna silvestre que evidenciaría los ciclos zoonóticos y la antropo-zoonosis (del dengue en todos sus serotipos) y poder tener el primer patrón de comportamiento espacial y espectral en México. Cambiaría incluso la metodología y los planes de acción de la Vigilancia Epidemiológica en México, ya que no todo se concentraría en control químico y cultural domiciliario. Esto es todavía una tarea pendiente (y urgente) de realizar en nuestro país y serían los próximos temas de innovación científica. CENAPRECE no difunde (ni proporciona a la sociedad civil) la BD de registros de muestreo entomológico (sino más bien, con los que se trabaja son los seropositivos de dengue en pacientes), tampoco realiza investigaciones, registros o muestreos de murciélagos, marsupiales e incluso reptiles que viven, se alimentan o llegan al traspatio de los epífitos. Este proceso debería ser un trabajo conjunto entre Secretaría de Salud, la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura (SAGARPA) a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (SENASICA). Convergerían así no sólo recursos financieros, sino Laboratorios de Diagnóstico Biomolecular y Organismos Auxiliares. Ya que al quedar fragmentadas y con pobreza de biodiversidad faunísticas las zonas boscosas y selváticas de nuestro país (siendo ANP o no), como ya se ha dicho en este trabajo, resultan reservorios primarios para la aparición de nuevos virus o nuevos ciclos de transmisión de virus y bacteria a humanos y es ahí donde se deben dedicar todos los esfuerzos de la política pública.

Conclusiones.

GeoMedicina, se apoya en tres principios fundamentales: interdisciplinariedad; intersectorialidad y participación. Es un método de evaluación integrada de medio ambiente y salud, que al incorporarlos, abre las siguientes nuevas perspectivas: generación interdisciplinaria de información científica integrada de medio ambiente

y salud; integración intersectorial de equipos técnicos y de actores sociales en la identificación y caracterización de problemas de ambiente y salud; establecimiento de una agenda de acciones intersectoriales prioritarias; fortalecimiento de capacidades humanas de perfil disciplinario y sectorial para actuar en estrategias interdisciplinarias e intersectoriales. Así, se determina un modelo de salud donde el centro es el Bienestar de la salud colectiva o comunitaria e individual. También empodera comunidades y pacientes ya que se exagera la relación sociedad a través de colectivos sociales: donde se evidencian las relaciones de inclusión-exclusión social a servicios de salud y los servicios ambientales de los ecosistemas (locales, regionales y globales). Desigualdades, que el diagnóstico médico y las políticas públicas deben tener en cuenta para la toma de decisiones y de atención primaria en las comunidades o regiones tanto urbanas como rurales. Así mismo, dentro de la visión nacional-regional se concluye: a) el dengue va hacia el norte del país a climas secos y semidesérticos donde casi nunca se presentaba, lo que traerá más gasto, más inversión, pero sobre todo más enfermos y discapacitados (sobre todo si es dengue hemorrágico, CHK, Zika o Malaria). Aumentarán los casos sobre todo en ciudades fronterizas con Estados Unidos de América y la franja fronteriza sur con Guatemala y Belice (aunado a nuevos brotes de virus no presentes en nuestro país, así como nuevos vectores). Asimismo, acrecentarán brotes y epífitos cerca de aeropuertos internacionales, terminales terrestres de autobuses y puertos de cruceros comerciales y turísticos. Por ello, la información y el sistema de vigilancia epidemiológica oficial debe transformarse de un sistema pasiva a uno activo, sobre todo porque en el futuro enfrentará pacientes más informados y empoderados (con información de salud más precisa) que demandarán un sistema preventivo y de participación social. Las plataformas de vigilancia epidemiológica en tiempo real, atlas interactivos multivariados y multitemporales o la creación del lenguaje simbólico y cartográfico universal que identifique cada una de las enfermedades (crónico degene-

rativas y transmisibles, así como el bienestar social), nuevas enfermedades, la carga financiera y de justicia ambiental de la morbilidad o la mortalidad que vayan más allá de la infraestructura y la cobertura de salud. Como paradoja se presenta la situación que vivimos actualmente, ya que la única constante que prevalece es el cambio; y sin embargo pareciera que vamos más lentos cada día para dar una respuesta a las demandas de la población ante un crecimiento vertiginoso, que nos ha rebasado de manera impresionante. Por ello es fundamental establecer medidas preventivas y correctivas que se anticipen a las evoluciones y crecimiento del futuro (Rosales, et. al, 2014). Un fenómeno interesante es el acercamiento de diversas áreas del conocimiento con la propia epidemiología derrumbando antiguos dogmas médicos. Por supuesto que la epidemiología es una rama fundamental de la salud pública y la medicina clínica, pero, por otro lado, es un sólido puente de conexión con saberes con los cuales la medicina había mantenido distancia como la Sociología, la Antropología, la Economía, la Estadística y, más recientemente, la Geografía y la Geomática. Debe construirse un sistema abierto, incluyente y multidisciplinario.

Referencias bibliográficas

- Aenishaenslin, *et. al.* (2013). Multi-criteria decision analysis as an innovative approach to managing zoonoses: results from a study on Lyme disease in Canada. *BMC Public Health* 2013, 13:897
- Aguilar, A.G. (2010). *Periferia Urbana.: Deterioro Ambiental y Reconstruccion Metropolitana.* IG-UNAM.
- Álvarez de la Torre (2010). El crecimiento urbano y estructura urbana en las ciudades medias mexicanas. *Quivera*, vol. 12, núm. 2, 2010, pp. 94-114. Universidad Autónoma del Estado de México
- Archivo fotográfico (2017). IAP-Taller de cartografía participativa, proyecto AEM-CONA-CyT-UASLP-LaGES 2016-2017. Febrero del 2017.
- Baker, Mc.A (2015). Tourism and the Health Effects of Infectious. Diseases: Are There Potential Risks for Tourists? In *International Journal of Safety and Security in Trorism/ Hospitality.* Buenos Aires 1.12 (2015): 1-17.
- Berke, E.M. (2010). Geographic Information Systems (GIS): Recognizing the Importance of Place in Primary Care Research and Practice in National Institute of Health. *J Am Board Fam Med.* 2010 ; 23(1): 9–12.
- Berkes y Folke (1998). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience.* Cambridge University Press, New York. <https://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art24/>
- Blatt, Amy J. (2015). *Health, Science, and Place. A New Model. Geotechnologies and the Environment.* Vol. 12. ISBN 978-3-319-12003-4 (eBook). Springer New York.
- Borouhaki and Malczewski (2010). ParticipatoryGIS: A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis. *URISA Journal* • Vol. 22, No. 1. 23-32.
- Brown, McLafferty, and Moon (2010). *A Companion to Health and Medical Geography.* Blackwell Companions to Geography. ISBN 978-1-4051-7003-1
- Buzai, Gustavo D. (2015). *Análisis espacial en Geografía de la Salud Resoluciones con Sistemas de Información Geográfica Análisis espacial en Geografía de la Salud Resoluciones con Sistemas de Información Geográfica.* Lugar Editorial, 2015. 240 p. ISBN 978-950-892-496-
- CENETEC (2017). Centro Nacional de excelencia tecnológica en salud. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/>
- Chandra and Ghosh (2006). *Remote Sensing and Geographical Information System.* Alpha SWcience Intrnational Ltd. Oxford, U.K.

- Cheong-wai Tsoi, 2007; Development of a Cross-Domain Web-based GIS Platform to Support Surveillance and Control of Communicable Diseases. GIS Informatics. GIS for Health and the Environment Development in the Asia-Pacific Region ISSN 1863-2246 Springer Science. 44-56.
- Chin, James (2001). El control de las enfermedades transmisibles. Informe oficial de la Asociación Estadounidense de Salud Pública. Publicación Científica y Técnica No. 581. OPS. Washington, DC. ISBN 0-87553-242-X
- Comas y Ruiz (1993). Fundamentos de los sistemas de información geográfica. Ariel. España.
- Cromley and McLafferty (2012). GIS and Public Health. SECOND EDITION. The Guilford Press. ISBN 978-1-60918-750-7
- Dabaghi, Chávarri y Torres (2012). Telemedicina en México. Anales Médicos, (Mex) 2012; vol. 57, núm. 4; 353-357.
- Daszak, Cunningham and Hyatt (2001). Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. Acta Tropica 78 (2001) 103–116.
- Davenhall; B. (2012). Geomedicine. Geography and Personal Health, Esri.
- Davis, S (2007). GIS for Web Developers: Adding where to Your Web Applications. Pragmatic Bookshelf, 2007 - 254. ISBN 0974514098
- Demiris, George (2006). The diffusion of virtual communities in health care: Concepts and challenges Patient Education and Counseling 62 (2006) 178–188. 2005 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.
- Devenhall, B. (2012). Geomedicine. Geography and personal health. ESRI.
- Dragicevic and Shivanand (2004). A Web GIS collaborative framework to structure and manage distributed planning processes. J Geograph Syst (2004) 6:133–153
- Dragicevic, S. (2004). The potential of Web-based GIS. J Geograph Syst (2004) 6:79–81
- Driedger, Kothari, Morrison, Sawada, Crighton and Graham (2007). Correction: Using participatory design to develop (public) health decision support systems through GIS. International Journal of Health Geographics 2007, 6:53.
- Dummer, Trevor (2008). Health geography: supporting public health policy and planning. Public health. CMAJ • April 22, 2008 • 178(9). Canadian Medical Association. <http://mc.manuscriptcentral.com/cmaj>
- FAO-OIE-WHO (2010). Sharing responsibilities and coordinating global activities to address health risks at the animal-human-ecosystems interfaces. A Tripartite Concept.
- Farmer, Philip, King, Farrington, and MacLeod (2010). Territorial tensions: Misaligned management and community perspectives on health services for older people in remote rural areas. Health & Place 16 (2010) 275–283.
- Fernández (2013). La Salud 2.0 y la atención de la salud en la era digital. Rev. Méd. Risaralda 2014; 20 (1): 41-46
- FIDA (2010). El enfoque adaptativo del FIDA relativo a la cartografía participativa Diseño y ejecución de proyectos de cartografía participativa. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
- Fu and Sun (2011) Web GIS: Principles and Applications. ESRI Press, 2011 – 296.
- Galindo, Contreras, y Aldama (2011). La Vigilancia epidemiológica fitosanitaria en México: Un acercamiento metodológico. UASLP-CIACyT

- Galindo y González (2014). SIG-WEB inteligente: el caso del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria en México. Percepción Remota y Ciencias Espaciales. SELPER 2014, SELPER-UASLP-CIACyT-LaNGIF. ISBN
- Galindo, *et. al.* (2014). Espacios obesogénicos: análisis geográfico epidemiológico de la obesidad en escolares de educación básica en el área conurbada de la ciudad de San Luis Potosí, Capítulo XX. pp. 229-243 en Geografía de la Salud+ sin fronteras, desde Iberoamérica. +Red Internacional de Geografía de la Salud. UAEM-UASLP.
- Gillespie, T. (2012). Habitat Fragmentation and Species Barriers. Infectious Diseases at the Wildlife-livestock Interface. The Wildlife Society.
- Gluber, D. (1998). Resurgent Vector-Borne Diseases as a Global Health Problem. Emerging Infectious Diseases, 442-450. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/4/3/98-0326_article
- González-Pier, *et. al.*, (2007). Definición de prioridades para las intervenciones de salud en el Sistema de Protección Social en Salud de México. salud pública de México / vol.49, suplemento 1 de 2007 S37
- Graizbord, Aguilar, Sobrino, Brambila y Garrocho (2015). Ciudades sostenibles: un modelo para el futuro de México y de otros países de América Latina. COYUNTURA DEMOGRÁFICA, NÚM. 8, 2015. 91-97.
- Gunderson and Holling (2002). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. Island Press, 2002
- Horwitz y Wilcox, (2005). Parasites, ecosystems and sustainability: an ecological and complex systems perspective. International Journal for Parasitology. Jun 2005; 35(7):725-32.
- Hubálek and Rudolf (2011). Microbial Zoonoses and Saprotozooses. Masaryk University Faculty of Science. Institute of Experimental Biology. Czech Republic. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. ISBN 978-90-481-9656-2
- Informe Técnico proyecto CONACyT 262694-2016. Sección EcoSalud. Marzo del 2017. Laboratorio de.....UASLP.
- Jin-feng Wang, (2007). Environmental Risk Factor Diagnosis for Epidemics. GIS Informatics. GIS for Health and the Environment Development in the Asia-Pacific Region ISSN 1863-2246 Springer Science. 15-29.
- Knaul, 2013. Hacia la cobertura universal en salud: protección social para todos en México. salud pública de México / vol. 55, no. 2, marzo-abril de 2013. Pp 207-235
- Knobler, Lemon, Najafi, and Burroughs (2003). The Resistance Phenomenon in Microbes and Infectious Disease Vectors: Implications for Human Health and Strategies for Containment. The National Academies PRESS Washington, D.C. www.nap.edu ISBN: 0-309-50746-4
- Kraak and Ormeling (2010). Cartography: Visualization of Spatial Data. Third Edition. Pearson Education. ISBN: 978-0-273-72279-3. England.
- Kraak, Menno-Jan (2004). The role of the map in a Web-GIS environment. J Geograph Syst (2004) 6:83-93
- Kuri, Pa (2015). Retos actuales de la salud pública. Ponencia del 6 de mayo sesión de la Academia Nacional de medicina de México <http://www.anmm.org.mx/multimedia/videoteca>
- Kuri, P. b(2015). Retos de la Salud Pública. Ponencia del 11 de febrero sesión de la Academia Nacional de medicina de México <http://www.anmm.org.mx/multimedia/videoteca>

- Kuri, P. (2011). La transición en salud y su impacto en la demanda de servicios Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F Gaceta Médica de México. 2011;147:451-4
- Li, Dragičević and Veenendall (2011). Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications. CRC Press/Taylor & Francis Group. London, UK. ISBN 978-0-415-80483-7
- Marvier, Kareiva, and Neubert (2004). Habitat Destruction, Fragmentation, and Disturbance Promote Invasion by Habitat Generalists in a Multispecies Metapopulation. Risk Analysis, Vol. 24, No. 4, 869-878
- McCall, Michael K. (2003). Seeking good governance in participatory-GIS: a review of processes and governance dimensions in applying GIS to participatory spatial planning. Habitat International 27 (2003) 549-573
- McLafferty, Sara L. (2003). GIS AND HEALTH CARE. Annu. Rev. Public Health 2003. 24:25-42
- Meade and Emch (2010). Medical Geography. Third edition. The Guilford Press, New York. ISBN 978-1-60623-016-9
- Myers, Gaffikinc, Golden , Ostfeld, Redforde, Rickettsf , Turnerg and Osofsky (2010). Human health impacts of ecosystem alteration. PNAS. November 19, 2013, vol. 110, No. 47. 18753-18760.
- Ngai Sze Wong, Chi Yan Law, Man Kwan Lee, Shui Shan Lee and Hui Lin (2007). An Alert System for Informing Environmental Risk of Dengue Infections. Disease Modeling. GIS for Health and the Environment Development in the Asia-Pacific Region ISSN 1863-2246 Springer Science. 171-183
- OMS (2004). Cibersalud. Informe de la Secretaría. Consejo Ejecutivo, 115ª reunión.
- OMS (2004). Participación de la comunidad: sensibilización y acción. Informe sobre la Salud en el Mundo. Capítulo tres. pp. 45-61.
- OMS (2006). Asimismo, en su publicación ambientes saludables y prevención de enfermedades. Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/
- OMS (2007). Informe sobre salud presentado en el mundo 2007. Un porvenir más seguro: protección de la salud pública mundial en el siglo XXI.
- OMS, (2006). La exposición a riesgos ambientales provoca casi una cuarta parte de las enfermedades. Centro de prensa. 16 de junio de 2006. Ginebra, Suiza. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr32/es/>
- OMS, (2016). Enfermedades transmitidas por vectores. Nota descriptiva N°387. Centro de prensa. Febrero de 2016 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/>.
- OPS, (2017). OPS apoya el fortalecimiento de los Observatorios de Inequidades en Salud de México y otros países de las Américas
- Oropeza, C. (2010). Observatorio de la Salud Pública en México. Primera edición. UAM-Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud. México. ISBN 978-607-477-550-1
- PNUMA-OPS-OMS, (2009). GEO Salud: Metodología para una evaluación integrada del medio ambiente y salud. Un enfoque en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Oficina Regional para América Latina y el Caribe División de Evaluación y Alerta Temprana. Panamá. ISBN: 978-92-807-3032-6.

- Poh-Lai and Mak (2007). GIS for Health and the Environment Development in the Asia-Pacific Region. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. ISBN 10 3-540-71317-4 Springer Berlin Heidelberg New York
- Prüss-Üstün and Corvalán (2006). Ambientes saludables y prevención de enfermedades. Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. OMS.
- Rodríguez (2015). La reinención de la epidemiología a la luz de las nuevas tecnologías. Rev Cienc Salud. 2015;13(2): 293-301. Doi 293-301 / 297
- Rodríguez, (2014). Farmacias arrebatan consultas al sector salud. <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2014/farmacias-arrebatan-consultas-al-sector-salud-986292.html#grafica100214>
- Sakamoto and Fukui (2004). Development and application of a livable environment evaluation support system using Web GIS. J Geograph Syst (2004) 6:175–195
- Secretaría de Salud (2000-2014). Clave única de establecimientos de salud (CLUES). Dirección General de Información en Salud. http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/intercambio/clues_gobmx.html
- Secretaría de Salud (2008). Programa de acción específico 2007-2012. Sistema Nacional de vigilancia Epidemiológica
- Secretaría de Salud (2011). Telemedicina. Serie Tecnologías en Salud. Volumen 3. Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. México.
- Secretaría de Salud (2017). Lanzamiento del Observatorio Nacional de Inequidades en Salud en México. Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Salud, ambos 2013-2018 <http://secretaria.salud.gob.mx/onis/Paginas/LanzamientoONIS.aspx>
- SENASICA-SAGARPA (2014). Manual de procedimientos para la Operación de los Organismos Auxiliares de Sanidad Vegetal.
- SENASICA-SAGARPA (2011). Ley Federal de Sanidad Vegetal. Última reforma publicada DOF 16 de noviembre 2011. Diario Oficial de la Federación 5 de enero de 1994.
- SENASICA-SAGARPA (2016). Lineamientos Técnicos Específicos para la Ejecución y Operación del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria. Documento Oficial.
- Skinner-GISP (2010) GIS in Hospital and Healthcare Emergency Management. CRC Press. Taylor & Francis Group ISBN 978-1-4398-2129-9
- Smolinski, Hamburg, and Lederberg (2003). Microbial Threats to Health: Emergence, Detection, and Response. The National Academies Press. Committee on Emerging Microbial Threats to Health in the 21st Century. Washington, DC. ISBN: 0-309-50730-8.
- Tomlinson, Roger F. (2007). Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers. ESRI, Inc., 2007 – 238.
- Thomson *et. al.* (2008) Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. Health and Climate. ISBN 978-1-4020-6876-8 e-ISBN 978-1-4020-6877-5. DOI 10.1007/978-1-4020-6877-5
- Torrente, Martí y Escarrabil (2010). Impacto de las redes sociales de pacientes en la práctica asistencial. Departament de Salut. Area d'Innovació, Institut. RISAI 2010, Vol 2, Num 1. <http://www.risai.org/index.php/risai>
- Traver y Fernández (2011). El ePaciente y las redes sociales. Fundación Vodafone España. ITACA. Salud 2.0. ISBN: 978-84-694-4110-7

- Weaver and Vasilakis (2009). Molecular evolution of dengue viruses: Contributions of phylogenetics to understanding the history and epidemiology of the preeminent arboviral disease. *Infection, Genetics and Evolution* 9 (2009) 523–540.
- WHO (2008). *The World Health Report 2008 - primary Health Care (Now More Than Ever)*
- WHO (2014). *Providing health intelligence to meet local needs. A practical guide to serving local and urban communities through public health observatories.* ISBN 978 92 4 150816 2
- Wilcox y Colwell (2005). Emerging and Reemerging Infectious Diseases: Biocomplexity as an Interdisciplinary Paradigm. *EcoHealth* 2, 244–257, 2005. DOI: 10.1007/s10393-005-8961-3
- Xiao-Xu *et. al.* (2014). Impact of global change on transmission of human infectious diseases. *SCIENCE CHINA. Earth Sciences.* Vol.57 No.2: 189–203 doi: 10.1007/s11430-013-4635-0
- Zinsstag, Schelling, Waltner, Whittaker and Tanner (2015). *One Health: The Theory and Practice of Integrated Health Approaches.* CABI. ISBN-13: 978 1 78064 341 0

GEOMEDICINA Y TELEMEDICINA UN BINOMIO INSOSLAYABLE

Juan Carlos Hernandez Marroquín

Antecedentes

En pleno siglo XXI, la multi e interdisciplinariedad en la atención médica es un hecho que debemos asumir. Escenarios con profesionales de la Salud que aprovechan la utilización de las actuales Tecnologías de Información y Comunicación es lo que permite visualizar una atención integral que cambiará el paradigma de una Medicina curativa hacia el bienestar de una Medicina preventiva.

Disciplinas, áreas, ciencias que antes era impensable tuvieran una integración con la Medicina, hoy son toda una realidad.

Se debe pensar en las bondades que las Tecnologías de Información y Comunicación, el desarrollo de la Informática médica, el poder de cómputo, la automatización de algoritmos y la generación de sistemas de información médica y los sistemas de información geográfica brindan a la Medicina actual.

Para dar desarrollo al título del presente capítulo, iniciemos por hacer un breve y puntual recorrido histórico: por un lado, se tiene evidencia de trabajos publicados por Howe, acerca de mapas correlacionando enfermedades en el área de Glasgow, Inglaterra, desde 1840. Un poco más tarde, en 1843 se publican los primeros trabajos sobre uso de Sistemas de Información Geográficos.

Vale la pena comentar en este momento, un concepto; la Organización Mundial de la Salud define en 1946 a la Salud como el equilibrio bio psico social y ausencia de enfermedad, pero no

fue sino hasta 1986 que tácitamente un grupo de trabajo de Ottawa fue que mencionó la importancia de la relación socio económica y ambiental para el reconocimiento de la relación salud / enfermedad. Genera las primeras publicaciones para generar planes estratégicos y acciones de protección ambiental al paciente.

En el campo de la Telemedicina, es de todos conocido, que su desarrollo inició con la carrera espacial de Estados Unidos y Rusia, en la década de 1960-70, lográndose ya para el despegue del Apollo 8, todo un sistema de monitoreo remoto de constantes vitales de los astronautas, dando evidencia de ello, el primer electrocardiograma recibido por el médico mexicano Dr Ramiro Iglesias.

Nuevamente en el escenario mundial, la Organización Mundial de la Salud insta a sus 191 miembros en la resolución WHA 54.21 para generar acciones contra la enfermedad y la discapacidad, así como mejorar las condiciones ambientales donde viven los pacientes.

En términos tecnológicos ha habido grandes avances, si se habla de procesamiento de información de múltiples variables médicas, a través de sistemas de información computarizados se cuenta con una revisión exhaustiva publicada por Bellazzi (2006), en la cual hace referencia a conceptos de Data mining y Big data, tal vez con otras palabras, y se encuentran publicaciones de autores como Zupan (2001), Konovenko (1993) y Kubsen (1978). Incluso la Inteligencia artificial aplicada a Salud Pública cuenta con publicaciones relacionadas desde 2001 por el mismo Konovenko.

En otra publicación del 2008, Sover (2008) se refiere a obtener el máximo de información geográfica, así como de infinidad de variables, se habla más de 500,000 por minuto en una competencia de autos de carreras Fórmula 1, y sus posibles aplicaciones a la Medicina en salas de terapia intensiva, por ejemplo.

Ecosistema digital

Se debe partir del hecho que el Hombre actual, sobretodo el ciudadano, pero no por ello se deja de lado el entorno rural, tiene influencia cotidiana en tres entornos geográficos: en primer lugar, el entorno en el cual vive, sin embargo, se desplaza diariamente a otro entorno laboral y finalmente puede existir otra zona geográfica en la cual regularmente descansa o se traslada con cierta frecuencia.

Estas tres zonas geográficas, cuentan con características independientes y con diversas variables que permiten generar condiciones y riesgos favorecedores de ciertas patologías. El hombre no puede estar ajeno, se encuentra sumergido en esta geografía local, desde el aire mismo que respira 12 a 20 veces por minuto.

Hablando de la misma geografía, pero en otro contexto, la escuela francesa de la medicina del siglo XX, que mucho influyó en México, nos trajo la influencia para realizar de cada paciente una Historia clínica, en la cual al momento de interrogar al paciente se preguntaba sobre sus antecedentes personales no patológicos, esto es: como es su casa, cuenta con servicios intra domiciliarios, convivencia con animales, pero hasta allí.

Actualmente motivo de debate, el que se amplíe al menos en el historial clínico del paciente en centros de atención médica oficiales: ¿dónde vive, hay un entorno de agresividad?, ¿existe inseguridad pública, asaltos, contaminación? de qué nivel la contaminación auditiva, etc.

Finalmente, una variable más: el paciente trabaja en su domicilio o acude a trabajar a algún

centro alejado de su vivienda, y que requiere una o dos horas de transporte bajo ciertas condiciones de estrés emocional.

Pasemos a un tema más acotado.

Signos vitales

Actualmente, cuando una persona llega a un centro de atención médica, es común e indispensable que médicos y enfermeras le tomen inmediatamente sus signos vitales, para entender en qué condiciones fisiológicas, llega al sitio de atención médica. Desde luego, debe considerarse que, si llega en condiciones de urgencia o stress, sus signos pueden estar modificados. Tradicionalmente los signos vitales que se obtienen son cuatro: Tensión arterial, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura. Si partimos de la estricta definición de qué es un signo vital (muestra objetiva, registrable, de una variable del paciente que permite saber que está vivo), el panorama cambia diametralmente.

Hoy se tiene la capacidad anatómica, fisiológica, fisiopatológica de poder realizar ciertos procedimientos y monitorizarle (registrarle) al paciente, al menos 400 parámetros vitales, es decir signos vitales. Incluso Sover (2008) menciona que podrían ser hasta 500,000 variables por minuto, si se le conectaran al paciente sensores similares a una auto fórmula 1 y su sistema de información computarizado.

Lo anterior, viene a revolucionar y a generar nuevos paradigmas en la Medicina, pues es posible científicamente tener un control absoluto en un centro hospitalario de todo lo que suceda minuto a minuto en un cuerpo humano. Desde luego, se requiere de insumos no tradicionales en el tema de monitorización, instalación de sistemas de información hospitalario sofisticados y lo más importante, se requiere de personal calificado para la interpretación de los datos generados, pues solo serán datos, mientras un médico no los convierta a información y tome decisiones, lo cual cumple con la definición básica de un sistema de información.

Desde luego, humanamente, no es posible tener el control de todas estas variables y signos vitales del paciente, que cambian, minuto a minuto, segundo a segundo. Pasemos dentro del mismo contexto, a otro punto y después regresaremos a este análisis.

En un medio hospitalario, tanto el médico como el paciente están acostumbrados a que existe una comunicación: médico- paciente, una entrevista, cara a cara, una revisión de la evolución del padecimiento tres veces al día, es lo normal. Lo increíble del tema, es que, en este paso de visita o revisión del paciente, en el lapso de ocho horas, los signos vitales pudieron haber cambiado miles o millones de veces.

El nuevo paradigma, es cambiar la visión tanto del personal médico como del paciente y familiares, pues hoy es tecnológicamente factible durante el proceso de la atención médica, en lugar de revisar la evolución del paciente y su enfermedad tres veces al día, monitorizar al paciente en forma personalizada y tomar decisiones, sino cada minuto, al menos más frecuente que cada turno hospitalario. Se hace indispensable la capacitación del médico en data mining y en cubos de información por ser simplista.

Haciendo un “zoom out” de lo hasta aquí narrado, y tratando de regresar a una visión global de la atención médica, el paciente que acude a un consultorio privado o se hospitaliza, llega para atenderse de una enfermedad, es decir acude para curarse, para tener un diagnóstico probable por primera vez y para ser “tratado”, en el caso de una infección, recibir la prescripción de un antibiótico por siete ó diez días en la mayoría de los casos.

Sin embargo, si se suma el costo de atención de un paciente en un primer nivel de atención (medicina familiar) que requiere interconsulta o atención de especialidad ó incluso estudios complejos en un centro de segundo nivel de atención (hospital general con médicos especialistas) y que a su vez se envía a un tercer

nivel de atención (centro médico con súper especialistas), la atención es muy cara y sigue siendo “efectos” de una enfermedad ó complicación que pudo haberse prevenido tiempo atrás, como ejemplo pacientes con diabetes, obesidad o hipertensión arterial.

Es insoslayable cambiar de paradigmas, hacia escenarios de Medicina preventiva más que curativa.

Geomedicina

Sea bajo el escenario de los Censos oficiales de población, de cada país, con el cruce de información de sus centros de Salud Pública, más la visión satelital de territorios geográficos, se puede decir que existen infinidad de aplicaciones públicas ó privados que caen en la categoría de Sistemas de información geográficos, que si se les alimenta con factores de riesgo atmosféricos – ambientales, laborales, etc, apoyarían en gran medida la conducta diagnóstica y terapéutica del médico. Si bien en otras latitudes, cada ministerio de Salud estatal cuenta con información actualizada en este contexto, en nuestro país, aún falta mucho por trabajar.

El objetivo es desarrollar un banco de datos espectacular, que debería servir al médico para la toma de decisiones, esa es la misión inicial de un sistema de información o de un sistema de información geográfica. La realidad, es que el contexto geográfico - epidemiológico de las principales causas de enfermedad del país, en ocasiones es ignorado. No hay seguimiento del paciente en las áreas geográficas en las cuales vive, trabaja y descansa, ¿esta información simplemente no aparece en su historial médico!

Un sistema de geomedicina, debe aterrizar y emitir toma de decisiones, operativamente viables para una región específica. Se dice fácil, pero es cambiar el contexto médico hacia una Medicina preventiva y en un entorno personalizado de cada paciente, lo cual suena y es complejo en el día a día.

Implica conocer la calidad de los servicios públicos domiciliados en el sitio de impacto del paciente, la verdad orgánica de los alimentos que ingiere y su grado de procesamiento. ¿Existen toxinas en el ambiente del hogar? Son preguntas sin respuesta simplemente.

En paralelo, se han desarrollado en los últimos cinco – diez años, diversas tecnologías en la industria geoespacial que traerán nuevos productos y servicios, para nuevos nichos de mercado, como sería la población geriátrica que cada vez será más en muchos países, incluyendo por supuesto México. Este auge de la industria geoespacial no es casualidad, hoy, las áreas urbanas aumentan en tamaño y en cantidad versus las áreas rurales. La disponibilidad de servicios de telecomunicaciones como serían las líneas telefónicas móviles y servicios de internet, con diversas opciones de capacidad, tienen cobertura en prácticamente todo el país.

El uso de mapas del país, imágenes satelitales en tiempo real, el poder generar relaciones, patrones, visualizar tendencias, inferencias, generar reportes, y que estuviera a disposición de cualquier profesional de la Salud, eso sería epidemiología actual, sin embargo, se requiere de capacitación en el área, implica previamente generar protocolos de todas las enfermedades prioritarias del país, por supuesto incluyendo a un paciente responsable de generar información y compartirla al sistema de Salud, una tarea más pendiente..

Una consistente e integrada red de servicios de telecomunicación al Sistema de Salud, podrían ayudar en gran medida a una plataforma que coadyuve a la toma de decisiones. Una red de servicios 2G, 3G, sin ir a una sofisticada red 4G ó 5G, telefonía rural, todo ello sería útil en este momento, si tuviera cobertura de alcance nacional completamente. Aplicaciones y dispositivos de uso integrado como Google Street view®, cámaras móviles tipo GoPro® o uso de drones con fines médicos. Sistematización de redes sociales, con taggeo de mensajes por Twitter® o

Facebook® daría utilidad en el acopio de datos, que obviamente debería comprobarse su veracidad antes de darla como información y subirla a la base de datos correspondiente.

Smart cities

En diversa medida, ya se piensa en el desarrollo de las llamadas “Smart Cities”, poblaciones o comunidades con acceso a servicios digitales integrados, sería su definición simple. El internet de las cosas, donde diversos equipos y dispositivos presentes en los hogares tienen ya la capacidad de conectarse a Internet, incluso a través de medios inalámbricos. Esto poco a poco dará paso del internet de las cosas, al internet de las aplicaciones. Ejemplo de ello, automatización del hogar, que, si se le integran aplicaciones médicas, hablaríamos del tema “domótica médica”; servicios médicos a través del uso de drones, como podría ser en casos de primeros auxilios domiciliados. El tránsito en las calles, el uso de automóviles híbridos o no tripulados también generan grandes expectativas en la integración de servicios médicos, como monitoreo de signos vitales y aviso en caso de personas con glucosa alterada en sangre.

Si se quedara la Geomedicina estrictamente en el contexto de variables geográficas y su impacto en la salud de la persona, sería una visión simplista. No debemos olvidar que parte de la realidad por la cual algunos detractores no consideran a la Geomedicina como una ciencia es porque argumentan que los factores antropogénicos de las personas desde luego también influyen en el resultado y ello desvirtúa la evidencia.

La Geomedicina, debe considerar en todo momento, que la población vive una transición epidemiológica y que actualmente envejece. Deben generarse iniciativas en instituciones públicas apoyadas por políticas públicas en este contexto y si es factible, deben hacerse alianzas con proyectos privados, para poder cumplir con las seis dimensiones que se incluyen en la geomedicina: la Economía, el ambiente, la movili-

dad del paciente, gobernanza, el estilo de vida del paciente y por supuesto considerar las características generales del paciente. Entonces la misión es generar servicios integrados, eficientar lo existente, con una visión centrada completamente en el paciente.

Si como parte de la ecuación en la atención del paciente, en paralelo se trabaja en la integración de expedientes médicos intercambiables, la información médica tendría el don de la ubicuidad prácticamente. Estamos a mitad de este camino, en México se tiene ya Norma Oficial Mexicana para la estandarización de un expediente médico electrónico, la 024, pero algunos detalles como el intercambio entre instituciones y la validez de la firma electrónica, no permiten entre otros tópicos, la masificación de su uso en beneficio del paciente. Seamos puntuales, el tema es generar nuevos paradigmas a partir de escenarios en donde las cosas, equipos y dispositivos con los cuales interactúa en cualquier día una persona, le permitan de una forma fiable, estandarizada: captar, analizar y compartir datos personales. Desde luego, temas legales aún están por resolverse. No existen estándares de intercambio de información en muchos equipos (devices) y no existe industria que lo explote aún, independientemente de la capacitación y del desarrollo de nuevos escenarios para una consulta médica y para la comunicación médico paciente, como la conocemos ahora.

Todo este gran tema es motivo de debate en gobiernos y en organismos como Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud.

Grupos de trabajo se han lanzado para esbozar paradigmas, tendencias y posibles escenarios, sin embargo, la experiencia se hace al andar, no existen caminos definidos aún. Se habla de presentar hacia el año 2030, escenarios que permitan la gestión de sistemas de información médicos totalmente auto sustentables y aceptados por la comunidad. Todo ello, en otras palabras, permitiría integrar la Salud de la persona con una serie de productos y servicios que hoy en

día están separados, si bien son la misma industria, es decir deben integrarse cadenas de valor horizontales y autosustentables. No debe olvidarse que hoy en día, la innovación tecnológica lleva una carga obligada de responsabilidad social, obligando a desarrollos amigables con el medio ambiente, la persona, su hogar. Servicios de teleasistencia serán parte de la solución, en el área de la Salud.

Esto cobra importancia y contundencia cuando la Organización Mundial de la Salud publica en diversos informes internacionales que hasta el 24% de las morbilidades de mayor impacto poblacional tienen relación con factores ambientales. La industria de las aplicaciones móviles para las diferentes plataformas en smartphones y tabletas debe ser el nuevo paradigma, pues está demostrado que en México el uso de las computadoras de escritorio y las laptops van en caída. Debe darse cabida a fortalecer el desarrollo de proyectos para generación de nuevos sensores, no quedarnos en el registro de los signos vitales tradicionales que ya hemos mencionado.

En escenarios internacionales a lo comentado en el párrafo anterior, se le ha llamado ya: el empoderamiento del paciente, convertirlo en "prosumer" es decir en productor y consumidor de información simultáneamente. De hecho, hay un gran grupo de trabajo el European Project UNCAR que arrancó desde el 2015, para atacar este punto. El empoderar al paciente, en otros términos, permite disminuir inequidades, barreras, sacarlo de la exclusión social, hacerlo responsable del auto control de su enfermedad, sobre todo cuando padece enfermedades crónico degenerativas y esto es llevar la Medicina curativa hacia la Medicina Preventiva, sin más palabras.

Las nuevas políticas públicas, deberán generarse a partir de la información generada por aplicaciones con un sentido de Inteligencia artificial comunitaria. Toma de decisiones basados en un cotidiano Big data, prevenir antes que curar, seguimiento y monitoreo continuo las veinticuatro

horas del día. Seguramente habrá detractores por ello, no necesariamente la población estará totalmente de acuerdo en la supervisión de variables personales, habrá que encontrar el justo medio. Grandes avances en estos términos, se dieron desde la discusión internacional del Foro Económico Mundial 2014, cuando se habló de los nuevos roles del paciente y como esto impactaría en los nuevos nichos de negocio, en la generación de nuevos contenidos digitales de instituciones de Salud sean públicas o privadas, nuevas gobernanzas para ciudades pequeñas, el favorecimiento que esto lleva a las “smart cities” y finalmente como cuantificar la suma de estas variables en el contexto del impacto social y la responsabilidad social.

¿Se deben desarrollar nuevas redes de trabajo entre pacientes y grupos de interés, lo que los sajones llaman propiciar el networking entre stakeholders? Por supuesto que sí, esto genera inteligencia colectiva, muchos sitios web dan cuenta de ello, tan solo mencionar el sitio “patientslikeme”©.

Se habla que aproximadamente en un 65% ministerios de Salud locales, regionales en Latinoamérica tienen capacidad para registrar y poner a disposición de la población esta información, sobre todo en Estados Unidos, información epidemiológica y ambiental que se puede combinar con información sobre cáncer, por ejemplo, y cruzar a códigos postales. Sin embargo, no existe en este momento, grupo médico o institución en México, que conjunte de todo un grupo poblacional, estos datos que se generan y los integre en una plataforma que permita su análisis y toma de decisiones de forma pública, si bien existe investigación en este campo.

Hasta este punto se ha hablado del registro de condicionantes exógenos al paciente que gracias a las Tecnologías de la información y comunicación es posible hoy en día, es decir Epidemiología clínica. Es momento de hablar de la práctica clínica, de la biomedicina, aquella que se interrelaciona con las variables endógenas de la persona.

Telemedicina

El nacimiento de la Telemedicina en términos tecnológicos es claro, cuando inicia la carrera espacial por Estados Unidos y Rusia, por la década de los sesenta del siglo XX. Se requería del monitoreo de las constantes vitales de los cosmonautas, hecho que se logró, iniciando por la tele cardiología y tele electrocardiografía.

Algunas personas dicen que se inició, cuando Graham Bell al atribuírsele el invento del teléfono y en su primera recepción bajo el contexto de que se sentía mal de salud, comento a su ayudante: Watson ¡venga! lo necesito, sentido tal vez romántico al tema.

Unos más podrían mencionar que fue cuando la Organización Mundial de la Salud emite su definición allá por 1998: “el suministro de servicios de atención sanitaria, en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan las tecnologías de la información y comunicaciones con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, mejorar e indicar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven”.

Tema en controversia aún, si se le debe de llamar telemedicina o “telesalud” por englobar una visión más amplia. Si somos quisquillosos, podemos hablar aún más, de subsistemas que permiten la salud móvil “Mhealth”, desarrollos a través del uso de internet “ehealth”, etc.

El hecho es que la Informática médica y las llamadas Tecnologías de información y comunicación abonaron al tema y permitieron, mediante una conexión local-remota, bajo protocolos de comunicación propietarios o estándar, montado en una plataforma, se permitió integrar señales de texto, audio, video e imagen.

Para el año 1994, todo lo anterior significaba el poder tener: sesiones de videoconferencia in-

teractiva full dúplex, más expediente médico electrónico y por supuesto, tener periféricos biomédicos que permitiesen captar señales de audio, video e imagen, de aquí surgen diversos y múltiples dispositivos como los estuches de diagnóstico: tele otoscopio, tele oftalmoscopio, tele estetoscopio, cámaras de exploración, etc.

Históricamente surgen en México dos grandes proyectos de Telemedicina: en 1994, el del ISSSTE, al frente la Dra. Amanda Gómez conectando en forma fija centros de atención médica entre la ciudad de México y Chiapas, por otro lado, el proyecto de la Universidad Anáhuac, en el año 2000, cuando el Dr Juan Carlos Hernández Marroquín genera una red de 18 unidades móviles 4x4 con capacidad de teleconsultorio y tres call center en los estados de Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Jalisco en regiones indígenas de muy alta marginación.

A partir de este momento, se generan proyectos públicos en diversos estados del país, dando en el año 2016 casi total cobertura al país, sobre todo en el área de la teleeducación, todos ellos coordinador en la Secretaría de Salud por CENETEC, surgido en el 2004 por la Mtra. Adriana Velázquez.

Posiblemente, 2008 marca otra era en la historia de la telemedicina, por coincidir con el desarrollo de equipos de videoconferencia más pequeños, rápidos y económicos. El desarrollo de redes de Internet móviles, a través de diversas compañías, permitió que México pudiera tener proyectos de telemedicina como los de Caravanas de la Salud, al no depender de enlaces satelitales/microondas. Sin duda, punto importante es entender la logística médica, considerar el punto de vista del personal para que los proyectos no fracasen, sin olvidar jamás que el ancho de banda o la velocidad del canal para uso simultáneo, es indispensable.

Hoy en pleno siglo XXI, los dispositivos y periféricos de telemedicina son pequeños, tecnológicamente avanzados. Existen en el mercado

diferentes marcas y precios y si bien existen recomendaciones nacionales e internacionales para cumplir estándares, es factible integrarlos en plataformas económicas.

Sensores y dispositivos wearables

En otro canal de desarrollo industrial y enfocados básicamente al uso personal, se tienen los sensores y dispositivos “wearables”, que consisten básicamente de acelerómetros, localización, sensores de frecuencia cardiaca, oximetría infrarroja, los más sencillos, hasta sofisticación de conversión a calorías quemadas, cuenta pasos, etc.

El mercado oferta al año 2016, todo un inventario de 520 opciones de diferentes precios, en un 70% con registro ante FDA y CE aprobados; logrando generar dispositivos para uso en muñeca, brazo, tórax, abdomen, tobillos básicamente. Ahora también con aplicaciones para registro y transmisión a smartwatch, tabletas y smartphones.

Básicamente estos sensores permiten la adquisición, pre-procesamiento, transformación, modelado, evaluación y transmisión de variables. Con ello se generan algoritmos que podrían hacer diagnósticos sobre patologías particulares, ya sea para detección anormal de signos vitales, predicción de complicaciones, toma de decisiones al médico y alertas al médico a cargo, etc.

Con el uso de bio marcadores dentro de estos dispositivos, es factible actualmente detectar cáncer, algunos problemas congénitos, niveles bioquímicos de diversas sustancias, dar seguimiento a enfermedades crónico degenerativas, parametrizar enfermedades infecciosas.

Tecnológicamente, es factible agregarles sensores que permitan en forma cuantitativa o cualitativa, registro sobre aire, humedad y agua, distancia, acceso a sustancias químicas, localización GPS, variables que desde Hipócrates y recientemente Davenhall correlacionan como variables ambientales para la Salud.

¿Cómo se transforma el uso de estos dispositivos en beneficio médico profesional? La tendencia es hacia una personalización y pueden generarse algoritmos que coadyuven al apoyo, sea en la parte de diagnóstico, en la evolución y seguimiento de una enfermedad y alertar sobre la adherencia terapéutica, tema difícil y de grandes proporciones económicas.

En resumen, éstos dispositivos permiten la integración de nuevos productos y servicios individualizados, que pudieran integrar toda una cadena de valor en la atención de servicios médicos.

Cadena de valor

En México, el Sistema Nacional de Salud, se maneja integrando la atención del paciente entre un primero, segundo y tercer nivel de atención, según lo requiera el paciente y su padecimiento, esto es, entre centros de atención de medicina general, hospitales generales con las cuatro especialidades troncales y el tercer nivel con las 48 subespecialidades restantes.

En la propuesta del presente capítulo se busca que dentro de los procesos médicos del día a día, la cadena de valor sea la integración en un sentido vertical y horizontal de todos los componentes que pueden facilitar la vida del paciente y familiares. Los participantes pueden ser desde instituciones públicas, privadas y proveedores particulares.

Existen varios modelos de cadena de valor, pueden mencionarse los dos escenarios que más frecuentemente se encuentran: McKinsey y Porter, desde luego cada uno con sus ventajas y desventajas. Recientemente Barrón, ha presentado su llamada cadena de valor "evolucionada", misma que se comentará en las siguientes líneas.

Se reconoce que la cadena de valor inicial, de acuerdo a Porter, es: Logística de entrada, operaciones, logística de salidas, mercadotecnia-ventas y finalmente servicios post venta. Esto fácilmente puede ser sustituido por productos

y servicios de tipo médico y paramédico. Para darle al paciente atención correcta desde el diagnóstico de su enfermedad hasta su seguimiento y recuperación post tratamiento. En este mismo modelo las actividades secundarias son: administración, finanzas, infraestructura, recursos humanos, desarrollo de tecnología y abastecimiento. Escenario que, gracias al uso de las Tecnologías de información y comunicación, así como a un muy eficiente sistema de información hospitalario, se puede optimizar al máximo y esto, no es nuevo.

Lo adicional propuesto por Barrón, es darle al cliente los productos y servicios con las especificaciones personales, producir justo a tiempo, en tiempo y forma, con los costos y especificaciones a la medida. Finalmente realizar encuesta y verificación de la satisfacción del cliente. Parece sencillo, pero es cambiar muchos paradigmas en los escenarios de buenas prácticas del mundo médico actual.

Desde luego, un enfoque de sistemas cambiaría varias de las normas oficiales mexicanas y varias guías de práctica clínica, tema al que se deberá estar alerta.

Ecosistema digital como nuevo modelo de Salud

Plantear un nuevo "ecosistema digital" en Salud, es tener como componentes indispensables a la Geomedicina y la Telemedicina. En un enfoque reciente, dentro de los llamados modelos de negocio, la matriz llamada "Canvas" da luz para estos innovadores enfoques, la cual por supuesto, debe aterrizar al contexto de la Medicina, pero hagamos el ejercicio de resolverla rápidamente.

Alianzas

¿Cuáles deberían ser las alianzas para integrar los nuevos servicios, los nuevos jugadores en el campo?

Procesos

Varios de los procesos actuales implican revisión del paciente en el primer nivel de atención, de allí al segundo nivel y de allí al tercer nivel si fue-

ra necesario, pero cuidado, estamos hablando solo de un escenario de medicina curativa. En el caso de que la Geomedicina y Telemedicina generan información hacia el bienestar de paciente y familiares y contenidos hacia Medicina Preventiva, ¿cuáles procesos quedarían obsoletos y a qué nivel se sustituirán por otros?

Propuesta de valor

Además de la atención médica específica, expedita y por el personal adecuado, ¿qué otra propuesta de valor podría tener este nuevo ecosistema digital de Salud? ¿soporte informático? ¿teleasistencia al paciente por equipo multi e interdisciplinario? ¿educación en wellness?

Relaciones

Es llevar relaciones de largo plazo a paciente y familiares, mantener una educación continua del paciente, prever complicaciones futuras, co-participación y co-responsabilidad de la familia en la evolución del padecimiento

Canales

Se refiere a las diferentes vías y medios de telecomunicación, además de todo lo mencionado se pueden adicionar aplicaciones portátiles personalizadas, y televisión interactiva por mencionar algunos más

Segmentos de clientes

Desde luego en primer lugar el paciente, después al familiar y ¿por qué no? A los compañeros de trabajo o del vecindario en algunas patologías especiales

Costos

La inteligencia de negocio debe procurar en la medida de lo posible la auto sustentabilidad del proyecto, hacer pago por evento de kioscos interactivos en lugares públicos, servicios en la nube para disponibilidad en todo momento, todo ello deberá ser prorrateado

Ingresos

Diversos modelos pueden desarrollarse, desde el pago por evento ocasional, membresía per-

sonalo familiar, servicio a flotillas. Por otro lado, integrar la cadena hacia adelante o hacia atrás con proveedores. Puede adicionarse proveedores, productos y servicios para tele asistencia a domicilio o en el sitio de trabajo del paciente.

Un Ecosistema Digital de Salud implica acompañar al paciente y familiares desde el diagnóstico de la enfermedad, seguimiento durante la evolución y verificar la adherencia al tratamiento farmacológico, ejemplo: codificación con códigos de barras o QR los blisters de medicamentos y enviar mensaje al médico de que se ha ingerido el medicamento, en forma automática, el sensor correspondiente verificará resultados de signos vitales a la ingesta del medicamento.

El cambio de estilo de vida es inminente, hacia modelos saludables desde el cuidado de la dieta, que, si bien en algunos pacientes se toma con toda la seriedad y apego, en el caso de personas sanas, no necesariamente aceptarán cambios en dieta ante situaciones que aún no suceden, educación, educación, educación.

En casos de epidemias en temporadas de calor o frío, sería relativamente fácil, integrar con los pacientes geocercas sanitarias para prevención de complicaciones en pacientes geriátricos por mencionar algunos ejemplos.

La domótica médica debería entonces ir precedida de diseño auto sustentable y sin tóxicos en el nuevo hogar de los pacientes, instalar dispositivos para el "tracking" o seguimiento de variables biomédicas. Si bien, todo ello deberá tener una seguridad informática de siete niveles, siempre existe la posibilidad de algún fallo. Aquí es donde el punto álgido al tema surge, el resguardo de la información biomédica de los pacientes.

Del lado del profesional de la Salud, los nuevos paradigmas implican tal vez ya no atender la mayor parte del tiempo a pacientes en su consultorio sino a través de medios electrónicos, simultáneamente capacitación en las nuevas

tecnologías y seguramente disponibilidad de horarios que pueden extender las ocho horas de trabajo diarias ó días y fechas festivos.

El turismo aeroespacial ya existe, falta poco para que sea necesaria toda una generación de médicos que pueda responder a las nuevas demandas de servicios sanitarios.

El entrenamiento en Medicina Aeroespacial, Geomedicina y Telemedicina es hoy más indispensable que nunca. Iniciativas que deberán abanderar expertos en el tema y que mucha falta hace generar instituciones que permitan la democratización de estos conocimientos. No debemos olvidar que muchos de los sensores, dispositivos y periféricos son herencia del desarrollo espacial. Nuestro país requiere que éstos adelantos bajen al uso cotidiano de la población más necesitada, solo así la brecha de Salud podrá ser contenida.

El llamado es hacia la formulación de grupos de trabajo multi e interdisciplinarios, compartiendo plataformas de atención médica, docencia e investigación.

Bibliografía

Carrillo Esper R. Medicina espacial. 1ª.edición. México: Intersistemas, 2016

Larocca A. Malaria diagnosis and mapping with m-health and geographic information systems (GIS): evidence from Uganda. *Malaria J.* 2016; 15:230

Teng J. Using mobile health (mHealth) and geospatial mapping technology in a mass campaign for reactive oral cholera in rural Haití. *PLOS Neglected Tropical Disease.* 2014; 8: e3050

Schootman M. Emerging technologies to measure neighborhood conditions in public health: implications for interventions and next steps. *Int J Health Geogr;* 2016 15:20

Banace H. Data mining for wearable sensors in health monitoring systems: a Review of recent trends and challenges. *Sensors.* 2013; 13:17472-17500

Davenhall B. Geomedicine: geography and personal health. ESRI. 2013. England

Davenhall B. Geomedicine. Genetics + Lifestyle + Environment= Health. ESRI. 2016. England

Arcury T. Special poblations, special services. *Health Services research.* 2005 february :135

Petersson J. Geographies of health. *Studies of healthcare at a distance.* University of Gothenburg. 2014.

Nollo G. Smart cities for healthy cities. IEEE White paper. 2014. Trento Italy

Gordon A. The use of mapping in public health and planning health services. *J of Public Health Medicine.* 1997. 19:2: 139-147

UN-GGIM. United Nations Committee of experts on global geospatial information management. Future trends in geospatial information management: the five to ten years vision. 2a edition. 2015.

World Health Organization. Global vector Control response 2017-2030 Fourth Draft (version 4.3) 2016

Rodriguez C. Acerca de la Geomedicina. Una aproximación desde la filosofía. *Revista de Filosofía.* 2013. 47:261

SEGUNDA PARTE

ESPECIACIÓN Y PLASTICIDAD EN ESCENARIOS FUTUROS: LA DIVERSIFICACIÓN DE LOS VECTORES

Patricia Deniss Campos Ibarra
Luis Alberto Olvera Vargas
Ángel González Canuto

ANTECEDENTES

Históricamente, las enfermedades emergentes y re-emergentes transmitidas por vectores han demostrado el alto impacto que tienen sobre la salud, tanto en humanos como en animales. El reto al que la sociedad se ve sometida para enfrentar dichas amenazas se ha visto reflejado durante las últimas décadas. Entre los años 1950 y 1970, las enfermedades protagonistas de epidemias alrededor del mundo, como la fiebre amarilla, malaria y dengue, afectaron a miles de personas, causando pérdidas tanto humanas como económicas y que hasta la actualidad sigue causando estragos.

Especiación - Historia del vector primario del Dengue: *Aedes aegypti*

El mosquito *Aedes aegypti* pertenece al orden Diptera, taxón monofilético el cual engloba alrededor de 3,490 especies (Harbach, 2007). *Aedes aegypti* se encuentra clasificado dentro del subgénero *Stegomyia*, y es conocido mundialmente como el mosquito de la fiebre amarilla.

Se le reconoce por ser un mosquito de coloración oscura (más clara que su forma selvática original) que mide aproximadamente 5mm y presenta un diseño de escamas blancas/plateadas en forma de lira sobre el tórax, bandas blancas en las patas y escamas claras en la base de los segmentos 3°, 4° y 5° del abdomen.

No presentan un dimorfismo sexual marcado, el macho es más pequeño, presenta antenas más grandes y plumosas y es menos robusto. Las hembras presentan antenas con pelos cortos y escasos, los palpos son de un tercio o menos de

longitud que la proboscis, la cual está desarrollada especialmente para la alimentación hematófaga.

Aedes (aegypti) formosus es la forma ancestral del mosquito vector del Dengue, *Aedes aegypti aegypti*, y sigue existiendo en los bosques de África Sub-Shariana, manteniendo hábitos silvestres, lejanos a los que su forma domesticada, presenta actualmente. El fenómeno de domesticación es un evento de suma importancia con relación a la salud humana, sobretodo hablando de insectos hematófagos transmisores de enfermedades. (Powell, 2013).

No fue hasta que el ser humano comenzó a adentrarse en su hábitat natural, generando presiones para encontrar alimento y sitios de reproducción, que obligaron al culicido a buscar otros medios por los cuales pudiera abastecer sus necesidades. Fue cuando comenzó a adoptar hábitos alimenticios antropofílicos, a utilizar recipientes artificiales para dejar sus huevecillos, y que su apariencia cambiara tomando una coloración más clara.

Este proceso modificó su clasificación taxonómica, ya que este nuevo mosquito ya no presentaba las mismas características, fenotípicas y conductuales, que la forma *formosus*, surgiendo de esta manera el vector primario del Dengue y la Fiebre amarilla, *Aedes (aegypti) aegypti*.

Relación en salud humana: transmisión de arbovirus.

Arbovirus es una abreviación dada para describir a aquellos virus que son transmitidos por artrópodos

(Arthropod-borne-virus). Estas son transmitidas por insectos hematófagos (mosquitos, garrapatas...) que por medio de su picadura infectan a un hospedero vertebrado (mamífero, ave, reptil...) el cual presentara altos índices de replicación del virus que se expresara en una enfermedad.

Actualmente existen, conocidos, alrededor de 534 arbovirus, de los cuales se tiene conocimiento de que 134 producen enfermedad en los seres humanos (Gubler, 2001). Estos virus se encuentran disgregados en diferentes ramas taxonómicas o familias de que cuentan con genoma de RNA, de las cuales destacan cuatro: Flaviviridae, Togaviridae, Bunyaviridae y Reoviridae (Beckham, 2015). La naturaleza de su material genético los hace susceptibles a la acumulación constante de mutaciones, comparación de los virus de DNA, lo cual les da ventajas adaptativas con cada cambio de hospedero y a las condiciones ambientales en las que se encuentre (Beckham, 2015).

La mayoría de los arbovirus son transmitidos por diferentes especies de culícidos (mosquitos), dentro de los cuales los géneros más importantes son Aedes, transmisor principal del dengue, chikungunya y zika y Culex, importante vector del virus del Nilo occidental, filariasis y algunas encefalitis importantes (japonesa, equina, de St. Louis).

Estas enfermedades son solo un ejemplo dentro del amplio catálogo de virus que pueden ser albergados por culícidos, y existe la posibilidad de que cada especie tenga cierto grado de capacidad para sustentar la replicación del virus así como de transmitirlo, dada por las estrechas relaciones filogenéticas.

Así como los virus, los vectores que los transmiten, dependiendo de su naturaleza, tenderán a sufrir cambios evolutivos rápidos o moderados que pueden tener como resultado brotes más agresivos o más frecuentes de estas enfermedades.

Pero el conocimiento de que la transmisión de estas enfermedades, así como otras patologías su-

mamente importantes de origen parasítico (Malaria, Filariasis, etc.) estaba directamente conectada con artrópodos es relativamente reciente.

La primera evidencia concreta de que los mosquitos estaban involucrados en la transmisión de enfermedades fue en 1878 en China por Manson y que después sería respaldado por Lewis en India ese mismo año, encontrando Filaria en sangre, el cual, como Manson y Lewis describieron, es un parásito que se desarrollaba "mosquitos cafés" (*Culex fatigans*) (Christophers, 1960).

En las últimas décadas el virus del Dengue ha ampliado su distribución mundial y se ha consolidado como una de las enfermedades transmitidas por vector más importantes de los últimos tiempos, poniendo en riesgo anualmente a más de 2 billones de personas, y afectando anualmente alrededor de 500,000 (Guzman, 2010).

El virus del Dengue es transmitido principalmente por dos vectores de tipo artrópodos: los culícidos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. Su gran capacidad como vectores así como su amplio rango de distribución a nivel mundial los convierten en los vectores de enfermedades más importantes, ya que también tienen la capacidad de transmitir otras enfermedades virales tales como Fiebre amarilla, Chikungunya, Zika entre otras (Tabla 1).

Desde los primeros brotes de Dengue en África y Asia hace casi 200 años, hasta nuestro tiempo y con una distribución ya a nivel mundial, se ha reconocido la participación de *Aedes aegypti* como el vector principal, el cual desde un inicio, demostró gran capacidad adaptativa, diversificando desde su origen selvático, para acoplarse a un nuevo medio y tener éxito, no solo como especie, si no como vector de esta enfermedad.

Historia del vector secundario del Dengue: *Aedes albopictus*

Aedes albopictus es un culicido originario de los trópicos asiáticos (Paupy, 2009), el cual es conocido por ser un vector secundario del Dengue así como de otras enfermedades arbovirales.

Tabla 1. Virus que se sabe *Aedes aegypti* puede transmitir.

Virus	Familia	Enfermedad	Primer brote	Año
Virus Chandipura (CHPV)	Rhabdoviridae	Encefalitis aguda	Maharashtra, India	1965
Virus Chikungunya (CHKV)	Togaviridae	Fiebre Chikungunya	Tanzania	1952
Virus de estomatitis vesicular (VEV)	Rhabdoviridae	Estomatitis vesicular	Georgia, EEUU	1956
Virus de La Crosse (LACV)	Bunyaviridae	Encefalitis de la Cross	Wisconsin, EEUU	1963
Virus de la encefalitis equina venezolana (EEV)	Togaviridae	Encefalitis equina venezolana	Aragua, Venezuela	1938
Virus de la Fiebre Amarilla (YFV)	Flaviviridae	Fiebre amarilla	Republica dominicana	1494
Virus de la meningoencefalitis del pavo de israel (ITV)	Flaviviridae	Meningoencefalitis del pavo	Israel	1958
Virus del Dengue (DENV 1,2,3,4 y 5)	Flaviviridae	Dengue	Isla de Java, Indonesia	1778
Virus del Dengue (DENV 1,2,3,4 y 5)	Flaviviridae	Dengue grave	Filipinas y Tailandia	1944
Virus del Nilo Occidental (WNV)	Flaviviridae	Infeccion por virus del Nilo	Uganda	1987
Virus del Rocio (ROCV)	Flaviviridae	Encefalitis de Rocio	Sao Paulo, Brasil	1973
Virus del Valle del Rift (FVRV)	Bunyaviridae	Fiebre del Valle del Rift	Kenya	1981
Virus del Zika (ZIKV)	Flaviviridae	Enfermedad por Zika	Uganda	1947
Virus Ilheus	Flaviviridae	Fiebre Ilheus	Bahia, Brasil	1944
Virus koedougou (KEDV)	Flaviviridae	No identificada	Senegal y Rep. Centroafricana	Desconocido
Virus Kostango (KOUV)	Flaviviridae	No identificada	Senegal	Desconocido
Virus Sindbis (SINDV)	Togaviridae	Fiebre Sindbis	Cairo, Egipto	1952
Virus Usutu (USUV)	Flaviviridae	Fiebre de Usutu o de verano	Republica de Sudafrica	1959

Fuente: LaGES, 2016

Es comúnmente llamado “mosquito tigre”, ya que tiene un comportamiento más agresivo que otros culícidos. En las últimas décadas ha sufrido un lento pero progresivo proceso de domesticación, similar al de *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, sin embargo, todavía conserva hábitos silvestres como buscar sitios naturales para la oviposición (huecos de árboles, axilas de hojas, etc.) ,y alimentarse alternadamente de otros animales ,no solo del ser humano, como lo hace *Aedes aegypti* (Paupy,2009).

La dispersión de *Aedes albopictus* tuvo su auge en las últimas 4 décadas siguiendo los pasos de *Aedes aegypti* y *Culex pipiens*. En los años 70 se implementaron medidas para el control de la fiebre amarilla en América, lo cual dio como resultado una drástica disminución de las poblaciones de *Aedes aegypti* , llevándolas a desaparecer casi por completo. Esto favoreció la dispersión de *Aedes albopictus*, que para la década de 1980 daba los primeros registros de presencia en Nueva Orleans, EUA, y que desde entonces no ha parado de ganar territorio, sobre todo en zonas que parecieran presentar características ambientales limitantes para los integrantes del género *Aedes*.

A pesar de la aparente competencia entre ambos culícidos, hay una ventaja notoria de *Aedes albopictus*. A pesar de no estar tan ampliamente distribuido, si plasticidad fenotípica le aporta ciertas “ventajas” que hacen que su rango de colonización sea potencialmente más amplio. Esto significa, que por ejemplo, los rangos de temperatura máximos y mínimos son más abiertos, o las altitudes a las cuales los podemos encontrar. También el aprovechamiento de la carga proteica en la sangre tanto de animales como de humanos para la generación de huevecillos, entre otras. Esta capacidad para afrontar situaciones extremas es uno de los principales elementos de éxito para lograr invadir otros territorios, además de los ya establecidos como óptimos y que también sea considerado como un factor de importancia en la transmisión y control de enfermedades.

Relación con la transmisión de enfermedades (papel como vector secundario del dengue: Importancia de la distribución, brotes registrados...)

La competencia se puede definir como la capacidad o habilidad de un vector de adquirir un virus/

patógeno y poder transmitirlo exitosamente a un huésped susceptible. Los factores ambientales y genéticos se encuentran unidos para dar la complejidad que la competencia representa (Tabachnick, 2013).

Lo que cabe resaltar, es la amplia variedad fenotípica en componentes de competencia entre las poblaciones de mosquitos, tanto intraespecie como interespecies (Tabachnick, 2013).

Aedes albopictus es un culícido cuya distribución se ha visto potencialmente favorecida por las actividades humanas. Aunque es perteneciente al mismo género que el vector principal del Dengue, *Aedes aegypti*, sus características conductuales y fisiológicas, como el patrón alimenticio que mantiene, así como la capacidad de soportar temperaturas más extremas (tanto cálidas como frías), y de utilizar espacios naturales y/o artificiales para la oviposición, dejan a *Aedes albopictus* como un vector cuyos parámetros limitantes están menos definidos que los de *Aedes aegypti*.

Se sabe que *Aedes albopictus* es un vector competente para la transmisión del Dengue, Chikungunya y del Zika, más recientemente comprobado. En eventos como la epidemia de Chikungunya del 2004 en Kenia y brotes posteriores, *Aedes aegypti* figuró como el vector principal (Lamballerie, 2008). Sin embargo, no mucho tiempo después, se encontraron mutaciones asiladas del virus en poblaciones de mosquitos en Madagascar donde tanto *Aedes aegypti* como *Aedes albopictus* convivían, que mostraban conferir una mayor afinidad y capacidad vectorial a *Aedes albopictus* (Lamballerie, 2008).

Otros casos, como los brotes en Cameroon y Gabon en el 2006, donde *Aedes albopictus* había desplazado a *Aedes aegypti*, forman parte dentro de la evidencia de la capacidad vectorial de *Aedes albopictus*, así como de la gran adaptabilidad del virus del Chikungunya para adquirir nuevos vectores (Lamballerie, 2008).

Reporte de otros mosquitos con dengue

De manera natural se sabe que *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* son los vectores principales del dengue, pero eso no significa que puedan ser los únicos.

Estudios en laboratorio han logrado demostrar la capacidad de algunos culícidos para sostener la replicación del virus como el caso de *Haemagogus equinus* (Sousa, 1991) donde se demostró que hembras inoculadas podían transmitir el virus a su progenie de manera transovarica, lo que implica la manutención fisiológica y ecológica del virus. En otro estudio hecho por Huang et. al, 1993, se infectó a varias personas con Dengue tipo 2, por la picadura simultánea 3 especies de mosquitos criados en laboratorio, los vectores principales y una tercer especie: *Culex fatigans*. Los análisis mostraron que *Culex* presentó un porcentaje significativo de replicación viral, aunque no tan elevado comparado con *Aedes aegypti* y *albopictus*, pero que fue suficiente para contribuir con la infección.

Otros estudios realizados en Brasil, donde se capturaron individuos en campo, registraron positivos para DENV-4 en especies de *Culex* como: *Culex quinquefasciatus*, *Culex bidens* y *Culex inferor* (Serra, 2016).

Problemas actuales

Dengue, Chikungunya, Fiebre amarilla, Zika y otros arbovirus siguen siendo en la actualidad un problema de salud pública global, representando anualmente una amenaza para millones de personas que viven alrededor de los trópicos.

Aunque se han implementado medidas de control del vector, así como sistemas de prevención entre la población, los índices de incidencia no han disminuido.

En nuestro país, estudios epidemiológicos sobre el Dengue han señalado como estos esfuerzos no han dado los resultados esperados. Estudios realizados entre el 2009 y el 2011 revelaron que

no solo persistió la enfermedad, sino que hubo un incremento sobre todo en la población juvenil (Torres-Galicia, 2014), dejando en claro que la dinámica del virus ha ido cambiando, por lo tanto, las medidas de vigilancia y prevención deberán hacerlo de igual manera.

Desde el año 2014, México ha sumado a este fenómeno la aparición del virus del Chikungunya, y un año más tarde, se adicionó el Zika dentro de los virus transmitidos por mosquito que circulaban en nuestro país. La continua aparición de nuevas enfermedades en nuestro territorio, junto con aquellas que representan ya una problemática en cuestiones de salud, son el motivo por el cual se debe facilitar el conocimiento de las mismas a las poblaciones, sobre todo a las más vulnerables, así como para los tomadores de decisiones, que evaluarán la situación actual para promover soluciones viables.

Plasticidad como elemento de éxito

¿Qué es la plasticidad?

La plasticidad se define como la capacidad de un determinado genotipo para producir diferentes fenotipos en respuesta a los cambios en el medio ambiente. Esto va desde elementos tan complejos como animales vertebrados superiores, hasta los más simples como los virus.

La plasticidad fenotípica, en niveles moderados, es una cualidad óptima para la supervivencia de las poblaciones ante condiciones nuevas o adversas.

La plasticidad es una capacidad de respuesta "inmediata" que se tiene ante situaciones adversas, expresándose como modificaciones fenotípicas, aunque no necesariamente ventajosas.

Este tipo de adaptación tiene la desventaja de que actúa a nivel individual y no se presenta como una característica heredable. Mientras la evolución adaptativa actúa dentro de las poblaciones a través de las generaciones, la plasticidad fenotípica actúa de manera individual dentro de las generaciones.

Plasticidad en vectores

Cuando un ecosistema se ve perturbado, la pérdida de especies es una de las principales consecuencias y de mayor impacto a nivel ecológico. Sin embargo, aunque no implica la pérdida total de la biodiversidad de un sitio dado, esto puede traer efectos más complejos que la pérdida por sí misma. La biodiversidad que existe en el ecosistema habla acerca de la salud del mismo. Implica las interacciones entre individuos, así como intercambios de energía entre el entorno y los elementos que forman el hábitat, manteniendo un equilibrio dentro del sistema. Insectos, pequeños mamíferos, reptiles y anfibios han demostrado ser capaces de sobrellevar exitosamente las presiones generadas a partir de modificaciones radicales en sus hábitats, aumentando de manera pronunciada las tasas de natalidad y la expansión de su distribución geográfica. Esto implica que la disponibilidad de los recursos llegaran a un punto de saturación, por lo tanto, algunos elementos de dichas poblaciones dejarán su nicho respectivo migrando en la búsqueda de suplementos para sus necesidades.

Es aquí donde los organismos comienzan a enfrentarse a condiciones poco frecuentadas, y las poblaciones migrantes se verán sujetas a presiones que generaran variaciones en las tasas de supervivencia, quedando aquellos individuos que pudieron sobreponerse, por medio de elementos fisiológicos o conductuales que presentaban plasticidad.

Esto es un aspecto fundamental para el éxito de colonización de especies invasoras, las cuales, en muchos casos, mantienen una relación directa con la salud humana. Es el caso de los ya conocidos vectores del virus del Dengue, Chikungunya y Zika, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. La plasticidad fenotípica de ambos, en especial de *A. albopictus*, sobre todo en estadios inmaduros (resistencia del huevecillo a desecación, diapausa inducida por condiciones ambientales, resistencia a temperaturas extremas, etc.), aunado al hecho de encontrar alimento y sitios para la reproducción, les permitió incrementar el número de individuos y expandir su distribución,

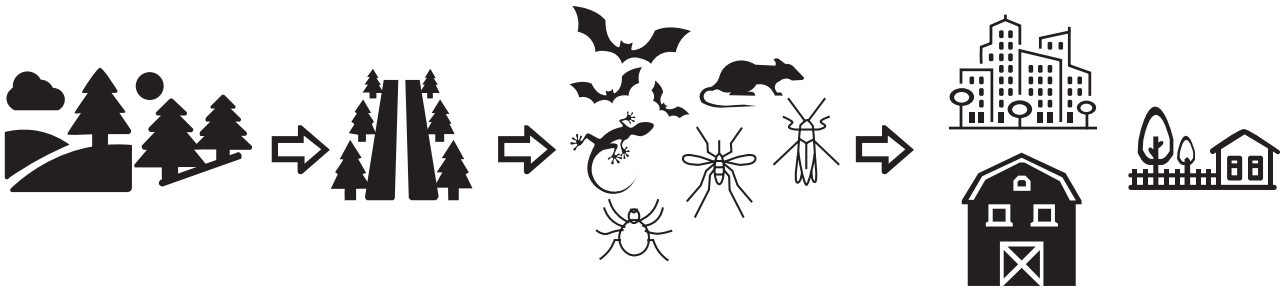


Figura 1. Las perturbaciones ambientales obligan a los organismos nativos a salir en busca de lugares que satisfagan sus necesidades de alimentación y abrigo. Los asentamientos humanos proveen de estos beneficios gracias a las construcciones, mal manejo de desperdicios y los traspatios.

no solo en zonas con características parecidas a las nativas, sino en otros donde no se esperaba encontrarlos. Pero esto no se restringe solo a vectores de tipo atropodo, como ya se menciono, pequeños mamíferos también tienden a sobrellevar muy bien los cambios. Roedores y murciélagos son buenos indicadores de perturbaciones, debido a como estas tienden a afectar patrones de comportamiento, como cambio en las épocas de reproducción, márgenes de distribución, territorialidad, entre otros. Además, es bien sabido que, estos ordenes de mamíferos, además de ser los más antiguamente evolucionados y ampliamente distribuidos alrededor del mundo, son conocidos por la amplia variedad de patógenos que pueden contener. Entonces, la plasticidad es un aspecto fundamental para la supervivencia en lapsos cortos de tiempo dirigido por condiciones desfavorables o diferentes, y viéndolo desde la perspectiva de salud humana, es un factor elemental para la llegada de nuevas enfermedades, tanto zoonóticas como epizooticas (de animales silvestres a domésticos), así como un reflejo de la pérdida de integridad de los ecosistemas naturales.

Plasticidad en los virus: la elección del huésped

Los virus como tal son entidades formadas por material genético ya sea DNA o RNA, en su mayoría cubiertos por una capa de proteínas y otros elementos estructurales. Su naturaleza aparentemente simple, además de la capacidad de combinar su material genético con el de las células de los organismos en los cuales habiten o infecten, les confiere ciertas ventajas, sobre

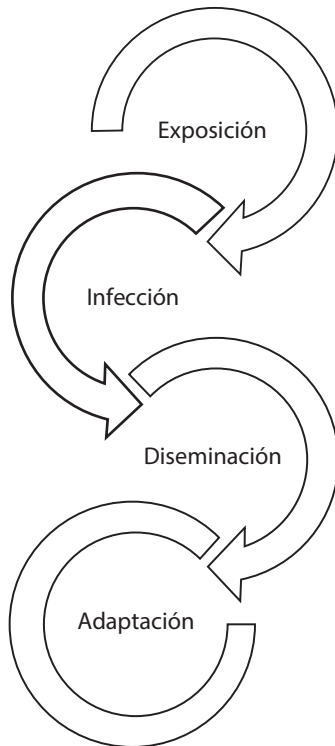
todo al momento de encontrar a un organismo con la capacidad de sostener su ciclo de replicación de manera eficiente.

Los virus que poseen una alta plasticidad de huéspedes, o séase, un rango de organismos capaces de sostener su replicación ecológica y taxonómicamente diferentes unos de otros, tenderán a un éxito no solo para su distribución y dispersión, si no, por ejemplo, en aquellos agentes que provengan directamente del medio natural, portados por animales silvestres, tendrán una probabilidad más alta de ser amplificados con una transmisión hacia el ser humano y luego de humano a humano. (Johnson,2015).

Patógenos transmitidos por vector tienen un rango de huéspedes más amplio que los virus que no tienen un vector como transmisor primario (Johnson,2015).

La naturaleza del genoma de cada virus también le confiere características propias de su grupo. Los virus de RNA han demostrado tener un nivel de variabilidad mucho mayor con respecto a los virus cuyo genoma está conformado por DNA, esto dado por su alta tasa de mutaciones y un mayor número de generaciones con respecto al tiempo. Todos los arbovirus con capacidad patogénica conocida y potencial para el ser humano pertenecen a familias de virus de RNA (Flaviviridae, Bunyaviridae, Thogaviridae, etc) cuya naturaleza susceptible al cambio, los favoreció para encontrar en el ser humano y organismos afines, las condiciones óptimas para reproducirse, poder pasar de individuo en individuo y seguir existiendo.

Figura 2. Pasos para el establecimiento de una nueva enfermedad emergente en una población de hospederos nuevos.



1. Escenarios Futuros: Enfermedades emergentes, la fauna silvestre y el Dengue

Según la WHO, una enfermedad emergente se define como aquella que aparece por primera vez en una población, o que posiblemente tuviera reportes previos de su aparición pero que rápidamente incremento su rango tanto geográfico como de incidencia.

Estos padecimientos pueden ser de diferente índole, ya sea bacterianas, fúngicas, parasíti-

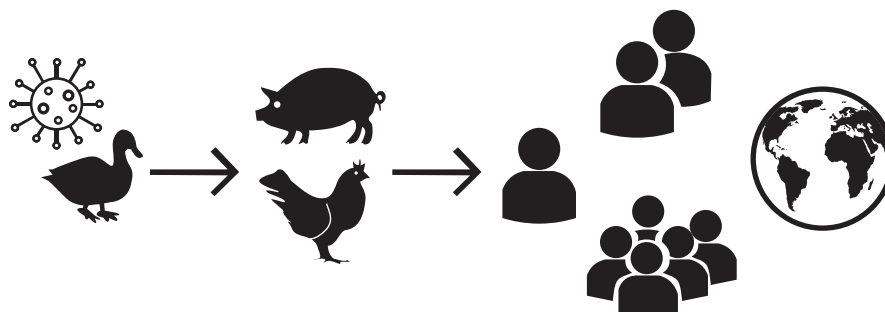
cas, virales, etc., manteniendo como factor común su origen dentro de los sistemas naturales silvestres.

El proceso de emergencia envuelve complejas interacciones ecológicas que van desde el nivel individual y que pueden extenderse hasta una concepción global.

Con la globalización y el crecimiento exponencial de las poblaciones humanas, cada vez existen menos lugares que no hayan sido tocados o perturbados de alguna manera por la presencia del hombre. Esto ha implicado una superposición de presiones ambientales para los ecosistemas, que se ve reflejado en la salud de los mismos, obligando a especies nativas a salir en búsqueda de nuevos hábitats, modificando su nicho correspondiente (Figura 1).

Nuevas cadenas tróficas se forman mientras las ancestrales se van perdiendo junto con sus integrantes para dar paso a la aparición de nuevos elementos. Los eventos coevolutivos llevados a cabo a lo largo de los miles de años que tiene la vida como la conocemos sobre la tierra, antes de la aparición del ser humano, les han brindado de ventajas que para nosotros, aun con nuestros 8 millones de años no hemos podido alcanzar. Estas desventajas se dejaron notar en cuanto las barreras naturales entre los hábitats humanos y los naturales comenzaron a modificarse, haciendo cada vez más constante la interacción con especies poco frecuentadas, sobre todo animales,

Figura 3. Ejemplo ilustrado del spillover con el caso del virus de la influenza, cuyo reservorio original son las aves acuáticas, y como de estas el virus salto hacia animales domésticos (cerdos, gallinas) y de estos hacia el ser humano generando pandemias históricamente importantes.



además de la domesticación de aquellos que proporcionaban servicios o productos que sustentaran las necesidades diarias.

Se tiene registro de que muchos de los padecimientos más conocidos y de los cuales se sabe, tuvieron su origen de manera silvestre, data desde el origen de la agricultura, la formación de asentamientos humanos y la domesticación (Wolfe, 2009).

A este tipo de procesos donde para el surgimiento de una nueva enfermedad intervienen intermediarios silvestres, en este caso animales donde se cruzan barreras dadas por la diversidad de especies, y que repercuten en la salud humana se le conocen como zoonosis.

Como se traspasan las barreras interespecies (spillover) (ejemplos: SARS, gripe aviar, smallpox...):

Muchas de las enfermedades que conocemos en la actualidad y que se presentan de manera cotidiana entre las poblaciones humanas, han sido el resultado del cruce de patógenos entre especies diferentes por contacto, intromisión en sus hábitats naturales, caza, domesticación, etc. Un ejemplo claro es la influenza y sus diferentes serotipos, los cuales tienen su origen en algunas especies de aves acuáticas y que puede infectar un amplio rango de animales vertebrados, entre ellos el ser humano.

A este fenómeno donde se da un "brinco" de un huésped de diferente especie a otro, se le denomina "Spillover", y se define como la capacidad de un agente viral extraño, que es introducido en una población diferente, de llevar a cabo su ciclo infeccioso (Childs, 2007).

La infección es mantenida dentro de un reservorio, Un reservorio es cualquier componente natural (animal, planta, desecho orgánico) dentro del cual, un agente infeccioso vive y se multiplica, garantizando su existencia. Algunos pueden actuar como vector y reservorio a la vez. Un vector es un organismo vivo que pueden trans-

mitir enfermedades infecciosas entre personas, o de animales a personas, un ejemplo de estos son los mosquitos transmisores de la malaria o el virus del Dengue. El destino de estos agentes infecciosos será introducirse en un hospedero el cual cumpla con las características requeridas para mantener su ciclo de vida.

Durante el proceso de spillover, un agente contenido en un reservorio entra en contacto con hospederos secundarios de diferente especie capaces de mantener el ciclo de replicación y generar un cuadro patológico, pasando por procesos alternados de infección y adaptación dentro de las poblaciones.

Una serie de pasos deben llevarse a cabo antes de que una enfermedad así pueda establecerse y se vuelva propio dentro de una nueva población, caracterizando este evento con la transmisión directa entre individuos (Fig.2).

Uno de los casos más estudiados y conocidos es el del VIH, el cual es un retrovirus cuyo reservorio original eran primates no humanos y que en la actualidad es una enfermedad transmitida directamente de persona a persona. Otro caso que remonta estadísticas cada año es la influenza, que primariamente se encontraba en las aves acuáticas y que se sabe, tiene un amplio rango de especies a las cuales puede infectar, desde otras aves, animales domésticos y de ganadería, hasta mamíferos marinos (Fig.2).

-Caso de los murciélagos

Dentro de la gran diversidad de mamíferos que existen en el mundo, los murciélagos son el orden más abundante así como el linaje más antiguamente evolucionando, surgiendo con anterioridad a otros ordenes de mamíferos como los roedores.

Pertenecientes al orden Chiroptera, mundialmente se tienen reconocidas alrededor de 1100 especies de murciélagos (20% de los mamíferos totales) englobadas en 17 familias (Smith, 2013), y se sabe que evolutivamente

hablando son mucho más antiguos que la mayoría de los mamíferos modernos.

Se tiene bien sabida la importancia de los murciélagos en la aparición de enfermedades emergentes alrededor del mundo. Más recientemente, tomó fuerza la necesidad de su entendimiento por la aparición de brotes relacionados con el SARS (síndrome respiratorio agudo severo) el cual es un coronavirus que se mantiene circulando por medio de su establecimiento en las poblaciones de murciélagos del género *Rhinolophus* en Asia, más específicamente en China, donde se dio registro de los primeros casos (Mackenzie, 2013).

Los murciélagos son de los mamíferos más abundantes, diversos y geográficamente dispersos de todos los vertebrados (Calisher, 2006), presentan características que los vuelven particularmente capaces de actuar como reservorios de múltiples enfermedades, dada su historia evolutiva tan temprana así como su estructura social y elementos fisiológicos.

Actualmente se sabe que existen más de 60 virus que los murciélagos pueden mantener en ma-

nera de reservorio (Calisher, 2006), dentro de los cuales se encuentran la rabia, el cual es un *Lysavirus* bien conocido por su mortal efecto en la fauna doméstica, o el virus de Marburg o el Ébola, los cuales son *Filovirus* que han azotado de manera importante regiones de África central en el último siglo por su capacidad infecciosa, elevada tasa de mortalidad y por la gran diversidad filogenética que se ha encontrado, lo cual sugiere una rápida evolución y por lo tanto, adaptación de estos virus a los diferentes ambientes que han logrado colonizar.

Los murciélagos han demostrado ser capaces de mantener en su organismo un amplio rango de elementos patógenos potencialmente infecciosos para otros vertebrados, entre ellos el ser humano. Cada año, estudios alrededor del mundo develan más y más virus que solo se pueden encontrar dentro de estos organismos. Un nuevo rubro dentro de estos estudios es el del descubrimiento de enfermedades no propias de los murciélagos que también se han aislado de estos. Ejemplos de ello son virus cuyo vector son artrópodos, como la Fiebre amarilla, Chikungunya, Dengue, entre otros. (Platt, 2000; Aguilar-Setien, 2008; Sotomayor-Bonilla, 2014; Geervarghese, 1990).

Tabla 2. Murciélagos con reporte de Dengue en México y otros países. Todas las especies, incluyendo las encontradas en otras regiones, residen en México. Se hizo un apartado particular de murciélagos separándolos de los demás mamíferos por el tipo de estudios que se han hecho y su relevancia como vectores de enfermedades.

País	Estado	Género	Especie	Familia	Positivos
México	Yucatán	Artibeus	Lituratus *	Phyllostomidae	anticuerpos
		Artibeus	Jamaicensis *	Phyllostomidae	anticuerpos
	Pacífico (Colima y Jalisco)	Glossophaga	Sorcina *	Phyllostomidae	anticuerpos
		Natalus	Stramineus	Natalidae	anticuerposproteína NS1 DENV
	Golfo de México (Veracruz)	Pteronatus	Parnelli	Mormoopidae	anticuerpos
		Artibeus	Jamaicensis	Phyllostomidae	anticuerpos
		Myotis	Nigricans	Vespertilionidae	anticuerposproteína NS1 DENVDENV tipo 2
		Carollia	Brevicauda	Phyllostomidae	0DENV tipo 2
	Jalisco (Chamela)	Sturnia	Lilum	Phyllostomidae	proteína NS1 DENV
		Desmodus	Rotundus	Phyllostomidae	DENV tipo 2
	Riviera Maya (Calakmul)	Artibeus	Phaeotis	Phyllostomidae	DENV tipo 2
		Artibeus	Lituratus	Phyllostomidae	
Chiapas (Montes Azules)	Artibeus	Jamaicensis	Phyllostomidae		
	Glossophaga	Sorcina	Phyllostomidae		
Morelos (Cocoyoc)	Artibeus	Lituratus	Phyllostomidae		
	Artibeus	Intermedius	Phyllostomidae	ANTICUERPOSDENV tipo2	
Costa Rica y Ecuador	Artibeus		Phyllostomidae	ANTICUERPOS	
	Uroderma		Phyllostomidae	ANTICUERPOS	
	Molossus		Molossidae	ANTICUERPOS	
Guiana Francesa	Artibeus	Plantirostris (NM)	Phyllostomidae	DENV tipo 1-2-3	
	Carollia	Perspicillata	Phyllostomidae	DENV tipo 1-2-3	

-Reportes de arbovirus en animales (mundiales)

La manera en la que la fauna silvestre interviene dentro de los ciclos naturales de los arbovirus ha sido de mucho interés, ya que dichas enfermedades no solo tuvieron animales silvestres como huéspedes intermediarios, finales y reservorios naturales, sino por la cercanía que actualmente y desde la formación de asentamientos humanos, mantiene con todos estos elementos y que dieron pie al surgimiento de problemáticas de salud que, con los años se han vuelto más complejos tratando de entender el origen de estos virus para mejorar los sistemas de vigilancia y prevención.

Los arbovirus siguen un ciclo en el cual interviene el ser humano, no solo por ser una fuente de alimentación óptima para los vectores, si no porque los virus se han adaptado, por nuestras condiciones celulares, fisiológicas y anatómicas, a tenernos como el huésped más adecuado para llevar a cabo su ciclo de desarrollo.

En las últimas décadas, investigaciones enfocadas en la exploración de la fauna silvestre americana para el posible establecimiento de un nuevo ciclo selvático ha dado indicativos de que estas interacciones podrían estarse llevando a cabo y que podrían tener un papel importante dentro de la problemática actual del virus del Dengue y de otros arbovirus de los cuales solo se conocían ciclos silvestres en su lugar de origen.

-Fauna Mexicana con Dengue

Esta es un área de estudio realmente nueva en nuestro país, con menos de 10 años incursionada en ello, pero que ha generado resultados de gran interés, ya que precisamente de la mano con lo que ya se ha comentado de la problemática en la vigilancia del Dengue en nuestro país, se deben ampliar los panoramas para buscar nuevos patrones de comportamiento del virus no solo en las poblaciones humanas, sino también en los animales.

Estudios de la fauna de otros países, sobre todo lo correspondiente al continente americano don-

de solo se tiene conocimiento del ciclo entre los vectores y el ser humano, queda todavía en cuestionamiento si otros elementos del entorno (animales domésticos, ganado, silvestres, etc) puedan verse involucrados en el ciclo, acomplejando la dinámica de transmisión del virus.

Mediante una revisión bibliográfica, se hizo un compilado de las especies que se han reportado con positivo en estudios para dengue, anticuerpos y proteínas NE, tanto silvestres como en pruebas de laboratorio donde se afirma la sustentación de la replicación del virus en tales individuos (Tabla 1-3).

De las especies encontradas se separó e identificó, cuales eran propias de nuestro territorio (Figura 4), aunque el reporte de positivo no estuviese registrado aquí. Esto con la finalidad de hacer un análisis de riesgo, cabiendo la posibilidad de que pudieran tener algún papel dentro de la problemática que vive nuestro país con respecto a las enfermedades transmitidas por vectores.

Conclusiones

Las enfermedades emergentes representan un reto constante en el cuidado de la salud pública dado que dependen de la unión de diversos factores tanto bióticos como abióticos para su aparición. Un elemento clave para el surgimiento de enfermedades es el contacto con fauna silvestre o su acercamiento hacia los asentamientos humanos. No todas las enfermedades infecciosas de esta naturaleza, han llegado a establecer un ciclo de transmisión único entre seres humanos, si no están acoplados a ciclos donde intervienen intermediarios como vectores o huéspedes amplificadores. El dengue es uno de estos casos donde la transmisión se mantiene mediante ciclos de infección por la picadura de un mosquito (vector). Cualquier enfermedad cuya transmisión esté sujeta a la interacción con otras especies, y a su vez, que esto influya en su ciclo de vida, vera influenciada su cinética, de acuerdo a las condiciones ambientales que afecten a los vectores. Es por esto, que es necesario ampliar la concepción que se tiene de las enfermedades

cuyo origen reside en los ecosistemas naturales y mantienen sus ciclos de desarrollo dentro de estos. Estudios que engloben todos los factores que tienen una influencia directa sobre la emergencia, no solo en el sector de salud, si no viéndolo integralmente, desde los elementos biológicos, ecológicos, geográficos, históricos, sociales, ambientales, no solo de los individuos,

si no de las comunidades, para entender con mayor precisión el origen y la predisposición que existe para el surgimiento o resurgimiento de este tipo de patologías, así como para el análisis de factores de riesgo y la generación de programas que aporten medidas preventivas, formulación de políticas de cuidado y vigilancia en salud pública y regulación ambiental.

Tabla 3. Mamíferos y marsupiales con reporte de Dengue. Los nombres marcados con * son especies que podemos encontrar en México y que representaría un riesgo potencial en una búsqueda de virus.

País	Género	Especie	Positivos				Año
Guiana Francesa	Dasyopus*	spp.		DEVN-2			2009
	Merachirus	nudicaudatus		DEVN-2			2009
	Dasyprocta*	leporina		DEVN-2			2009
	Coendou*	spp.		DEVN-2			2009
	Mazama*	spp.		DEVN-2			2009
	Oecomoyo spp.		DENV-1	DEVN-2			2004
	Orylomys	megacephalus	DENV-1		DENV-3		2004
USA (Lab)	Proechimys	cayennensis	DENV-1	DEVN-2	DENV-3		2004
	Neacomys	paracou			DENV-3		2004
	Caluromys	philander	DENV-1				2004
	Micoureus	demerarea	DENV-1	DEVN-2		DENV-4	2004
	Didelphis	marsupialis*		DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2004
	Marmosa*	murina	DENV-1	DEVN-2	DENV-3		2004
	Pilander	opossum*	DENV-1	DEVN-2			2004
	Marmosops	parvidens			DENV-3		2004
Panamá (Lab)	Ateles *	geoffroyi	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Macaca	mulatta	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Macaca	fascicularis	DENV-1	DEVN-2		DENV-4	2014
	Chlorocebus	aethiops	DENV-1	DEVN-2	DENV-3		2014
	Aotus	nancymae	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Pan	trogodites	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Macaca	nemestrina	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Callithrix	jacchus	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Erythrocebus	patas	DENV-1	DEVN-2			2014
	Saimiri	sciureus	DENV-1				2014
	Hylobates	Lar	DENV-1	DEVN-2	DENV-3	DENV-4	2014
	Presbytis	crinata		DEVN-2			1958
	Papio	papio		DEVN-2			1958
	Cebus	capucinus		DEVN-2			1958
	Ateles	fusciceps		DEVN-2			1958
	Allouatta *	palliata		DEVN-2			1958
	Markina	geoffroyi		DEVN-2			1958
	Saimiri	ostedii		DEVN-2			1958
	Aotus	trivirgatus		DEVN-2			1958

Tabla 4. Reptiles con reporte de arbovirus. *Presente en México

Familia	Género	Especie	Positivos			Año	Referencia	
			CHIKV	DENV-1	DENV-2			
Geckonomidae	Gecko *	gecko	CHIKV	DENV-1	DENV-2		1966	C. Chastel, 1996
	Hemidactylus *	frenatus *	CHIKV				1966	C. Chastel, 1997
Scincidae *	Mabuya	miltufasciata	CHIKV				1966	C. Chastel, 1998
Agamidae	Calotes	versicolor	CHIKV	DENV-1	DENV-2	DENV-3	1966	C. Chastel, 1999
	Physignathus	cocincinus	CHIKV				1966	C. Chastel, 2000
Crotalidae *	Ancistrodon	rhodostoma	CHIKV	DENV-1	DENV-2	DENV-3	1966	C. Chastel, 2001
Elapidae *	Naja	naja	CHIKV	DENV-1	DENV-2	DENV-3	1966	C. Chastel, 2002
	Bungarus	fasciatus		DENV-1	DENV-2	DENV-3	1966	C. Chastel, 2003

Bibliografía

- Aguilar-Setien, A., Romero-Almaraz, M. L., Sánchez-Hernández, C., Figueroa, R., Juárez-Palma, L. P., García-Flores, M. M., ... & García-Estrada, C. (2008). Dengue virus in Mexican bats. *Epidemiology and infection*, 136(12), 1678-1683.
- Althouse, B. M., Durbin, A. P., Hanley, K. A., Halstead, S. B., Weaver, S. C., & Cummings, D. A. (2014). Viral kinetics of primary dengue virus infection in non-human primates: a systematic review and individual pooled analysis. *Virology*, 452, 237-246.
- Beckham, J. D., & Tyler, K. L. (2015). Arbovirus infections. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*, 21(6 NEUROINFECTIOUS DISEASE), 1599.
- Calisher, C. H., Childs, J. E., Field, H. E., Holmes, K. V., & Schountz, T. (2006). Bats: important reservoir hosts of emerging viruses. *Clinical microbiology reviews*, 19(3), 531-545.
- Childs, J. E., Mackenzie, J. S., & Richt, J. A. (Eds.). (2007). *Wildlife and emerging zoonotic diseases: the biology, circumstances and consequences of cross-species transmission (Vol. 315)*. Springer Science & Business Media.
- Christophers, S. (1960). *Aedes aegypti (L.) the yellow fever mosquito: its life history, bionomics and structure*. *Aedes aegypti (L.) the Yellow Fever Mosquito: its Life History, Bionomics and Structure*.
- Daszak, P., Cunningham, A. A., & Hyatt, A. D. (2000). Emerging infectious diseases of wildlife--threats to biodiversity and human health. *science*, 287(5452), 443.
- Geevarghese, G., & Banerjee, K. (1990). Role of bats in the natural cycle of arboviruses. *Current science*, 59(1), 26-31.
- Gubler, D. J. (2001). Human arbovirus infections worldwide. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 951(1), 13-24.
- Guzman, M. G., Halstead, S. B., Artsob, H., Buchy, P., Farrar, J., Gubler, D. J., ... & Nathan, M. B. (2010). Dengue: a continuing global threat. *Nature Reviews Microbiology*, 8, S7-S16.
- Huang G, Vergne E, Gubler DJ. Failure of dengue viruses to replicate in *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*. 1992 Nov;29(6):911-4. PubMed PMID: 1460627.
- Johnson, C. K., Hitchens, P. L., Evans, T. S., Goldstein, T., Thomas, K., Clements, A., ... & Mazet, J. K. (2015). Spillover and pandemic properties of zoonotic viruses with high host plasticity. *Scientific reports*, 5, 14830.

13. de Lamballerie, X., Leroy, E., Charrel, R. N., Tset-sarkin, K., Higgs, S., & Gould, E. A. (2008). Chikungunya virus adapts to tiger mosquito via evolutionary convergence: a sign of things to come?. *Virology journal*, 5(1), 33.
14. Paupy, C., Delatte, H., Bagny, L., Corbel, V., & Fontenille, D. (2009). *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and Infection*, 11(14), 1177-1185.
15. Platt, K. B., Mangiafico, J. A., Rocha, O. J., Zaldivar, M. E., Mora, J., Trueba, G., & Rowley, W. A. (2000). Detection of dengue virus neutralizing antibodies in bats from Costa Rica and Ecuador. *Journal of medical entomology*, 37(6), 965-967.
16. Powell, J. R., & Tabachnick, W. J. (2013). History of domestication and spread of *Aedes aegypti*-A Review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 108, 11-17.
17. Serra, O. P., Cardoso, B. F., Ribeiro, A. L. M., Santos, F. A. L. D., & Shessarenko, R. D. (2016). Mayaro virus and dengue virus 1 and 4 natural infection in culicids from Cuiabá, state of Mato Grosso, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 111(1), 20-29.
18. Smith, I., & Wang, L. F. (2013). Bats and their virome: an important source of emerging viruses capable of infecting humans. *Current opinion in virology*, 3(1), 84-91.
19. Sotomayor-Bonilla, J., Chaves, A., Rico-Chávez, O., Rostal, M. K., Ojeda-Flores, R., Salas-Rojas, M., ... & Aguilar-Faisal, J. L. (2014). Dengue virus in bats from southeastern Mexico. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 91(1), 129-131
20. SOUZA, M. A. R. K., & FREIERI, J. E. (1991). Vertical transmission of dengue 1 virus by *Haemagogus equinus* mosquitoes.
21. Tabachnick, W. J. (2013). Nature, nurture and evolution of intra-species variation in mosquito arbovirus transmission competence. *International journal of environmental research and public health*, 10(1), 249-277.
22. Torres-Galicia, I., Cortés-Poza, D., & Becker, I. (2014). Dengue en México: análisis de dos décadas. *Gaceta médica de México*, 150, 122-127.

EL IMPACTO AMBIENTAL COMO CAUSA DE LA EMERGENCIA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR

Ángel Santiago González Canuto

Antecedentes

La crisis ambiental es un hecho indiscutible de la cual subyacen distintos fenómenos complejos. Entender la causalidad de estos fenómenos implica un pensamiento sistémico. Que de manera particular, para el caso del Impacto Ambiental involucra una multidisciplinariedad y un conocimiento holístico del problema.

El termino ambiente abarca la amplitud de la realidad, no solo factores físico-naturales sino factores sociales, económicos, culturales e históricos, en otras palabras literalmente significa todo lo que nos rodea, nos sostiene, nos nutre y provee para la vida (Hunter R. & Smith, 2005) por lo que posee numerosos significados aplicados según el contexto en el que se utilice (Johnson, y otros, 1997) y que para el caso del presente texto nos referiremos a ambiente como el ambiente físico o material que rodea a los organismos (Ordoñez, 2000).

Este origen conceptual remoto desde la antigüedad, con las primeras concepciones de lo que se entendía y se filosofaba de la naturaleza (entiéndase aquí desde una perspectiva occidental). De esta manera el ambiente, era la materialización de las distintas naturalezas, una manifestación mundo sensible platónico y la realidad tangible aristotélica. Con la expansión del cristianismo y por ende del teocentrismo como fundamento epistémico, el ambiente es considerado como aquello físico y terrenal de la creación de Dios, y que deja a disposición del hombre para su uso (McInerney & Caponigri, 1963)..

El sincretismo de la época converge en la adoración pagana a las formas de la naturaleza (ríos,

montañas, animales) y la concepción cristiana de la creación, lo cual conlleva a considerar al ambiente como formas sagradas y bajo leyes divinas (Barros, 2001). Sin embargo, la principal consecuencia del teocentrismo es situar al hombre por encima de la creación, es decir del ambiente, con ello se postularían los principios del antropocentrismo (Hoffman & Sandelands, 2004).

El humano como creatura racional y civilizatoria que domina al ambiente y en base al método científico puede conocer las leyes que rigen la naturaleza. Como tal esta se convierte en un objeto para la ciencia, una materia ilimitada para el bienestar social, un recurso para explotarse y una fuente de riqueza económica (Sessions, 1974). Esta ideología permea los siglos en donde la población humana creció exponencialmente y el impacto ambiental fue irreversible (Belshaw, 2001).

A mediados de los años 70, la corriente Biocentrista plantea al hombre como parte de la misma naturaleza y lo sitúa por debajo de otras especies, debido a que es la causa del colapso ambiental planetario. Esta corriente de pensamiento apela la progresiva disminución de la población humana y su extinción. Cabe señalar al ecocentrismo, corriente consiguiente, el cual hace alusión a la importancia de las comunidades de especies sobre la importancia individual de cada una de estas (Keller, 1997). Sin embargo en años recientes, corrientes de pensamiento tratan de converger las ideas provenientes de antropocentrismo, biocentrismo y ecocentrismo en igualdad de perspectivas, las cuales resultan en la Ecología profunda y en la ecosofía. Es desde este planteamiento, como el ser huma-

no, se integra a la misma biodiversidad en equidad de valor ético ante otras especies y ante el mismo ambiente del cual es parte (Naess, 1986). El ambiente no es un contexto aislado sino un equilibrio de interrelaciones complejas donde la existencia es dependiente de todo el mismo sistema y que el impacto ocasionado representa así mismo una amenaza para el mismo sistema.

El ambiente de nuestro planeta Tierra ha estado en completo cambio desde sus orígenes, sin embargo con la aparición de la especie humana y la interacción consecuente, ocasiono un rápido proceso de modificación diferente a los directamente de origen geológico, nombrado como Antropoceno (Zalasiewicz, y otros, 2008). El comienzo del Antropoceno nace a partir del aprovechamiento de los recursos naturales que hace el hombre del ambiente para cubrir sus necesidades y perpetuar su existencia y por ende su reproducción, desarrollo y evolución. Surge la agricultura y la domesticación, inicia la tecnificación de todas las actividades rudimentarias, el crecimiento poblacional y la expansión territorial lo que conlleva como consecuencia la alteración del paisaje natural y la artificialización de este (Redman, 1990) (Santos, 1996).

Es por eso que actualmente se utilizan el término de ambiente natural para referirse aquellos paisajes donde la intervención humana es mínima y se compone de la función ecológica entre sus individuos en contraste de ambiente construido o artificial para aquellos paisajes que han sido modificados por el humano visibles en el proceso de urbanización (Johnson, y otros, 1997).

A diferencia de los ambientes naturales, que son autosuficientes por principios de baja entropía (Fath, Patten, & Choi, 2001), los ambientes artificiales requieren de aumentos constantes de energía del exterior para su funcionamiento y no ser vulnerables e insostenibles (Cabral, Augusto, Tewolde, & Araya, 2013). Estos constantes bombeos energéticos son traducidos en una mayor presión sobre el ambiente natural, la cual

repercute en su funcionalidad ecológica y de esta manera su alteración da como consecuencia a distintos niveles de impacto ambiental y a un desequilibrio ecológico (UNEP, 2016).

El impacto ambiental y el desequilibrio ecológico por siglos fueron considerados como algo inexistente por el antropocentrismo, hoy en día son un tema de debate y un problema complejo de abordar, que emergen, tal vez como un discurso político vigente y justificante del desarrollo no sustentable, o a partir de la insostenible idea de la prosperidad de crecimiento económico actual. A pesar de la poca o nula relevancia en los hechos históricos de los milenios anteriores, el impacto ambiental fue la causa de innumerables tragedias que diezmaron de la población humana, como lo fueron las grandes epidemias.

La relación entre el Impacto ambiental y salud global

El impacto ambiental, como se ha abordado, ha existido en toda la historia de la humanidad, en el LGEEPA se define como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza; en cambio el desequilibrio ecológico es la alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos (DOF, 2012). La reacción en cadena por la presión sobre los recursos naturales del ambiente en determinado lugar trae consecuencias a todo el planeta debido a la globalización, porque el impacto no queda confinado solo lugar de origen (Najam, Runnalls, & Halle, 2007). Una de las tantas consecuencias son las afectaciones a la salud, no solo humana, sino también animal y ecosistémica (Myers, y otros, 2013).

El impacto ambiental ocasiona pérdidas de especies, degradación de hábitats y fenómenos desencadenantes y determinantes para la salud. Cabe destacar que la mayoría los estudios con respecto al ambiente y salud en se concentran en las afectaciones de la población huma-

na con énfasis a emisiones contaminantes, en contraparte y con poca retribución a la calidad ambiental y de salud de los ecosistemas, esto debido a sus complejas asociaciones multidimensionales (PNUMA & OPS/OMS, 2009). Un ejemplo de estas asociaciones son las enfermedades infecciosas.

Las enfermedades infecciosas son aquel tipo de padecimientos causados por microorganismos patógenos como bacterias, los virus, los parásitos o los hongos. En el pasado fueron importante causa de mortalidad: pestes, epidemias y pandemias que arrasaron con la población mundial como la peste negra, el cólera, la lepra y la viruela (Ledermann, 2003). A mediados del siglo XX se pronosticó el final de las mencionadas enfermedades, mediante la atención sanitaria, las campañas de vacunación y la suministración de antibióticos. Sin embargo la emergencia de nuevos agentes patógenos causando nuevas enfermedades infecciosas, la reemergencia de anteriores enfermedades erradicadas y la creciente inmunidad patogénica a las dosis de antibióticos antes aplicadas vuelven a ser vigentes y de mayor riesgo por la época global que se vive (Gestal, 1997). La mayoría de los brotes recientes de enfermedades infecciosas tienen un origen zoonótico, es decir que son transmitidas de los animales al humano.

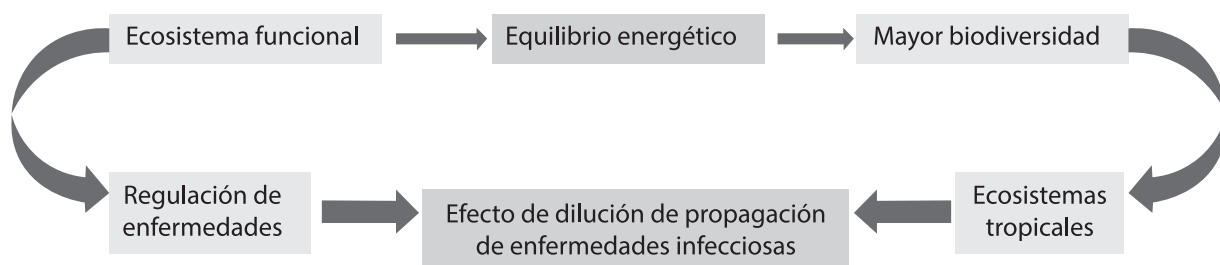
Actualmente las enfermedades infecciosas representan 29 de las 96 causas principales de morbilidad y mortalidad humanas enumeradas por la Organización Mundial de la Salud

(OMS), lo cual representa el 24% de la carga mundial siendo la segunda causa de muerte a nivel mundial por debajo de las enfermedades cardiovasculares. Esta cifra aumenta anualmente debido a la aparición de Enfermedades Infecciosas Emergentes (EIE) y Reemergentes (EIR) (Trinca F., 2005) (Cabezas-Sanchez, 2015) calificadas por el termino de síndromes del cambio global evidenciándose en los años 90 (Zinsstag, Schelling, Waltner-Toews, & Tanner, 2011). Dentro de estas se tienen aquellas enfermedades transmitidas por vector (ETV) es decir que necesitan de un agente biológico para transmitir el agente patógeno (en su mayoría artrópodos) (Gubler, 1998) y representan un 17% del total a nivel global constituyéndose como enfermedades de importancia socioeconómica según la OMS, de las cuales se detallara más adelante.

El efecto del impacto ambiental a la salud de los ecosistemas

La salud de los ambientes naturales es constantemente deteriorada a causa de los impactos ambientales de origen antrópico, visible en la pérdida de su funcionalidad y equilibrio ecológico. Los ambientes naturales o ecosistemas son hábitat de innumerables poblaciones de individuos interrelacionados biótica y abióticamente. Dentro de la organización de estos sistemas se encuentran los virus, los cuales contribuyen al mantenimiento del equilibrio ecológico entre otras interacciones poco conocidas que gobiernan a los ambientes naturales (Weitz, Wilhelm, & Sullivan, 2015).

Figura 1 Funcionalidad del ecosistema



Fuente: elaboración propia en base a Keesing, y otros, 2010

Los ecosistemas son sistemas considerados como la unidad básica de interacción organismo-ambiente resultado de complejas relaciones existentes entre componentes físicos o abióticos y biológicos o bióticos condicionantes para la reproducción y perpetuación de una población (Nebel & Wright, 1999). Para esta coexistencia son necesarias infinidad de funciones que mantendrán así la sustentabilidad del sistema relaciones intraespecíficas e interespecíficas, condiciones ambientales y ciclos biogeoquímicos. De hecho, los virus, las bacterias o los protozoos causantes de enfermedades son llamados microparásitos y son parte de la funcionalidad y biodiversidad dentro de los ecosistemas naturales (Wilcox & Ellis, 2006).

Si bien es conocido que las causas de las enfermedades infecciosas en humanos son provocadas por virus, la mayoría de estos tienen un origen zoonótico y poseen nididad, la cual es la habilidad de mantener un foco dinámico y permanente de circulación del virus al interior del ecosistema (Cabello & Cabello, 2008), a partir de especies que sirven como reservorios naturales asintomáticos. Hasta el momento se desconoce cuántos y cuáles enfermedades infecciosas existen con ciclos selváticos de transmisión sin representar un riesgo directo a la salud humana (King, 2004) (Wolfe, Dunavan, & Diamond, 2007). Estos ciclos selváticos de transmisión o ciclos enzooticos, se refieren a la infección nidal de la enfermedad limitada entre especies animales del lugar, sin embargo debido al impacto ambiental ocasionado por el ser humano a los ambientes naturales tenemos ciclos humanos o urbanos de transmisión (Vasilakis, Cardoso, Hanley, Holmes, & Weaber, 2011). Nuevas enfermedades zoonóticas se descubren consecutivamente a causa de la incorporación de la actividad humana a nuevos territorios que contienen focos naturales de infección siendo por medio de un vector, una de las formas más comunes de transmisión. El humano interfiere con la funcionalidad del ambiente natural, lo desequilibra y pone en riesgo tanto su salud como la salud de todos los organismos que integran al ecosistema. Por

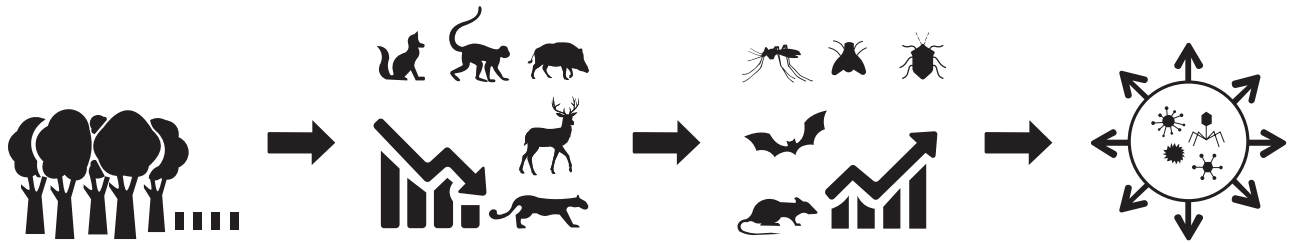
lo que es necesario preguntarse de que manera es cómo el humano impacta al ambiente para causar la emergencia de nuevas enfermedades, en especial aquellas que necesitan un vector para ser transmitidas.

La funcionalidad de los ecosistemas, como en todo sistema dinámico, hacen mantener un equilibrio en el flujo energético de entradas y salidas en sus distintos procesos es decir en completa entropía (Palacio, 1998). Un ecosistema con mayor cantidad de interrelaciones entre sus componentes lo hace más biodiverso, al momento de poder albergar infinidad de especies. Entre los ecosistemas terrestres con mayor riqueza de biodiversidad se encuentran los localizados cerca a los trópicos, como lo son los biomas de selvas y bosques. Y es de esta manera como los ecosistemas manteniendo una diversidad de especies en equilibrio proporcionan un efecto regulador de enfermedades infecciosas nombrado efecto de dilución, donde cada especie ocupa un nicho ecológico cíclico y único, donde la propagación, invasión y transmisión irregular evitan el surgimiento de epizootias (equivalente a las epidemias en poblaciones humanas) (Patz, 2005).

En consecuencia (Figura 1.1), una alta biodiversidad de especies puede reducir la exposición humana a las enfermedades infecciosas por vector mediante el efecto de dilución, este efecto se puede sintetizar en la reducción de la severidad que provoca el agente patógeno en una comunidad al momento de infectar distintos individuos de diferentes especies, los cuales algunos sufren infecciones leves y otros no pueden ser infectados, tendiendo a la disminución de la transmisión (Keesing, y otros, 2010).

Por el contrario la pérdida de biodiversidad o la baja biodiversidad representa un factor de incremento de enfermedades infecciosas en su mayoría aquellas transmitidas por vectores; de esta manera se afecta directamente a la funcionalidad del ecosistema perdiendo por ende el equilibrio y regulación de los agentes patógenos en sus

Figura 2: Efectos del impacto ambiental en la biodiversidad



Fuente: elaboración propia, 2017

nichos ecológicos. Como ejemplos de dichos disturbios se mencionan la emergencia del virus Nipha en Malasia, el virus Hendra en Australia, la enfermedad de Lyme en Estados Unidos todos ocasionados a partir de los cambios antropogénicos en el ambiente natural (Rulli, Santini, Hayman, & D'Odorico, 2017) (Thongsripong, Green, Kittayapong, Kapan, Wilcox, & Bennett, 2013). Para entender la complejidad de este fenómeno, se puede recurrir a distintos escenarios causantes de la transmisión de las enfermedades.

Escenario I: La causa de la emergencia de patógenos

Ahora bien, si el aumento de la actividad humana, como resultado del incremento de la población y su distribución hacia regiones antes desocupadas, ha provocado cambios importantes en el uso de suelo, reflejados principalmente en la pérdida de cubierta vegetal, transformando los ambientes naturales a artificiales, urbanizando y homogeneizando el paisaje (Patz, 2005). Si bien los efectos visibles de este impacto es la deforestación, esta no es la principal consecuencia. La principal consecuencia es la pérdida de biodiversidad, en el cual se incluyen el remplazo de las especies, la extinción de especies clave de depredadores, la variación en la densidad poblacional de estas y la disminución de la mastofauna, es a causa de los cambios antrópicos, donde la deforestación y la fragmentación son las peores amenazas a la que se enfrenta la biodiversidad (Miranda García, 1998).

Una vez mencionado lo anterior, el primer escenario o fase, se presenta al momento de destruir

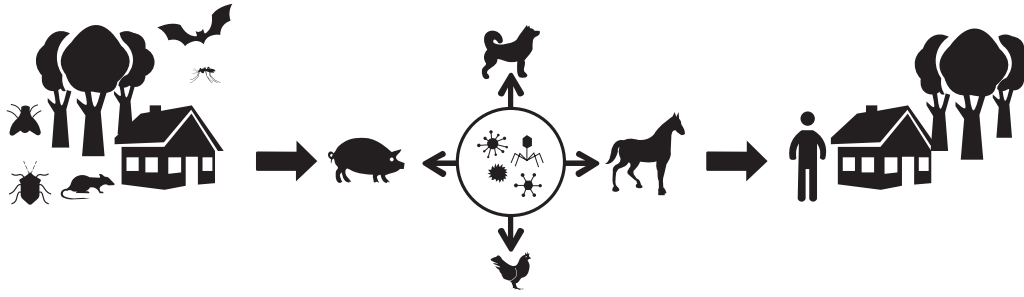
el hábitat de las distintas especies que habitan en estos ecosistemas lo cual provoca que surja el efecto borde, aplicando la teoría la biogeografía de Islas, provocado por los parches o remanentes de vegetación natural restantes, su biodiversidad se simplifica y surge la fragmentación del hábitat por modificación humana del paisaje (Heather Bird & Lenore, 2013).

La organización y la funcionalidad del sistema son alteradas, dando ventaja a que las poblaciones de especies invasoras y generalistas tengan tasas de reproducción más alta, se provoquen extinciones locales, en su mayoría de la mastofauna (eslabón fundamental en la cadena trófica), además de causar un estrés crónico en los individuos restantes de cada especie disminuyendo su sistema inmune lo cual hace surgir el efecto de amplificación contrario al efecto de disolución, siendo la causa principal del incremento de epizootias (Gillespie, 2012).

Escenario II: La cercanía del contacto con los hospederos en el ciclo rural

La segunda fase o escenario se presenta al momento que ocurre el contacto entre personas, animales domésticos y salvajes; este contacto aumenta a causa de la deforestación y la fragmentación y acrecienta el riesgo de transmisión de enfermedades que son naturalmente zoonóticas (Medina-Vogel, 2010; Meade & Emch, 2010; Mazet, Clifford, Coppolillo, Deolalikar, Erickson, & Kazwala, 2009). Este proceso se da a partir de cinco estadios de evolución del agente patógeno animal al humano (Wolfe, Dunavan, & Diamond, 2007), en cuyos casos a partir del sur-

Figura 3: Ciclo rural de transmisión de Enfermedades zoonóticas



Fuente: elaboración propia, 2017

gimiento de un ciclo epizoótico de transmisión, en el que se involucran nuevos hospederos del agente patógeno establece tanto una antropozoonosis (enfermedad animal que se transmite al humano) y en caso contrario como una zooantropozoonosis (enfermedad humana que se transmite al animal). En este escenario los brotes de la transmisión de la infección suelen pasar por dos ciclos, uno rural y otro urbano.

Ambos ciclos de transmisión están ajustados a la afirmación de que el mundo se está convirtiendo urbano, o es al menos es lo que se anuncia dentro de unos pocos años y no está de más confirmar tal argumento debido que las causas como lo son: el crecimiento demográfico, la inmigración y mejor calidad y mayor cantidad de servicios se concentran en las ciudades. Estos ambientes construidos o completamente artificiales no se distan de sus comienzos rurales. Los criterios para clasificar un lugar como rural o urbano son distintos debido a los elementos estadísticos que se utilicen de un país a otro hasta llegar al grado de definirla como arbitraria, aunque la principal diferencia entre ambos paisajes es visible en el nivel de artificialización del medio (González Arellano & Larralde Corona, 2013). Ambos paisajes (rural y urbano) presentan diferentes patrones ambientales de riesgo para la transmisión de enfermedades infecciosas.

En las localidades rurales, por su bajo nivel de artificialización, predominan actividades que involucran un contacto cercano o directo a ambientes naturales (agricultura, ganadería, reco-

lección, caza, entre otros) además del cohabitar con una gran cantidad de animales tanto domésticos como silvestres en lugares que contienen focos o nidos naturales de infección zoonótica. Su cercanía con ambientes impactados que han perdido el efecto de disolución involucra un riesgo para interferir en los ciclos selváticos de transmisión, en los ciclos epizoóticos y provocar los llamados ciclos rurales de transmisión.

Los ciclos rurales de transmisión involucran hospederos secundarios o accidentales, que amplifican la difusión del agente patógeno como lo son los animales domésticos (porcino, equinos, félicos, canidos) y a la población humana (Weaver & Barret, 2004) como lo son los brotes por infección por el virus Nipah (VNi) y virus Hendra (VHe). La relación entre las especies que se adaptaron al impacto ambiental junto con las especies domesticadas y las actividades que realiza la población rural confluyen en un Paisaje Epidemiológico, donde el traspaso surge como espacio de contagio de enfermedades infecciosas transmisibles y brotes epidémicos recurrentes (Meade & Emch, 2010). Las actividades socioeconómicas de estos los lugares rurales implican un contacto diario con estos ambientes impactados además de una movilidad sea laboral o de servicios hacia centros urbanos (Christaller, 1966).

Escenario III: La entrada al comienzo en el ciclo urbano

El patrón de la movilidad de la población es establecido por las conexiones económicas que se

tienen entre los dos distintos espacios artificiales (rurales-urbanos). Esta movilidad de localidades rurales a centros urbanizados trae consigo una difusión del agente patógeno a potenciales nuevos hospedantes a causa de la alta densidad poblacional de estos espacios (Stoddard, y otros, 2009). La movilidad de la población involucra flujos cíclicos estacionales de concentración (a centros urbanos) y disgregación (hacia localidades rurales) de manera periódica (por día, por semana o por mes) lo que involucra una tanto un incremento (al momento de la concentración) y una reducción (al momento de la disgregación) constante de la difusión de la enfermedad (Buckee, Tatem, & Metcalf, 2017).

El límite de la difusión de la enfermedad no concluye en ambientes urbanizados particulares sino se propagan entre sus demás conexiones urbanas. Esto debido a la alta tasa de contagio y a la elevada cantidad de conexión con otros centros urbanizados de los cuales muchos son nombrados como megaciudades, a través de distintos medios de transporte, la velocidad de la difusión de la enfermedad sobrepasa las barreras geográficas lo que da origen a las epidemias. El flujo de personas de un punto a otro punto del mundo es cuestión de horas a causa de la Globalización, atribuyéndosele el incremento de la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas y por consecuencia el surgimiento de pandemias (Coto, 2005) (Atatah & Kisavi-Atatah, 2016).

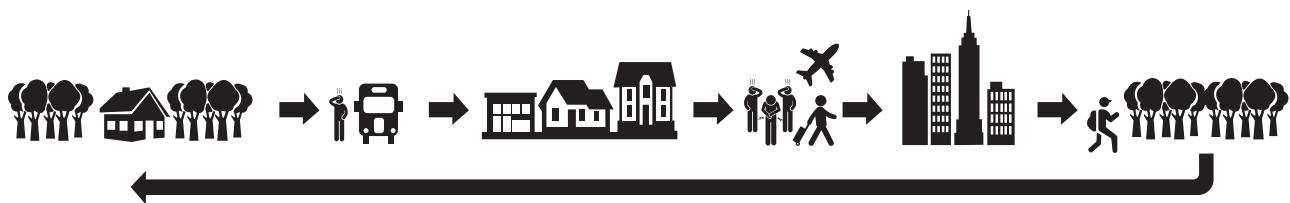
Además, el turismo como actividad económica en crecimiento, aumenta el riesgo de difusión de la enfermedad (Sutherst, 2004) tanto en el

momento de viajar a lugares donde es endémica la enfermedad, en el trayecto del viaje o en el momento de llegar al lugar de origen, tanto como persona infectada en este caso como hospedero siendo el caso más común, el transportar al vector de la enfermedad o en su último transportando a un reservorio del patógeno.

Un caso particular, es el que se refiere a la práctica de ecoturismo o turismo ecológico, que si bien no se cuestionan las ventajas y beneficios económicos locales que trae consigo, además de ser un instrumento de sensibilización a la conservación de la Biodiversidad, el contacto cercano entre la especie humana con especies silvestres en un medio natural acrecienta la vulnerabilidad e incrementa la exposición de riesgo a agentes patógenos tanto de humanos a animales como viceversa (Kathleen, Pleydell, Williams, Lane, Nyange, & Michel, 2002).

Lo que se sugiere como un tipo distinto de impacto Ambiental donde al incursionar en Áreas de Conservación Natural (ACN) se necesita de un mejor manejo y minimización de las actividades que se desarrollen en estas (Buckley, 2004). El ecoturismo propicia al establecimiento potencial de epizootias en ambientes naturales en donde se no se tenía la nidalidad para la enfermedad o la introducción de un nuevo agente patógeno al ecosistema por una zooantroposis (Chomel, Belotto, & Meslin, 2007). De esta manera se da entrada al comienzo, en donde la difusión del agente patógeno no queda limitada a ambientes artificiales sino también a ambientes naturales.

Figura 4: Ciclo urbano de transmisión de enfermedades infecciosas



Fuente: elaboración propia, 2017

Mencionado lo anterior, se podría entender un ciclo de manera lineal, sin embargo los factores hasta ahora expuesto implican solo una simplificación de distintos fenómenos interconectados en un sistema de relaciones complejas. La multicausalidad del fenómeno de la Emergencia de las enfermedades y aquellas transmitidas por vector es adjudicada a distintos factores multi-escalares (micro y macro), en donde la modificación del ambiente natural podría adjudicarse como la causa primaria y principal. La interacción entre los distintos elementos puede desencadenarse en distintas direcciones según se presenten, retomando factores causales repetidamente o iniciando ciclos sin un límite establecido, a lo cual se le nombra Biocomplejidad (Wilcox & Colwell, 2005).

De la Biocomplejidad a la Ecosalud

Abordar la realidad desde un solo enfoque disciplinario, actualmente es limitado y poco preciso, debido a la complejidad de los fenómenos actuales. La Complejidad es catalogada como un nuevo paradigma científico, contraria a la idea de una teoría especializada, concreta, simplista y reduccionista en un saber, es la búsqueda de la integración de distintas disciplinas que nos permita acceder a una teoría general que integre a todas estas (Morin, 1998). El estudio de la realidad como un sistema complejo o una realidad holística es atribuible a las interacciones entre distintas ciencias sociales-naturales, y la utilización conjunta de técnicas de ambas dentro de un mismo marco de los distintos aspectos como son sociales, físicos, químicos y biológicos (Manson, 2001) (Wilcox & Colwell, 2005).

La complejidad tiene una infinidad significados (como cosmovisión, método, interacciones, caos) y se refiere en primer instancia a la diversidad de elementos que componen una situación, un todo que se compone de partes que interactúan dinámicamente y que estas a su vez se encuentran en contacto con su medio ambiente, de esta manera todo es complejidad, cuya parte importante radica en la organización que tiene por naturaleza el mismo sistema

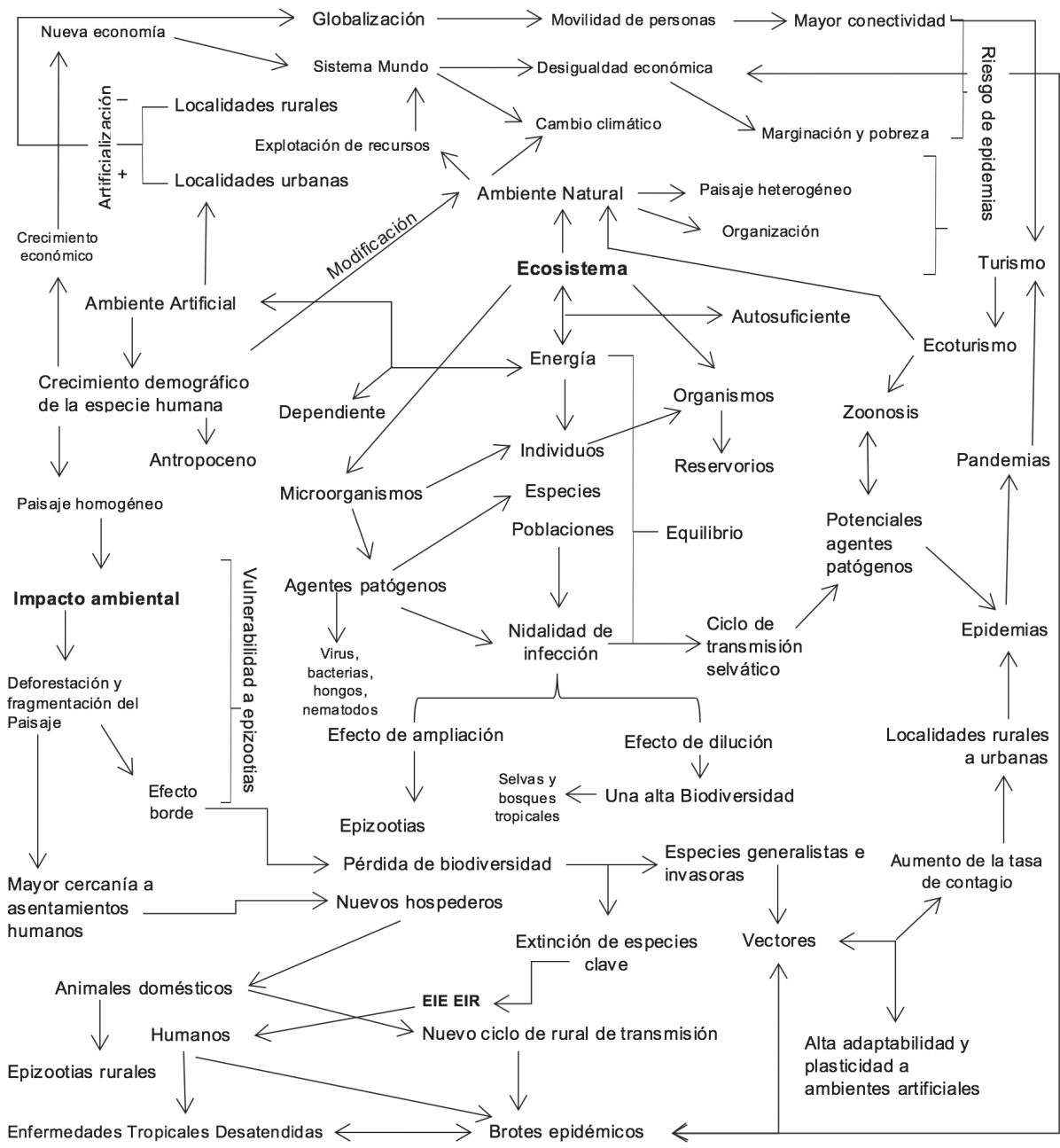
(Cornejo A., 1997). El orden yace en toda realidad estructurada y la organización yace solo en la función de estos diversos elementos que conforman al sistema; la función que organiza está presente solo en la materia viva, la cual actúa como un sistema completo y su función es vinculante a otros sistemas completos, dentro del marco denominado de la complejidad de la vida o Biocomplejidad (Marcos, 2009).

Como ejemplo de estas relaciones de Biocomplejidad, las EIE y las EIR confluyen en la interacción de microorganismos y con estilos de vida humanos complejos resultado de los modelos económicos establecidos de cada época, por lo que el entendimiento de los factores responsables de su emergencia y reemergencia es uno de los problemas científicos más difíciles actualmente que enfrenta la sociedad actual y en donde la visión simplista y o reduccionista, excluye a los agentes patógenos del contexto social al cual afectan y desvinculan el contexto ecológico de los seres vivos de donde se propagan los distintos agentes patógenos potencialmente dañinos (Wilcox & Colwell, 2005).

En el caso de la mayoría de las EIE y EIR, 60.3%, tienen origen zoonótico, es decir que constituyen su origen en los animales y son transmitidas al hombre según la cadena cíclica de la enfermedad infecciosa. Entender esta dinámica creciente entre animal-humano-microbio desde todos los contextos posibles se es necesario abordar y comprender todas las escalas posibles de este fenómeno (King, 2004). Como podemos observar en la Figura las redes interrelacionadas a distintas escalas y de distintos enfoques disciplinarios son causas de la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas.

En este sentido se comprende la implicación que tiene la salud ambiental de los ecosistemas en la Emergencia de las enfermedades infecciosas, sin embargo la salud de los ecosistemas ha sido abordada como un tema aparte de la salud humana. La Ecosalud es la disciplina que enlaza las relaciones entre la salud de los ecosistemas,

Figura 5: Biocomplejidad de la emergencia de las enfermedades infecciosas transmitidas por vector y zoonóticas



Fuente: Elaboración propia, 2017

la salud animal y la salud humana (Nguyen-Viet, Doria, Xuan, Mallee, Wilcox, & Grace, 2015). En resumidas cuentas, como se precisa la complejidad de los cambios globales requiera de un enfoque integrador de la salud humana con la salud animal y la salud ambiental dentro del contexto social y ecológico (Zinsstag, Schelling, Waltner-Toews, & Tanner, 2011).

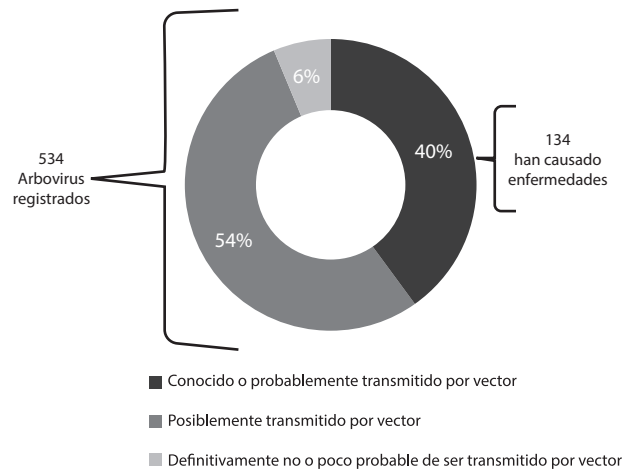
Si bien el enfoque de Ecosalud se concentra en la salud de los ecosistemas y ciencias multidisciplinarias abarcando la salud humana y animal, es el nuevo paradigma de abordar la salud unificada e integrada la cual recibe el nombre de "Una sola salud" (del acrónimo OH procedente de "One Health" traducción del inglés), evolución del concepto de "Una medicina" emprendida

por Rudolf Virchow (Saunders , 2000) la cual es respaldada y aprobada institucionalmente por Organismos Internacionales, esta visión integradora y multidisciplinaria puede ser entendida desde la epistemología que aborda la Ecosofía.

El término “Una sola salud” u OH fue institucionalizada en 2007 como una iniciativa conjunta de organizaciones internacionales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) y representa la visión holística para los complejos cambios actuales en nuestro planeta y las relaciones inextricables en relación a la salud. La colaboración conjunta entre especialistas en medicina, epidemiología, ecología, salud pública, medicina veterinaria, salud ambiental, biología molecular entre otras disciplinas en atención de la salud para prevenir futuros riesgos de infección de nuevas enfermedades tanto en animales como humanos y en los ecosistemas (Bousfield & Brown, 2011).

Llama la atención que dentro de la incursión multidisciplinaria por abordar estos problemas de Biocomplejidad se encuentra el uso de las Geotecnologías. Un ejemplo es que para el cálculo de la pérdida de biodiversidad y por consiguiente la emergencia de nuevas enfermedades, se ha desarrollado en las últimas décadas el uso cada vez más frecuente de sensores remotos, donde por medio de la teledetección directa es posible un acercamiento espacial de los disturbios ocasionados por el humano (Turner, Spector, Gardiner, Fladeland, Sterling, & Steininger, 2003). El monitoreo del proceso de deforestación es completamente evidente y evidenciable a través de los datos procedentes de imágenes satelitales, por lo que en recientes años el Instituto de Recursos Mundial (WRI), Google y más de 40 asociados lanzaron un sistemas de monitoreo forestal llamado Global Forest Watch, donde a partir del uso de datos satelitales de la NASA, más de 700,000 imágenes Landsat, se monitorea los procesos de la cubierta vegetal de todo el planeta (Hasen, y otros, 2013).

Figura 6: Estatus de Arbovirus registrados y transmitidos por vector

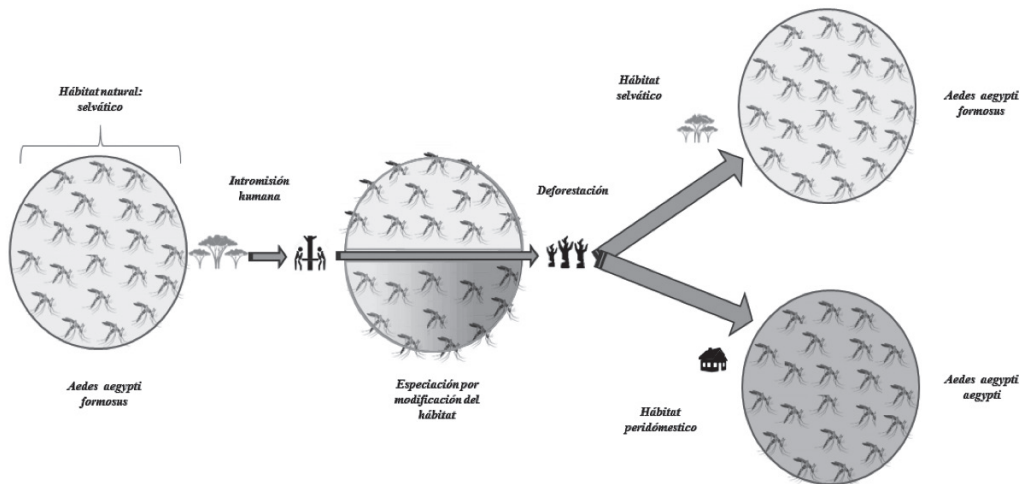


Fuente: Elaboración propia con base a Gluber D., 2001

El impacto ambiental y las enfermedades transmitidas por mosquitos vector

Las especies animales son los principales reservorios de los patógenos: 71.8% proceden de la fauna silvestre, dentro de los cuales una de las maneras más comunes de transmisión a los humanos son por medio de vectores o agentes biológicos con un 22.8%. Por ende se nombran Enfermedades Infecciosas Transmitidas por Vector (ETV) a aquellas infecciones donde el virus es transmitido por un agente biológico o vector. Siendo los artrópodos los principales vectores causantes de transmitir agentes patógenos de huéspedes o reservorios vertebrados a las poblaciones humanas (Gubler, 1998), en donde el mismo incremento de estos vectores también están asociados y favorecidos por los cambios ecológicos (Vanasco, Sequeira, & Tarabla, 2002).

En conclusión, los aspectos hasta ahora analizados como lo son los animales reservorios, la mutación de estadios de los patógenos, la coexistencia con los vectores y la entrada del hombre al ciclo de infección es vinculada a la misma causa de impacto ambiental al momento la introducción y perturbación a los hábitats de diferentes animales (Monsalve B. , Mattar V. , & Gonzalez T., 2009).

Figura 7: Impacto ambiental en la especiación del *Aedes aegypti*

Fuente: elaboración propia, 2017

La mayoría de las enfermedades transmitidas por vector se encuentra en los trópicos, por lo que surge una superposición entre la distribución de la mayoría de los importantes vectores de enfermedades humanas y la riqueza de biodiversidad de las selvas, bosques y límites de estos ecosistemas, siendo de esta manera los más susceptibles de originar un riesgo de propagación de EIE y EIR (Patz, 2005). En este mismo orden de ideas, otro efecto es la adaptación de especies silvestres al entorno artificializado. Una vez que el humano modifica los nichos naturales de las especies, algunas se extinguen y en cambio otras se adaptan a sus nuevos ambientes perturbados, llegando a evolucionar y convertirse en especialistas en estos paisajes artificializados y homogeneizados que creó el ser humano, a lo que se llama domesticación y plasticidad, como sucede con varias especies de culícidos (Brown, y otros, 2014).

Con anterioridad se especificó el significado de una enfermedad infecciosa así como las causas y factores de la emergencia y reemergencia de estas mismas, también se mencionó aquellas enfermedades transmitidas por vector (ETV), las cuales representan un 17% del total a nivel global constituyéndose como enfermedades de importancia socioeconómica según la OMS. Además

existen alrededor de 534 virus registrados (134 han causado alguna enfermedad documentada en humanos) de los cuales un 40% (Grafica 1.1) son probablemente arbovirus (del inglés arthropod borne, virus llevados por artrópodos) es decir, que requieren de un artrópodo hematófago como vector para transmitirse de un hospedero a un nuevo huésped (Gluber D., 2001).

La mayoría de estos vectores pertenecen a la familia de los culícidos (mosquitos, conocidos en América Latina como zancudos), una de las familias del orden Diptera, suborden Nematocera; se conocen actualmente 3 548 especies de culícidos, distribuyéndose en las regiones templadas y tropicales del mundo, siendo más diversos en los ambientes de selvas tropicales (MTI, 2008). Los culícidos son los vectores más conocidos y los más importantes en la transmisión de los arbovirus, debido a que la mayoría de las hembras de estos mosquitos necesitan alimentarse de sangre para para iniciar su ciclo gonotrófico (OMS, 2016) entre los géneros más conocidos se encuentran los géneros Anopheles, Culex, Psorophora, Ochlerotatus, Aedes, Sabethes, Culiseta y Haemagogus. El *Aedes aegypti* es el vector más representativo y vigilado (por ser el género más conocido y estudiado debido a cantidad de enfermedades infecciosas transmisibles).

En los últimos 30 años la emergencia y reemergencia de enfermedades transmitidas por vectores aumento a un ritmo desconocido mayoritariamente aquellas transmitidas por los mosquitos (Amela Heras & Sierra Moros, 2016). Además el latente riesgo por virus endémicos poco conocidos que pueden volverse epidemias como fueron los brotes por el virus zika (ZIKV) y virus chikungunya (CHKV) y potencialmente el virus mayaro (MYV) (Kurstak & Kurstak, 1981). Para entender este fenómeno complejo es necesario considerar el impacto ambiental que el ser humano provoco y contribuyo al surgimiento, establecimiento y perduración de estas enfermedades transmitidas por vector y, por otro lado, desde el punto de vista microbiano, aquellas tipologías que presentan los agentes patógenos (García, 2008).

El impacto ambiental en la historia de la especiación y adaptación del *Aedes Aegypti*

El género más conocido y con mayor cantidad de enfermedades infecciosas transmisibles es el *Aedes*, dentro del cual destaca el *Aedes aegypti* (el *A. albopictus* es el segundo, sin embargo con menor área de distribución y en menor cantidad comprobada de transmisión de patógenos, no descartándose la posibilidad futura de comprarse al *aegypti*) (Nene, y otros, 2007). Se puede diferenciar entre dos formas de *A. aegypti*, una que son *A. aegypti formosus* and *A. aegypti aegypti*, la primera con adaptada al ciclo selvático y la segunda a los hábitos domésticos (Mousson, Dauga, Garrigues, Schaffner, Vazeille, & Failloux, 2005) Esta especiación alopátrica, es producto del resultado del impacto ambiental antrópico debido a la intromisión del humano a su hábitat natural (Brown, y otros, 2011). La especiación alopátrica, se refiere a la especiación por aislamiento geográfico en la cual algo extrínseco al organismo impide que dos o más grupos se apareen entre sí con regularidad y, finalmente, lleva a la especiación del linaje, tal aislamiento puede producirse debido a una gran distancia o a una barrera física (Howard & Endler, 1998).

La subespecie *Aedes aegypti formosus* tiene como límite su área de distribución en África sub-sahariana y este de África, este se reproduce en contenedores naturales como agujeros de árboles y se alimenta de animales salvajes, se le considera como la especie ancestral del actual *Ae. Aegypti aegypti* (Moore, y otros, 2013), la cual fue una consecuencia adaptativa a la intromisión humana a su ecosistema natural, estos lugares fueron deforestados dando pie para que los humanos fundaran asentamientos poblacionales, lo que creo una barrera física entre la población de mosquitos selváticos y aquellos que se adaptaron al hábitat modificado por el humano, es decir, el mosquito *Aedes aegypti aegypti* colonizó un nuevo espacio geográfico por medio de la dispersión aleatoria o indigenación (Zunino & Zullini, 2003).

La presencia de la barrera creada por el humano provoco el aislamiento geográfico entre ambas poblaciones lo que terminó diferenciándolas en sus hábitos reproductivos y alimenticios, lo que resultó en una subespeciación (Brown, y otros, 2014). Esta subespeciación es una consecuencia del impacto ambiental que ocasionó el humano al perturbar el hábitat natural de la especie.

Por consiguiente, a derivación de la adaptación y domesticación del *Ae. aegypti aegypti*, esta se expandió continentalmente al igual que lo hacían las poblaciones humanas en su crecimiento demográfico. El *aedes aegypti* se adaptó a ambientes humanizados por la mayor disponibilidad de alimentación que tenia de ellos y a la cantidad de criaderos para reproducción otorgados por las poblaciones humanas: esta dispersión, se presentó al momento de ser transportada de un país a otro por la movilidad humana franqueando las barreras naturales y limitantes de su área de distribución (Zunino & Zullini, 2003). Actualmente se encuentra distribuido globalmente en regiones tropicales y subtropicales en asociación con la presencia humana, esta se cría en recipientes artificiales y tiene la preferencia de alimentarse de sangre humana.

De esta manera quedo fundamentada y comprobada la hipótesis acerca de la filogenia y filogeografía del *A. aegypti formosus* desde hace 4000 años en bosques de África y su subespeciación en *A. aegypti aegypti*, al momento de la alteración de los hábitats naturales, convirtiéndose en una subespecie oportunista y aprovechar la movilidad del ser humano para dispersarse al mundo entero, representando un claro ejemplo de los impactos antropogénicos para modelar la evolución de una especie (Brown, y otros, 2014). Una especie estrechamente arraigada a la presencia, movilidad y conglomeración humana, siendo de esta manera considerada una especie cosmopolita, prefiriendo las áreas urbanas (Consolí & Oliveira, 1994) (Rey & Lounibos, 2015).

El paisaje del impacto ambiental en la emergencia ETV

El término paisaje ha sido conceptualizado por distintas disciplinas, para las ciencias del espacio, donde se incluye a la Geografía, está compuesto por el componente territorial del medio físico, está sujeto al dinamismo del tiempo a partir de la actividad humana y es moldeable según la percepción de la que se obtiene al interpretarlo (Zubelzu & Allende, 2015). Desde el enfoque de la Ecología del Paisaje, disciplina emergente entre la Geografía y la Biología (Kitron, 1998) estudia los paisajes tanto naturales como antrópicos en su composición, estructura y función, enfocándose principalmente en la heterogeneidad espacial, en extensiones más amplias que las estudiadas por la ecología, en la intrusión del humano, la transformación, la modificación y la afectación de patrones y procesos del paisaje (Turner M. , 1989).

Su estudio ayuda a comprender en las consecuencias del impacto ambiental en distintos paisajes naturales conforme el enfoque de Biocomplejidad y Ecosalud, se debe agregar además el Paisaje Epidemiológico que añade los elementos y patrones que usualmente determinan las causas de ocurrencia de las enfermedades en un lugar determinado (Reisen , 2010). El conjunto de estos enfoques da como resultado el co-

nocimiento del impacto ambiental de acuerdo al paisaje en la emergencia de ETV y como estas no están desvinculadas de las epizootias y enfermedades zoonóticas, nos muestran un claro potencial del riesgo de su emergencia.

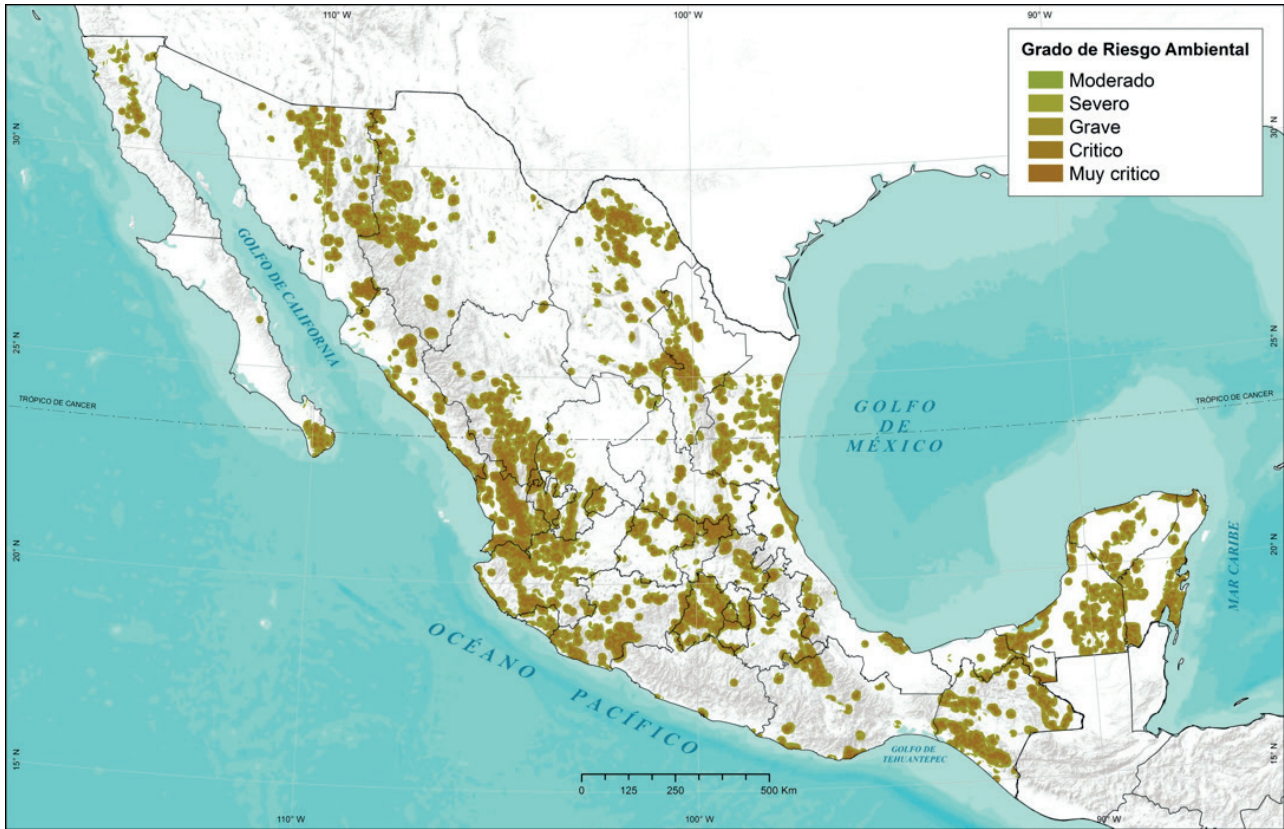
Para el análisis de un impacto ambiental en el paisaje como causante de ETV se consideran los factores visibles causales de cada uno de los escenarios: el nivel de la biodiversidad (Daszak, Cunningham, & Hyatt, 2000) (Myers, y otros, 2012) , la deforestación (Gottwalt, 2013) (Meade & Emch, 2010) y la fragmentación del paisaje (Gillespie, 2012), (Rulli, Santini, Hayman, & D'Odorico, 2017). La espacialización de estos patrones del paisaje conlleva a la representación cartográfica, necesaria para una vigilancia integral del caso de las enfermedades transmitidas por vector, donde la urgente necesidad de establecer una conexión entre distintos organismos encargados y establecimiento de normativas con un enfoque de Ecosalud.

En la Figura 8 se puede observar cada para el caso de México, aquellos lugares con un grado de impacto ambiental para la transmisión de enfermedades transmitidas por vector y zoonóticas.

Por otra parte el paisaje que presenta mayor riesgo para la emergencia y transmisión de EIE y EIR, se sitúan justo en la intersección de tantos patrones de ambientes naturales y comportamiento de intrusión humana e impacto ambiental (Wolfe, Dunavan, & Diamond, 2007). En el caso de la figura, representan las zonas con este tipo de intersección (áreas de conservación de alta biodiversidad, áreas deforestadas y áreas de alta fragmentación) aunque debido a la complejidad del fenómeno cada lugar presenta particularidades de un paisaje, en la cual el impacto ambiental se presenta de distinta manera. De esta forma se pueden considerar cinco niveles de paisaje para el caso de los culícidos (Figura 9).

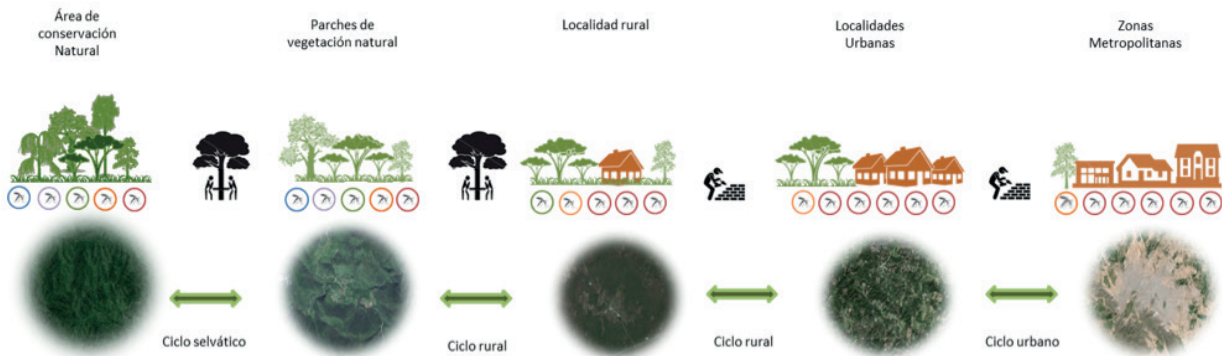
En la Figura 9 se muestran los cinco paisajes, en el primer caso, se encuentran los ambientes naturales o Áreas de Conservación Natural (ACN)

Figura 8: Grado de riesgo ambiental para la emergencia de enfermedades transmitidas por vector y enfermedades zoonóticas



Fuente: elaboración propia con base a datos de Hansen/UMD/Google/USGS/NASA, 2016; CONABIO y SEMANART, 2016; de Moreno-Sánchez y otros, 2016

Figura 9: Paisajes de acuerdo al impacto ambiental en la diversidad de culicidos



Fuente: elaboración propia, 2017

con una diversidad alta de culícidos o mosquitos la cuales son representada con distintos colores, conforme a la transformación del paisaje la diversidad de estos disminuye hasta concluir en Zonas Metropolitanas donde además de la poca diversidad de mosquitos estos también tienen mayor población, representado por la cantidad de figuras. En la parte inferior se puede visualizar el paisaje visto desde una imagen satelital,

En el paisaje más conservado, la misma diversidad de culícidos alta es parte de un equilibrio ecológico y a la vez una barrera ambiental a causa de sus nichos específicos. En este tipo de ecosistemas podemos mencionar aquellos que presentan ambientes naturales conservados o poco impactados por la presencia de la especie humana (Zorello L., Lopez de Prado, Kraenkel, Mendes Coutinho, & Mureb Sallum, 2013), aunque también pueden representar la entrada al comienzo del ciclo al ser utilizados como lugares de ecoturismo (USDA, APHIS, VS, & CEAH, 2001). Como ejemplo de lugares con esta característica se pueden mencionar las Áreas de Conservación Natural, en las cuales se busca preservar su ambiente natural de acuerdo a su modalidad (Áreas Naturales Protegidas, Unidades de Manejo Ambiental, sitios Ramsar).

Por consiguiente, el siguiente paisaje se refiere a los remanentes de vegetación o parches, que dentro de la fragmentación, presentan mayor vulnerabilidad de perder su equilibrio y funcionalidad ecológica (Mitchell, y otros, 2015). Sin embargo, aún conservan una biodiversidad alta de culícidos, donde la amenaza a su salud ecosistémica se presentaría al momento de la incursión humana y su poblamiento en zonas cercanas o contiguas a estas. La sola presencia humana implica la convivencia con especies domesticadas o adaptadas a su artificialización (Powell & Tabachnick, 2013), especies generalistas e invasoras interferirían con el equilibrio (Juliano & Lounibos, 2005). Como es el caso de los culícidos *aedes albopictus*, quienes pueden llegar a desplazar y competir ante otras especies de culícidos establecidas (Juliano, Species intro-

duction and replacement among mosquitoes: interpecific resource competition or apparent competition?, 1998). Estas zonas son representadas espacialmente en la figura y son las que representan un grado de riesgo ambiental de grave a muy crítico para la transmisión de enfermedades por vector y zoonóticas.

El tercer paisaje de impacto ambiental, es aquel donde se sitúan las localidades rurales, que como ya se mencionó, involucran un acercamiento directo tanto a vectores como a la fauna silvestre reservorios de potenciales patógenos. En el caso de los culícidos, especies invasivas como lo son *Aedes*, comienzan un desplazamiento de otras especies de culícidos, ya sea en ambientes artificiales como la vivienda (*aedes aegypti*) o en espacios de frontera entre el espacio rural y los remanentes de vegetación natural (*aedes albopictus*) (Salvatella A., 1996), la cual es considerada como una especie que además de invasiva es generalista (Piovezan, Oliveira A., Teixeira de Souza, Visockas, Azebedo, & Von Zuben, 2016). Si bien no se cumplen exactitud en todos los casos, se puede interferir con aquellos grados de impacto severo y moderado.

El cuarto paisaje, hace referencia al segundo y tercer escenario de transmisión; en él la especie de *aedes aegypti* es una especie establecida en ambientes humanizados y su competencia interespecifica solo es limitada por el ser humano, su propia fuente de alimentación (Eisen & Moore, 2013). Como ejemplo de tal paisaje se encuentran las localidades urbanas, en donde convergen aspectos de lugares con escasa atención sanitaria y niveles altos de marginación, propicios para la proliferación de focos de reproducción del culicido vector (Fuentes-Vallejo, y otros, 2015).

El último paisaje, se refiere a las grandes zonas metropolitanas y grandes urbes, donde la conexión a otras urbes está dada a partir de sus medios de comunicación y transporte. Aunque el impacto ambiental directo a los ecosistemas es poco visible debido a su alta artificialización,

es indirectamente la causa de la sobreexplotación de recursos en áreas naturales impactadas (Cabral, Augusto, Tewolde, & Araya, 2013) y que además en la mayoría de los casos, no hay indicios visibles de la transición natural a artificial. La población de culícidos está establecida con focos de reproducción en lugares específicos de acuerdo a las condiciones del ambiente inmediato para el mosquito (Petric, Bellini, Scholte, Rakatoarivony, & Schaffner, 2014).

Los distintos paisajes coexisten en una misma temporalidad, aunque también pueden ser considerados como procesos lineales temporales de cortes transversales, es decir, un paisaje urbano, el cual es el resultado del proceso de transformación histórica de orígenes de paisajes conservados o intactos a paisajes rurales a paisajes de ciudades (Wang & Yu, 2012). Este fenómeno de urbanización, considerado como proceso de desarrollo de un lugar (Henderson, 2003), coexiste en la misma línea temporal de la amplia red de interrelaciones del problema del impacto ambiental para las enfermedades transmitidas por vector.

Conclusiones

El impacto ambiental a los ecosistemas tiene repercusiones que no solo implican a la salud humana sino a la salud integral de toda la biodiversidad. Por lo que es necesario plantearse el comienzo de un trabajo intersectorial y multidisciplinario en la vigilancia de las enfermedades transmitidas por vector y zoonóticas. El cambio de paradigma unidireccional donde a cada especialidad científica y técnica se le corresponde la resolución de un problema en particular debe de ser abandonada, para transitar a un nuevo enfoque transversal en el que las distintas disciplinas aporten conocimientos a distintas escalas y una colaboración abierta a distintos a la Bio-complejidad del fenómeno.

Esta transición involucra un cambio completo en las ideologías centristas que aun limitan a la mayoría de las disciplinas clasificándolas de acuerdo a sus objetos de estudio. La coope-

ración para resolver la crisis ambiental no solo queda confinada a la comunidad científica sino a la representación política, quienes deben contribuir a la consolidación de hacer aplicada la ciencia, contribuir a la participación ciudadana y a su pronta concientización del impacto ambiental causado así como sus consecuencias.

Bibliografía

- Amela Heras, C., & Sierra Moros, M. (2016). Enfermedades transmitidas por vectores. Un nuevo reto para los sistemas de vigilancia y la salud pública. *Gaceta Sanitaria*, 167-169.
- Atatah, P., & Kisavi-Atatah, C. (2016). Globalization 2: Revisiting Neglected Tropical Diseases. *Open Journal of Social Sciences Such as Polio, Dengue Fever, and in Particularly EBO-LA*, 01-13.
- Barros, C. (2001). La humanización de la naturaleza. *Revista mensual de arte y pensamiento*, 169-193.
- Belshaw, C. (2001). *Environmental philosophy: reason, nature and human concern*. UK, Canada: Acumen and McGill-Queens University Press.
- Blackburn, J. (2008). Integrating Geographic Information Systems and Ecological Niche Modeling into Disease Ecology: A Case Study of *Bacillus anthracis* in the United States and Mexico. En K. O'Connell, E. Skowronski, A. Sulakvelidze, & L. Bakanidze, *Emerging and Endemic Pathogens* (págs. 59- 88). Tbilisi, Georgia: Springer.
- Bousfield, B., & Brown, R. (2011). One world one health. *Veterinary Bulletin - Agriculture, Fisheries and Conservation Department Newsletter*, 01-11.
- Brown, J., Evans, B., Zheng, W., Obas, V., Barrera-Martinez, L., Egizi, A., y otros. (2014). Human impacts have shaped historical and recent evolution in *aedes aegypti*, the dengue and yellow fever mosquito. *Evolution*, 514-525.

- Brown, J., McBride, C., Johnson, P., Ritchie, S., Paupy, C., Bossin, H., y otros. (2011). World-wide patterns of genetic differentiation imply multiple 'domestications' of *Aedes aegypti*, a major vector of human diseases . *Proceedings of the Royal Society Biology Sciences*, 01-10.
- Buckee, C., Tatem, A., & Metcalf, J. (2017). Seasonal Population Movements and the Surveillance and Control of Infectious Diseases. *Trends in Parasitology*, 10-19.
- Buckley, R. (2004). *Environmental impacts of ecotourism*. Wallingford, Oxon, UK ; Cambridge, MA, USA: CABI Pub.
- Cabello, C., & Cabello, F. (2008). Zoonosis con reservorios silvestres: Amenazas a la salud pública y a la economía. *Revista Médica de Chile*, 385-393.
- Cabezas-Sanchez, C. (2015). Enfermedades Infecciosas Emergentes-Reemergentes y sus determinantes. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 07-08.
- Cabral, P., Augusto, G., Tewolde, M., & Araya, Y. (2013). Entropy in Urban Systems . *Entropy*, 5223-5236.
- Chomel, B., Belotto, A., & Meslin, F.-X. (2007). Wildlife, Exotic Pets, and Emerging Zoonoses. *Emerging Infectious Diseases*, 06-11.
- Christaller, W. (1966). *Central Places in Southern Germany*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Consoli, R., & Oliveira, R. (1994). Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil . *Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ*.
- Cornejo A., A. (1997). Complejidad Organizacional: Guia para la administración del siglo XXI. En A. Cornejo A., *Complejidad y Caos* (págs. 11-39). México.
- Coto, C. (2005). La globalización y el renacimiento de las enfermedades infecciosas. *Química Viva; Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 35-41.
- DOF. (2012). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Eisen, L., & Moore, C. (2013). *Aedes (Stegomyia) aegypti* in the continental United States: a vector at the cool margin of its geographic range. *Journal of Medical Entomology*, 467-478.
- Fath, B., Patten, B., & Choi, J. (2001). Complementarity of Ecological Goal Functions. *Journal of Theoretical Biology*, 493-506.
- Fuentes-Vallejo, M., Higuera-Mendieta, D., García-Betancourt, T., Alcalá-Espinosa, L., García-Sánchez, D., Munévar-Cagigas, D., y otros. (2015). Territorial analysis of *Aedes aegypti* distribution in two Colombian cities: a choromatic and ecosystem approach. *Cadernos de Saúde Publica*, 517-530.
- García, F. (2008). Enfermedades infecciosas emergentes: interacción entre el mundo microbiano y las sociedades humanas (Emergent infectious diseases: interaction between the microbial world and human societies) . *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 136-143.
- Gestal, J. (1997). Enfermedades Infecciosas Emergentes, alerta mundial, respuesta mundial. *Revista Española de Salud Publica*, 225-229.
- Gillespie, T. (2012). Habitat Fragmentation and Species Barriers. *Infectious Diseases at the Wildlife-livestock Interface*.
- Gluber, D. (1998). Resurgent Vector-Borne Diseases as a Global Health Problem. *Emerging Infectious Diseases*, 442-450.

- Gluber, D. (2001). Human Arbovirus Infections Worldwide. *Annals of The New York Academy of Science*, 13-24.
- González Arellano, S., & Larralde Corona, A. (2013). Conceptualización y medición de lo rural. Una propuesta para clasificar el espacio rural en México. En C. N. Población, La situación demográfica de México 2013 (págs. 141-158). México, D. F.: CONAPO.
- Gubler, D. (1998). Resurgent Vector-Borne Diseases as a Global Health Problem. *Special Issue, Vol. 4, No. 3, July–September*, 442-450.
- Hasen, M., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., y otros. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 850-853.
- Heather Bird, J., & Lenore, F. (2013). Habitat Loss and Fragmentation. *Reference Module in Life Sciences*, 50-58.
- Henderson, V. (2003). The urbanization process and economic growth: the so-what question. *Journal of Economic Growth*, 47-71.
- Hoffman, A., & Sandelands, L. (2004). Getting Right with Nature: Anthropocentrism, Ecocentrism and Theocentrism. *Organization & Environment*, 02-39.
- Howard, D., & Endler, J. (1998). *Endless Forms: Species and speciation*. New York: Oxford University Press.
- Hunter R., J., & Smith, Z. (2005). *Protecting Our Environment: Lessons from the European Union*. New York, USA: State University of New York Press.
- Johnson, D., Ambrose, H., Bassett, T., Bowen, M., Crummey, D., Isaacson, J., y otros. (1997). Meanings of Environmental Terms. *Journal of Environmental Quality*, 581-589.
- Juliano, S., & Lounibos, L. (2005). Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. *Ecology Letters*, 558-574.
- Juliano, S. (1998). Species introduction and replacement among mosquitoes: interpecific resource competition or apparent competition? *Ecology: Ecological Society of America*, 255-268.
- Kathleen, A., Pleydell, E., Williams, M., Lane, E., Nyange, J., & Michel, A. (2002). Mycobacterium tuberculosis: An Emerging Disease of Free-Ranging Wildlife. *Emerging Infectious Diseases*, 598-601.
- Keesing, F., Belden, L., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C., Holt, R., y otros. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *RESEARCH REVIEW*, 647-652.
- Keller, D. (1997). Gleaning Lessons from Deep Ecology. *Ethics and the Environment*, 139-148.
- King, L. (2004). Enfermedades zoonóticas emergentes: desafíos y oportunidades. Organización Mundial de Sanidad Animal.
- Kitron, U. (1998). Landscape Ecology and Epidemiology of Vector-Borne Diseases: Tools for Spatial Analysis. *Journal of Medical Entomology*, 435-445.
- Kurstak, E., & Kurstak, C. (1981). *Comparative Diagnosis of Viral Diseases*. New York, EEUU: Academic Press Inc.
- Ledermann, W. (2003). The Man and his epidemics through the History. *Rev Chil Infec*, 13-17.
- Manson, S. (2001). Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum*, 405-414.

- Marcos, A. (2009). Biocomplejidad. Jornada sobre complejidad.
- Mazet, J., Clifford, D., Coppolillo, P., Deolalikar, A., Erickson, J., & Kazwala, R. (2009). A "One Health" Approach to Address Emerging Zoonoses: The HALI Project in Tanzania. *Plos Medicine*, Vol. 6, 01-06.
- McInerney, R., & Caponigri, A. (1963). A history of western Philosophy. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Meade, M., & Emch, M. (2010). *Medical Geographic*. Ney York, USA: The Guilford Press.
- Miranda García, A. (1998). Informe final* del Proyecto B033 Deforestación y fragmentación del hábitat: consecuencias ecológicas sobre la fauna de mamíferos de la selva tropical estacional. Departamento de Ecología Funcional y Aplicada Laboratorio de Ecología de Mamíferos : Universidad Nacional Autónoma de México - Instituto de Ecología.
- Mitchell, M., Suarez-Castro, A., Martinez-Harms, M., Maron, M., McAlpine, C., Gaston, K., y otros. (2015). Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, 01-09.
- Monsalve B., S., Mattar V., S., & Gonzalez T., M. (2009). Zoonosis transmitidas por animales silvestres y su impacto en la enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes. *Revista MVZ Córdoba*, vol. 14, núm. 2,, 1762-1773.
- Moom, F. (1992). *Chaotic and Fractal Dynamics*. Alemania: WILEY-VCH.
- Moore, M., Sylla, M., Goss, L., Warigia, M., Sang, R., Kamau, L., y otros. (2013). Dual African Origins of Global *Aedes aegypti* s.l. Populations Revealed by Mitochondrial DNA. *PLOS: Neglected Tropical Diseases*, 2175.
- Morin, E. (1998). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Mousson, L., Dauga, C., Garrigues, T., Schaffner, F., Vazeille, M., & Failloux, A.-B. (2005). Phylogeography of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) and *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) (Diptera: Culicidae) based on mitochondrial DNA variations. *Genetics Research*, Vol. 86, 01-11.
- MTI. (11 de 02 de 2008). Mosquito Taxonomic Inventory. Recuperado el 15 de 10 de 2016, de Culicidae Clasification: <http://mosquito-taxonomic-inventory.info/simpletaxonomy/term/6045>
- Myers, S., Gaffikinc, L., Golden, C., Ostfeld, R., Redford, K., Ricketts, T., y otros. (2013). Human health impacts of ecosystem alteration. *Perspective*, 01-08.
- Naess, A. (1986). The Deep Ecology Movement: Some Philosophical Aspects. *Philosophical Inquiry*, 10-31.
- Najam, A., Runnalls, D., & Halle, M. (2007). *Environment and Globalization Five Propositions*. Manitoba, Canada: International Institute for Sustainable Development.
- Nebel, B., & Wright, R. (1999). *Ciencias Ambientales Ecología y Desarrollo Sostenible*. México: Pearson Prentice Hall.
- Nene, V., Wortman, J., Lawson, D., Haas, B., Kodira, C., Tu, Z., y otros. (2007). Genome Sequence of *Aedes aegypti*, a Major Arbovirus Vector. *Science*, Vol. 316, 1718-1723.
- Nguyen-Viet, H., Doria, S., Xuan, D., Mallee, H., Wilcox, B., & Grace, D. (2015). Ecohealth research in Southeast Asia: past, present and the way forward. *Infectious diseases of poverty*, 01-13.
- Ordoñez, G. (2000). Salud ambiental: conceptos y actividades. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 137-147.

- Patz, J. (2005). Human Health: Ecosystem Regulation of Infectious Diseases. En R. Hassan, R. Scholes, & N. Ash, *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1 (págs. 393-411). Washington DC: Millennium Ecosystem Assessment.
- Petric, D., Bellini, R., Scholte, E.-J., Rakatoarivony, L., & Schaffner, F. (2014). Monitoring population and environmental parameters of invasive mosquito species in Europe. *Parasits & vectors*, 03-14.
- PNUMA, & OPS/OMS. (2009). *GEO Salud: Metodología para una evaluación integrada de medio ambiente y salud. Un enfoque en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
- Powell, J., & Tabachnick, W. (2013). History of domestication and spread of *Aedes aegypti*: A Review. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 11-17.
- Redman, C. (1990). Los orígenes de la civilización desde los primeros agricultores hasta la sociedad urbana en el Próximo Oriente. Barcelona, España: Critica.
- Reisen, W. (2010). Landscape epidemiology of vector-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 461-483.
- Rey, J., & Lounibos, P. (2015). Ecología de *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. *Biomedica*, 177-185.
- Rulli, M., Santini, M., Hayman, D., & D'Odorico, P. (2017). The nexus between forest fragmentation in Africa and Ebola virus disease outbreaks. *Scientific Reports*, 02-08.
- Santos, M. (1996). *Metamorfosis del espacio habitado*. Barcelona, España: Oikos tau.
- Saunders, L. (2000). Virchow's contributions to veterinary medicine: celebrated then, forgotten now. *Vet. Pathol*, 199-207.
- Sessions, G. (1974). Anthropocentrism and the environmental crisis. *Social Behavior and Natural Environments*, 71-81.
- Stoddard, S., Morrison, A., Vazquez-Prokopec, G., Paz Soldan, V., Kochel, T., Kitron, U., y otros. (2009). The Role of Human Movement in the Transmission of Vector-Borne Pathogens. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 01-09.
- Sutherst, R. (2004). Global Change and Human Vulnerability to Vector-Borne Diseases. *Clinical Microbiology Reviews*, 137-167.
- Thongsripong, P., Green, A., Kittayapong, P., Kapan, D., Wilcox, B., & Bennett, S. (2013). Mosquito Vector Diversity across Habitats in Central Thailand Endemic for Dengue and Other Arthropod-Borne Diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases*; vol.7, 01-12.
- Trinca F, D. (2005). La Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales y el deterioro del ambiente. *Revista Geográfica Venezolana*, 173-177.
- Turner, M. (1989). Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 171-197.
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 306-314.
- UNEP. (2016). United Nations Environment Programme. Recuperado el 04 de 12 de 2016, de Environmental Impacts: <http://www.unep.org/resourceefficiency/Business/SectoralActivities/Tourism/FactsandFiguresaboutTourism/ImpactsofTourism/EnvironmentalImpacts/tabid/78775/Default.aspx>

- USDA, APHIS, VS, & CEAH. (2001). Nature travel and ecotourism: animal and human health concerns. Center for emerging issues, 01-10.
- Vanasco, N., Sequeira, G., & Tarabla, H. (2002). Factores de riesgo de Leptospirosis en roedores. Anuario 2002 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 01-09.
- Vasilakis, N., Cardoso, J., Hanley, K., Holmes, E., & Weaver, S. (2011). Fever from the forest: prospects for the continued emergence of sylvatic dengue virus and its impact on public health. *Nature Reviews Microbiology*, 532-541.
- Wang, M., & Yu, B. (2012). Landscape characteristic aesthetic structure: construction of urban landscape characteristic time-spatial pattern based on aesthetic subjects. *Fontiers of Architectural Research*, 305-315.
- Weaver, S., & Barret, A. (2004). Transmission cycles, host range, evolution and emergence of arboviral disease. *Nature Reviews Microbiology*, 789-801.
- Weitz, J., Wilhelm, S., & Sullivan, M. (2015). Unveiling the Viral Ecology of Earth. *Xo files Science Philanthropy Alliance*, 01-03.
- Wilcox, B., & Colwell, R. (2005). Emerging and Reemerging Infectious Diseases: Biocomplexity as an Interdisciplinary Paradigm. *Eco-Health Journal Consortium*, 244-257.
- Wilcox, B., & Ellis, B. (2006). Los bosques y la aparición de nuevas enfermedades infecciosas en los seres humanos. *UNASYLVA*; Vol. 57, 11-18.
- Wolfe, N., Dunavan, C., & Diamond, J. (2007). Origins of major human infectious diseases. *Nature*, Vol 447, 279-283.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T., Coe, A., Bown, P., y otros. (2008). Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*, 04-08.
- Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., & Tanner, M. (2011). From "one medicine" to "one health" and systemic approaches to health and well-being. *Preventive Veterinary Medicine*, 148-156.
- Zorello L., G., Lopez de Prado, P., Kraenkel, R., Mendes Coutinho, R., & Mureb Sallum, M. (2013). Biodiversity Can Help Prevent Malaria Outbreaks in Tropical Forests. *Plos: Neglected tropical diseases*, 01-09.
- Zubelzu, S., & Allende, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Cuadernos de Geografía*, 29-42.
- Zunino, M., & Zullini, A. (2003). *Biogeografía: La dimensione spaziale dell'evoluzione*. Italia: Casa Editrice Ambrosiana.

ECOLOGÍA QUÍMICA DE AEDES AEGYPTI LUNNEUS (DIPTERA: CULICIDAE) PRINCIPAL VECTOR DE DENGUE, CHIKUNGUNYA Y ZIKA

José Luis Torres Estrada

Antecedentes

El mosquito *Aedes aegypti* es el principal vector de dengue, fiebre Chikungunya, Zika entre otros en los países endémicos a ellos (Gubler 1998; Harrington et al., 2005). El dengue ha ido despuntando en los países de Sur y Centroamérica mientras que recientemente la introducción y dispersión de la fiebre Chikungunya ha producido que las campañas de control de los vectores se intensifiquen en dichos países. Para agravar la situación, el reciente descubrimiento del virus Zika en América, así como, su rápida expansión, los efectos ocasionados en mujeres embarazadas (Heymann et al., 2016) y su relación con el síndrome de Guillain-Barre (Oehler et al., 2013) ha preocupado a las autoridades de salud de los países endémicos y a los tomadores de decisiones de los programas de control de estas enfermedades. Los casos de estas tres enfermedades en México siguen en aumento, mientras que, la probable aparición de virus Mayaro y el resurgimiento de la fiebre amarilla transmitidos por el mismo vector. En México, se reportaron 26 665 casos confirmados de dengue con 42 muertes para el 2015 (http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/panodengue/PANORAMAS_2015/Pano_dengue_sem_52_2015.pdf, consultado el 4 de marzo del 2016), siendo el panorama para el 2016 poco alentador ya que a la fecha se reporta un incremento del 38.9% en relación a la misma semana del 2015 (http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/panodengue/PANORAMAS_2016/Pano_dengue_sem_08_2016.pdf). No existe tratamiento específico para el dengue y la vacuna CYD-TDV, producida por Sanofi-Pasteur, es la única que ha sido evaluada en ensayos clínicos controlados fase 3. A pesar de la importante contribución que

el desarrollo de una vacuna significa para la lucha contra el dengue, los tres estudios clínicos fase 3 de CYD-TDV y el meta-análisis de seguimiento a largo plazo derivado de los mismos proporcionan evidencia de que esta tiene una eficacia parcial para proteger contra dengue. En otras palabras, esta vacuna presenta prácticamente nula protección contra infecciones por DENV 2, menor eficacia contra infecciones por DENV 1, una eficacia adecuada contra infecciones por virus de dengue (DENV) 3 y 4, siendo los dos primeros serotipos los más frecuentes en México (Hernández-Avila et al., 2016), la incorporación de esta vacuna dentro de un programa universal de inmunización deberá ser bien analizada por parte de las autoridades responsables. Sobre todo, tomando en cuenta el costo-beneficio y el ejercicio que implicaría invertir en ella y descuidar la vigilancia y control del vector toda vez que estos transmiten otras enfermedades. En relación a la fiebre Chikungunya y Zika, la primera se ha expandido a 28 estados de la República Mexicana y ha provocado aproximadamente 12 000 casos confirmados desde su aparición en el 2014 y hasta la fecha. Mientras que, el Zika se ha dispersado a 10 estados con 186 casos a la semana 12 del 2016. Sin embargo, al estar presente el vector en la mayoría de los estados del país es probable que el virus del Zika siga la misma tendencia y distribución que presenta el dengue y la fiebre Chikungunya (<http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/boletin/2015/sem52.pdf>. Consultado el 07 de abril del 2016).

Para estas enfermedades no existe vacuna ni tratamiento específico. Las medidas de control para las tres enfermedades están basadas en

la disminución de las poblaciones de los mosquitos vectores, mediante la disminución de los criaderos (descacharrización), aplicación de insecticidas (para los diversos estados de desarrollo de los mosquitos), así como, una extensa e infructuosa hasta la fecha campaña de concientización de la gente para incentivar la participación comunitaria y mantener los patios limpios de cacharros que almacenen agua en sus casas (NOM-032 SSA2-2014). La reciente aparición de fiebre Chikungunya y Zika han alertado a los tomadores de decisiones y por medio de ellos se ha incrementado la divulgación en distintos medios de comunicación (Radio, TV y periódicos) de las medidas de protección para evitar el contacto hombre-vector.

En México, la estrategia para disminuir las poblaciones de los vectores está basada en la eliminación de los criaderos y en la aplicación de insecticidas dirigidos a las larvas y a los adultos (NOM-032-SSA2-2014). La remoción o eliminación de criaderos constituye todo un reto para su sustentabilidad mientras que, la aplicación de insecticidas presenta un alto costo en lo económico, ecológico y fisiológico. Para realizar las labores de control es necesario conocer el comportamiento tanto de oviposición como el de alimentación, esto ha sido factor clave para poder decidir qué criaderos son los que deben de ser removidos o tratados y en que sitios y a qué horas deben de ser aplicados los insecticidas. Si bien es cierto, estas medidas en la mayoría de los casos pueden llegar a ser efectivas, también es cierto que son reactivas. Es decir, se realizan cuando ya ocurrió el caso. En este sentido, a la fecha no existe un método de prevención efectivo y que sea al mismo tiempo sustentable.

Ecología química

La ecología química es la ciencia que estudia las interacciones entre los organismos y entre los organismos y su medio que son influenciadas por sustancias químicas. Los semioquímicos (del griego *semeon*= señal) son sustancias químicas involucradas en la comunicación de los organismos vivos y al ser liberadas producen un efecto

cualquiera que sea en el receptor o emisor. Los semioquímicos se dividen en aleloquímicos los cuales actúan a nivel interespecífico (entre especies) y las feromonas que actúan a nivel intraspecífico (dentro de la misma especie). El conocimiento de los semioquímicos y sus efectos sobre organismos que causan daños al humano tiene como objetivo plantear estrategias que manipulen el comportamiento de los mismos con la finalidad de dirigirlos a sitios donde sea más fácil controlarlos. Históricamente, el uso de este conocimiento incluía: monitoreo de plagas como momento indicador del uso de las estrategias de control seleccionadas; trampeo masivo, para extraer un número importante de plagas de la población y confusión del apareamiento (mating disruption) donde se evitaba el encuentro entre macho y hembras y con ello el apareamiento, el cual ocurre mediante la liberación extrema de feromona sintética. Sin embargo, actualmente se utiliza este conocimiento para atraer insectos a trampas con algún regulador de poblaciones bajo el concepto "atraer y matar" (lure and kill), cual ha sido utilizada con rotundo éxito para el control plagas de importancia agrícola y recientemente en insectos de importancia médica.

Atrayentes de alimentación

El mosquito *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) es el principal vector de dengue, fiebre chikungunya, Zika, fiebre amarilla, entre otras arbovirosis. Este mosquito realiza varios comportamientos para desarrollar sus procesos fisiológicos dentro de su ciclo de vida siendo epidemiológicamente los más importantes: la alimentación con sangre, la cual realiza para el desarrollo de sus huevos siendo el evento donde puede infectarse o infectar si ya lo está (recientemente se ha reportado transmisión vertical); y la oviposición donde el mosquito selecciona el sitio ideal para depositar sus huevos y garantizar su prole. Para el caso de la alimentación, la hembra detecta los olores propios del humano orientándose a largas distancias por el CO₂ el cual es un atrayente generalista y sinergista constituyendo la primera señal química de que una posible

fuente de alimentación se encuentra cerca. En su detección el mosquito va siguiendo a este compuesto químico por gradiente de olor y una vez acercándose al hospedero los olores propios del mismo, así como, la temperatura y la humedad lo estimulan a hacer contacto y a alimentarse. Los principales atrayentes de alimentación a largas distancias son el CO₂ y el 1-octen-3-ol identificado en el aliento de rumiantes, mientras que el L-ácido láctico, amonio, ácido caproico y otros ácidos grasos son los responsables de la estimulación final para que la picadura ocurra. Los últimos tres compuestos están incluidos en uno de los cebos más atractivos y que son colocados en una de las trampas más efectivas para capturar esta especie. *Aedes aegypti* es una especie antropofágica, esta característica le ha conferido estrecha relación con el humano y por lo tanto este debe protegerse de sus picaduras.

Atrayentes de oviposición

La oviposición es uno de los más importantes eventos en el ciclo de vida de los mosquitos, si la oviposición es prevenida el ciclo de vida se interrumpe y el crecimiento de la población se reduce. Las señales químicas que utilizan los mosquitos para localizar los sitios de oviposición juegan un papel importante y pueden ser explotadas exitosamente para producir ovitrampas efectivas para el monitoreo y letales para el control de enfermedades transmitidas por mosquitos. El éxito reproductivo de los mosquitos depende de la capacidad que las hembras grávidas tienen para localizar y seleccionar un sitio apropiado para el desarrollo y supervivencia de su prole (Bentley and Day, 1989). Al ser *Aedes aegypti* y *Ae. albopictus* dos mosquitos altamente antropofílicos y que habitan en recipientes cercanos a la vivienda humana, el comportamiento de oviposición podría ser manipulado utilizando ovitrampas cebadas con atrayentes químicos como un componente de un manejo integrado de control de vectores (Ritchie et al., 2009). A pesar de que el conocimiento sobre los sitios de oviposición ha sido usado para el desarrollo de ovitrampas letales bajo el concepto de "atraer y matar" (Mendki et al., 2000) la investigación

para identificar repelentes naturales de oviposición ha sido muy limitada (Prajapati et al., 2005; Tawatsin et al., 2006) inclusive para aquellos compuestos sintéticos ya reportados (Hwang et al., 1980; Hwang et al., 1982; Xue et al., 2001).

La utilización de ovitrampas como un indicador de riesgo ha dado buenos resultados. Sin embargo, las acciones normativas de control siguen siendo reactivas y las ovitrampas cuando no son inspeccionadas por diversas razones (casas cerradas, renuencia, etc) pueden constituir un ideal criadero más. Las ovitrampas fueron desarrolladas en función del conocimiento del comportamiento de oviposición de los vectores del dengue desde los años 60's (Fay y Perry, 1965; Fay y Elliason 1966), a partir de ahí, se han utilizado para el monitoreo de poblaciones y para la evaluación de las medidas de control (Reiter y Nathan, 2001). A las primeras ovitrampas se le han realizado modificaciones con la finalidad de aumentar su efectividad (Chua et al., 2004; Lenhart et al., 2005; Ritchie et al., 2003; Ritchie et al., 2008; Ritchie et al., 2009; Chadee et al., 2009; Torres-Estrada y Rodiles Cruz 2013) y se les ha dado un giro al cambiarlas de ser un sistema de monitoreo pasivo a uno activo. La agregación de atrayentes que pueden ser naturales (infusiones de pasto bermuda por ejemplo) (Santos et al., 2003) o sintéticos (estándares comerciales derivados de infusiones) (Baak Baak et al., 2013) y de medidas de control (agentes biológicos, barreras mecánicas e insecticidas) (Zeichner et al., 1999; Torres-Estrada et al., 2013) han transformado su actividad a una medida de control bajo el concepto de "atraer y matar" Estas ovitrampas llamadas actualmente letales han sido evaluadas en múltiples escenarios con éxito principalmente cuando son aplicadas con otras medidas de control. La medida de control normativa que potencializa al uso de las ovitrampas letales viene siendo la descacharrización o eliminación de criaderos, en este sentido manejar los recipientes o criaderos que compiten contra la ovitrampa dentro y fuera de las casas optimiza la acción de las ovitrampas (Perich et al., 2003). Al ser la descacharrización una estrategia no sustenta-

ble para el control de vectores es necesario la implementación de nuevas opciones que ayuden a las ovitrampas letales, en este sentido, el uso de repelentes de oviposición aplicados en criaderos podrían ser una buena opción para manejar el comportamiento de los vectores del dengue y fiebre Chikungunya.

El comportamiento de oviposición es un evento crucial en la vida de todas las especies de mosquitos. A largas distancia la hembra grávida detecta reflejancia de la luz producida por el agua de un recipiente artificial oscuro con agua limpia, una vez detectada se acerca y entran en acción algunos atrayentes y estimulantes que derivan del criadero. *Aedes aegypti* prefiere poner sus huevos en recipientes artificiales, oscuros, con paredes rugosas y agua limpia este conocimiento ha servido para el desarrollo de las ovitrampas estándares actuales con las que se hace el monitoreo pasivo de poblaciones, se alimenta la plataforma de vigilancia entomológica y se evalúan las medidas de control. Actualmente a estas ovitrampas se les han colocado atrayentes químicos para aumentar su eficiencia, así como, reguladores de poblaciones (mallas, pegamento, insecticidas, entre otros) y han pasado a ser un sistema de monitoreo activo para el monitoreo y control bajo el concepto de "atraer y matar". Los principales atrayentes de oviposición para *Ae. aegypti* son: el 3-metil-indol, el cual fue identificado de las infusiones de *Cynodon dactylum* reportadas por Reiter et al., (1981). El n-heneicosano, identificado por Mendki a partir de agua donde se criaron larvas durante 20 días, ha sido señalado como una feromona de oviposición y este señalamiento debería ser discutido desde el punto de vista del concepto de feromona y/o kairomona y de las razones por las cuales una hembra de esta especie pudiera liberar alguna señal invitando a otras a depositar sus huevos en aguas donde el alimento para sus crías pudiera ser insuficiente. Además, esta especie exhibe un comportamiento de brincar de criadero en criadero (skyp) que le permite colonizar y dispersarse en otros poniendo en cada uno de ellos unos cuantos

huevos (Harrington y Edman 2001), siendo esta una estrategia para asegurar su progenie y evitar el hacinamiento. También Chadee et al., (1990), reportan que las hembras gravidas de *Ae. aegypti* evitan oviponer en sitios donde existen huevos de ellas mismas de un ciclo u ovipostura anterior. En especies del género *Culex* la feromona 5-eritro-6-acetoxi-hexadecanolido localizada en la parte apical de los huevos, manda una señal para invitar a otras hembras a depositar sus huevos en esos sitios los cuales presentan grandes cantidades de fuentes de alimento derivadas de materia orgánica (Laurence y Pickett 1985). Baak-Baak et al., (2013), reportaron el efecto atrayente de una combinación de fenol, p-cresol, 3-metil-indol y n-heneicosano. Torres-Estrada y Rodiles Cruz (2014), colocaron n-heneicosano y 3-metil-indole dentro de una ovitrampa letal (CRISPP) encontrando un efecto de atracción significativo en comparación con ovitrampas estándares y un efecto residual de cuatro días. El ácido caproico es otro compuesto extraído e identificado de extractos y macedos de huevos el cual se ha reportado como un buen atrayente de esta especie (Ganesan et al., 2006). El conocimiento de los atrayentes de oviposición ha conllevado a la implementación de ovitrampas letales que podrían funcionar como un sistema de monitoreo y control de estos vectores. Finalmente, poco se conoce a compuestos químicos que puedan funcionar como repelentes o inhibidores (deterrentes) de la oviposición, la mayoría de los reportes señalan que los mismos compuestos que son usados como atrayentes y estimulantes podrían funcionar como repelentes e inhibidores cuando se aplican a altas concentraciones.

Repelentes

Los repelentes pueden clasificarse como sónicos y químicos, estos últimos: en naturales y sintéticos y a la vez en tópicos y espaciales. Representan una alternativa al uso de insecticidas como medida de protección contra las picaduras de vectores de importancia medica incluyendo: mosquitos, piojos, pulgas, garrapatas, entre otros (Peterson y Coats, 2001).

Repelentes tópicos

El uso de repelentes se remonta a épocas muy antiguas, donde diversos aceites de plantas, humo y alquitranes eran utilizados para repeler o matar insectos. Antes de la segunda guerra mundial, se conocían pocos repelentes tópicos como: aceite de citronella, Dimetil Ftalato, Indalone y Rutgers 612 (Peterson y Coats, 2001). Con el inicio de la segunda guerra mundial, el desarrollo de nuevos repelentes capaces de ser impregnados en uniformes militares cobró importancia, sin embargo, todos los intentos fallaron para proporcionar la protección deseada para los militares desplegados en todo el mundo (Peterson y Coats, 2001). Fue en 1946, cuando la armada de los Estados Unidos de Norteamérica, desarrollo y patentó al N, N-Dietil-meta-toluidina (DEET) para su uso por el personal militar como repelente contra insectos vectores y hasta 1957, el DEET fue registrado para su uso por el público en general, sin ninguna restricción en la cantidad o la frecuencia de aplicación (Lewis et al., 2000). A partir de ahí, se han desarrollado numerosos y diversos estudios que involucren la identificación de nuevas sustancias y el desarrollo de nuevas formas de utilización de repelentes tópicos, lográndose hasta la fecha pocos avances, por lo que el DEET después de más de 50 años sigue siendo el más efectivo. Las características de un repelente ideal incluyen: tener acción repelente contra múltiples especies de artrópodos que pican; tener una efectividad de al menos ocho horas; no causar irritación a la piel y mucosas; no causar toxicidad sistémica en humanos; ser resistente a la abrasión y frotamiento, ser poco grasoso y no tener olor. Ningún repelente disponible actualmente cumple con estas especificaciones. Además de que los resultados de repelencia pueden variar en función de las especies, características propias del hospedero, así como ciertos factores ambientales, por ejemplo: un aumento de 10°C en la temperatura ambiental puede ocasionar un decremento del 50% de la efectividad de ciertos repelentes.

Finalmente, el uso de repelentes tópicos puede tener ciertas limitaciones y desventajas como: a)

al ser aplicados directamente a la piel obstruyen los poros por los que las personas empiezan a sudar más rápido ocasionando que se incremente la liberación del L-ácido láctico presente en el sudor fresco de los humanos; b) al ser tópico solo protege las áreas cubiertas ocasionando que quedan descubiertas las áreas donde no se aplicó, difícilmente se alcanzaría un 100% de cobertura de aplicación en el cuerpo y con ello de protección; c) actúan de manera personalizada lo cual quiere decir que, solo protegen a la persona que se lo aplica, ocasionando que personas cercanas a él sufran de mayor número de picaduras (es decir, serían objeto del doble de picaduras), finalmente, los productos disponibles son grasosos y de olores fuertes lo cual ocasiona que no sean bien aceptados por la población. Al no contar con el repelente ideal y que se cree que deberá ser oral, las investigaciones siguen centrándose en aquellas sustancias que han sido probadas y que produzcan una relativa protección.

Repelentes espaciales

Por su parte los repelentes espaciales son aquellas sustancias que en su fase vapor ocasionan que los mosquitos se alejen del sitio o lugar donde se liberan generando un espacio o área libre de ellos. El término "Repelente Espacial" se utiliza para referirse al producto que produce un cambio en el comportamiento y dirección de un mosquito cuando entra en un espacio donde se encuentra diseminado el producto debido a sus características volátiles, lo que resulta en una reducción en el contacto hombre-vector y por lo tanto, en la protección tanto individualizada como de grupo (WHO, 2013). Otro término que es diferente a la repelencia espacial es la irritancia, la cual está basado en el contacto o no que tienen los tarsos de los mosquitos sobre el producto, cuando el mosquito vuela en dirección contraria de la fuente o producto teniendo contacto. Se llama irritancia y cuando este comportamiento de alejamiento en contra del producto ocurre sin contactarlo, se refiere a repelencia espacial, muchos productos químicos (insecticidas) han desarrollado ambas respues-

tas por presión de selección y entonces los mosquitos han modificado su comportamiento en relación al contacto o no con el producto (resistencia por comportamiento). Este conocimiento se ha ido desarrollando y se ha investigado el cambio de comportamiento de los mosquitos vectores del paludismo debido al constante uso del DDT principalmente para los vectores africanos y donde los mosquitos han modificado su estrategia de “reposar” en las paredes de casas rociadas con este producto organoclorado antes y después de picar, por la estrategia de “entrar, picar y salir” de la vivienda sin posarse en las paredes para adquirir la dosis letal y hasta la de modificar su comportamiento de picadura sin entrar a la vivienda adelantando sus hábitos o picando fuera de la casa. Es decir, el DDT junto con otros productos del mismo grupo ha generado una modificación paulatina del comportamiento de los vectores del paludismo generando que los mosquitos no entren a las casas. En un estudio realizado en nuestro Centro de Investigación (antes CIP) se observó que, cuando se aplicaba el carbamato Ficam® en las paredes de una casa experimental en el sur de Chiapas México, los mosquitos morían pero después de picar, en tanto que, cuando se aplicaba DDT los mosquitos salían inmediatamente de la casa sin alimentarse, esto debido al efecto excito-repelencia (Loyola et al., 1990).

Por su parte, Grieco et al., (2005), diseñaron un sistema de evaluación de repelencia espacial, irritancia y toxicidad llamado HITSS por sus siglas en inglés (High-Throughput Screening System) utilizando este equipo, Achee et al., (2009), caracterizaron el efecto de repelencia espacial, irritancia y toxicidad de 14 productos que se aplican en el control de vectores, reportando que solo el DDT presentó efecto de repelencia espacial y que el efecto de irritancia y toxicidad vario en función del producto.

Algunos productos insecticidas como la metoflutrina han sido previamente evaluadas para observar repelencia espacial contra *Ae. aegypti* (Shono et al., 2004, Rapley et al., 2009), se ha

informado que el uso de metoflutrina reduce significativamente las poblaciones de *Ae. aegypti* (Shono et al., 2004). Mientras que la transflutrina es un repelente de acción rápida con alta volatilidad y una actividad “knock down” en altas concentraciones (WHO, 2006). Se utiliza en productos domésticos (Raidolitos®) contra varios insectos plagas, como mosquitos, moscas y polillas. Las evaluaciones se han realizado utilizando transflutrina para repeler *Cx. quinquefasciatus* (Pates et al., 2002), *An. arabiensis* (Ogoma et al., 2012) y *Ae. albopictus* (Lee, 2007).

Se ha evaluado la actividad repelente contra las picaduras de flebótomos de los aceites esenciales de linalool encontrándose 55% de protección (Muller et al., 2008). Los aceites esenciales (Aes) son una mezcla compleja de compuestos orgánicos volátiles, algunos de ellos con actividad atrayente o repelente de insectos. Aunque la lista es amplia, dos de los AEs promisorios como repelentes espaciales se encuentran en el linalool y el extracto de *Nepeta* sp (Golenda et al., 1999). Los AEs, generalmente tienen baja toxicidad para los mamíferos, los valores de la DL50 oral (mg/kg de peso corporal) para ratas del aceite esencial de linalool es de 2.79, por lo que este puede ser una alternativa atractiva de origen natural para el control de mosquitos vectores (Aciole et al., 2014).

Perspectivas de control de *Aedes aegypti* usando semioquímicos

Las perspectivas del uso de semioquímicos son altas, ya que se pueden realizar estrategias de manipulación del comportamiento bajo los conceptos de “atraer y matar” (lure and kill) y en combinación con la estrategia “empujar y jalar” (push-pull), como estrategias de control biorracional que podrían incluirse en el manejo integral de insectos vectores de dengue, fiebre chikungunya y Zika.

El conocimiento del comportamiento de este vector nos permite reflexionar sobre varios aspectos: por ejemplo: si sabemos que los mosquitos vectores de estas enfermedades se en-

cuentran dentro de las casas, se alimentan todo el día (en función de la disponibilidad de hospedero) en la mayoría de las veces dentro de las mismas casas; ponen huevos durante todo el día (en función de la disponibilidad de los criaderos) muchas veces fuera de ellas donde se encuentran los criaderos, entonces por qué no utilizar este conocimiento para 1) sacar (push) los mosquitos que se encuentran dentro de las casas en búsqueda de alimento y/o reposo, 2) atrapar (pull) y matar (kill) los que salieron por efecto de la primera acción o push, 3) evitar que los que salieron en búsqueda de un sitio para depositar sus huevos entren otra vez para su siguiente ciclo gonotrofico (lure). Por otro lado, que tal si además de esto, a los mosquitos que no lograron salir los atraemos y los conducimos hacia sitios selectos (trampas pegajosas con atrayentes o nuevos dispositivos de trampeo) dentro de la casa (kill), así también, todas aquellas hembras grávidas que salieron y andan en busca de un criadero en el patio de la casa, podrían ser confinadas a sitios donde sean más susceptibles de ser controlados (lure-kill). Esta manipulación del comportamiento tanto de alimentación como de oviposición puede lograrse con la utilización combinada de repelentes espaciales y atrayentes mediante las estrategias llamadas "push-pull" y "lure-kill".

Estrategia "push-pull" (empujar y jalar)

La estrategia "push-pull" fue reportada por primera vez en 1987 por Pyke et al., para ser incorporada en el manejo integrado de *Helicoverpa* sp., principal plaga del algodón en Australia. Después el término fue refinado por Miller y Cowles (1990) y lo denominaron "estrategia de desviación estímulo-deterrencia" (SDD strategies) mientras buscaban alternativas a los insecticidas para el control de *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae) la mosca de la cebolla. Sin embargo, el concepto más utilizado y conocido en la actualidad es el de push-pull (empujar y jalar) haciendo alusión a la acción de sacar algo que produzca un daño o perjuicio de un área y llevarlo a un sitio donde se pueda controlar. En términos agrícolas la estrategia usa una combinación

de estímulos que modifican el comportamiento para manipular la distribución y abundancia de las plagas aplicando repelentes, deterrentes y cultivos trampa (Cook et al., 2007). Los componentes para el "push" pueden ser de tipo visual y químico, el primero se refiere a la utilización de colores y formas, mientras que, el segundo incluye a los semioquímicos modificadores del comportamiento principalmente las alomonas (repelentes) y de ellas, las de tipo espacial. Para el componente "pull" intervienen las feromonas y kairomonas colocadas en trampas (Aldrich et al., 2005; Agelopoulos et al., 1999). Los repelentes espaciales son definidos en el caso de insectos vectores, como aquellas sustancias químicas que en su fase de vapor generan una barrera de protección a las picaduras de los insectos y evitan que estos puedan encontrar a larga distancia sus fuentes de alimentación, provocando entonces un espacio libre de ellos y por consiguiente previenen el contacto hombre-vector (zona de seguridad) (Schreck et al., 1970). Para el caso de enfermedades transmitidas por vector los primeros reportes del componente "push" son dentro del programa de erradicación del paludismo en África y ha aparecido como consecuencia de la presión de selección ejercida por el extensivo y prolongado uso de los rociados residuales intradomiciliarios con insecticidas organoclorados, así como, con la utilización de pabellones impregnados con productos piretroides (Hill et al., 2007; Takken y Knols 2009). Otros ejemplos de cambios de comportamiento relacionados con el efecto de insecticidas organoclorados son el "entrar-picar-salir" desarrollado por *An. gambiae* s.s (Kuhlow, 1962). Con este comportamiento, el mosquito evita posarse en la pared impregnada con insecticida, por consiguiente el efecto letal disminuye junto con el contacto hombre-vector dentro de las casas y con ello la transmisión. Son conocidas las propiedades de irritancia y repelencia espacial del DDT y de otros insecticidas piretroides como la deltametrina, lo cual les confiere una propiedad modificadora del comportamiento (Roberts et al., 2000; Grieco et al., 2000). Salazar et al., (2013), evaluaron la posibilidad de que la aplicación de un repelente espacial afecte

la captura de la trampa BG Sentinel. En su estudio ellos determinaron que no existió efecto negativo sobre las capturas de *Ae. aegypti* del DDT y metoflutrina y si de la transflutrina. Con sus resultados sugieren que los compuestos evaluados y la trampa BG Sentinel pueden funcionar dentro de una estrategia "push-pull" para el control de los vectores del dengue. Paz-Soldan et al., (2011), encontraron una alta aceptación por parte de una comunidad en Iquitos, Perú y Kanchanaburi, Tailandia para poder usar esta estrategia para su aplicación a gran escala contra *Ae. aegypti*. Sin embargo, debe señalarse que el costo de dicha trampa hace poco probable su incorporación dentro de un programa a gran escala por lo menos en nuestro país por lo que se deben de buscar y analizar otras opciones menos costosas para el componente "pull".

Estrategia "lure-kill" (atraer y matar)

La estrategia "lure-kill" (atraer y matar) de igual forma fue desarrollada para ser integrado dentro del manejo de plagas agrícolas con la finalidad de controlar plagas agrícolas de una manera más bioracional. Esta estrategia a diferencia del trampeo masivo y la confusión del apareamiento (mating disruption) (Carde y Minks 1995; Suckling 2000; El-Sayed et al., 2006; Byers 2007). Usa a los semioquímicos en combinación con agentes reductores de poblaciones como: entomopatógenos, esterilizantes, insecticidas entre otros (El-Sayed et al., 2008). El componente lure puede ser de tipo físico y químicos, los primeros pueden incluir a los sonidos, colores y formas, mientras que los de tipo químico a los aleloquímicos y a las feromonas (Beroza y Green 1963). Esta estrategia ha ido evolucionando con el desarrollo de las técnicas e instrumentos analíticas para la colecta, identificación, síntesis y evaluación de los compuestos estudiados. El principal éxito que ha tenido esta estrategia a gran escala es el del control de *Glossina* spp (la mosca tsé tsé) principal vector de la Tripanosomiasis africana o mal del sueño realizada desde la década de los 40's (Morris y Morris 1949). Esta estrategia incluyó la identificación y utilización del 1-octen-3-ol (octenol) en el aliento del búfalo. A partir de

la incorporación de este atrayente combinado con acetona y 4-metilfenol las poblaciones de varias especies del género *Glossina* se redujeron desde un 85 hasta un 99% (Vale et al., 1985; Laveissiere 1988; Day y Sjogren 1994; Esterhuizen et al., 2006). Recientemente el uso de la estrategia "lure-kill" ha sido desarrollada utilizando algunos atrayentes como el 1-octen-3-ol, L-ácido láctico entre otros combinados con CO₂ e incorporados en trampas con distintos diseños (DeFoliart y Morris 1967; Acree et al., 1968; Adeyeye y Butler 1991; Kline et al., 1991; Takken y Kline, 1989; Kline, 2006; Takken y Knols, 1999).

Bibliografía

- Achee NL, Bangs MJ, Farlow R, Killeen GF, Lindsay S, Logan JG, Moore SJ, Rowland M, Sweeney K, Torr SJ, Zwiebel LJ, Grieco JP. Spatial repellents: from discovery and development to evidence-based validation. *Malaria J.* 2012;11(1):164. doi: 10.1186/1475-2875-11-164.
- Acree, F., R. B. Turner, H. K. Gouch, M. Beroza, and M. Smith. 1968. L-lactic acid: a mosquito attractant isolated from humans. *Science (Wash., D.C.)* 161: 1346-1347.
- Adeyeye, O. A., and J. F. Butler. 1991. Field evaluation of carbon dioxide baits for sampling *Ornithodoros turicata* (Acari: Argasidae) in gopher tortoise burrows. *J. Med. Entomol.* 28: 45-49.
- Agelopoulos N, Birkett MA, Hick AJ, Hooper AM, Pickett JA, et al. 1999. Exploiting semiochemicals in insect control. *Pestic.Sci.* 55:225-352.
- Aldrich J.R., Bartelt R.J., Dickens J.C., Knight A.L., Light D.M., Tumlinson J.H., 2003. Insect chemical ecology research in the United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. *PestManag.Sci.* 59:777-8
- Baak-Baak, C. M., Rodríguez-Ramírez, A. D., García-Rejón, J. E., Ríos-Delgado, S., & Torres-Estrada, J. L. (2013). Development and labora-

- tory evaluation of chemically-based baited ovitrap for the monitoring of *Aedes aegypti*. *Journal of Vector Ecology*, 38(1), 175-181.
- Beroza, M., and N. Green. 1963. Materials tested as insect attractants. United States Department of Agriculture/ Agricultural Research Service. *Agricultural Handbook No. 239*.
- Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, Drake JM, Brownstein JS, Hoen AG, Sankoh O, Myers MF, George DB, Jaenisch T, Wint WGR, Simmons CP, Scott TW, Farrar JJ, Hay SI: The global distribution and burden of dengue. *Nature* 2013, 496:504-507.
- 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:e1760. doi:10.1371/journal.pntd.0001760.
- Byers, J. A. 2007. Simulation of mating disruption and mass trapping with competitive attraction and camouflage. *Environ. Entomol.* 36: 1328-1338.
- Carde, R. T., and A. K. Minks. 1995. Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. *Annu. Rev. Entomol.* 40: 559-585.
- Carroll SP, Loye J: PMD, a registered botanical mosquito repellent with Deet-like efficacy. *J Am Mosq Control Assoc* 2006, 22:507-514.
- Cook S, Khan ZR, Pickett JA: The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Ann Rev Entomol* 2007, 52:375-400.
- Chadee, D. D., Corbet, P. S., & Greenwood, J. J. D. (1990). Egg-laying Yellow Fever Mosquitoes avoid sites containing eggs laid by themselves or by conspecifics. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 57(3), 295-298.
- Chadee, DD. Oviposition strategies adopted by gravid *Aedes aegypti* (L) (Diptera: Culicidae) as detected by ovitraps in Trinidad, West Indies (2002-2006). *Acta Tropica* 2009;111:279-283
- Chua KB, Chua IL, Chua IE, Chua KH. Differential preferences of oviposition by *Aedes* mosquitoes in man-made containers under field condition. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2004;35:599-607.
- Day, J. F., and R. Sjogren. 1994. Vector control by removal trapping. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 50: 126-133.
- DeFoliart, G. R., and C. D. Morris. 1967. A dry ice-baited trap for the collection and field storage of hematophagous Diptera. *J. Med. Entomol.* 4: 360-362.
- El-Sayed, A. M., D. M. Suckling, C. H. Wearing, and J. A. Byers. 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J. Econ. Entomol.* 99: 1550-1564.
- El-Sayed, A. M. 2009. The Pherobase: database of insect pheromones and semiochemicals. (www.pherobase.com).
- Esterhuizen, J., K. Kappmeier Green, E.M. Nevill, and P. Van Den Bossche. 2006. Selective use of odour-baited, insecticide-treated targets to control tsetse flies *Glossina austeni* and *G. brevipalpis* in South Africa. *Med. Vet. Entomol.* 20: 464-469.
- Fay RW, Perry AS. Laboratory studies of ovipositional preferences of *Aedes aegypti*. *Mosq News* 1965;25:276-281.
- Fay RW, Eliason DA. A preferred oviposition site as a surveillance method for *Aedes aegypti*. *Mosq News* 1966;26:531-535. Hwang, Y. S., Kramer, W. L., & Mulla, M. S. (1980). Oviposition attractants and repellents of mosquitoes. *Journal of Chemical Ecology*, 6(1), 71-80.

- Finney, D. J. (1947). Probit analysis; a statistical treatment of the sigmoid response curve. Oxford, England: Macmillan. (1947). xiii 256 pp.
- Gubler, D. J. (1998). Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clinical microbiology reviews*, 11(3), 480-496.
- Harrington LC, Scott TW, Lerdthusnee K, Coleman RC, Costero A, Clark GG, Jones JJ, Kitthawee K, Kittayapong P, Sithiprasasna R, Edman JD. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. *AmJTrop Med Hyg.* 2005;72:209–220
- Hernández-Ávila, M., Lazcano-Ponce, E., Hernández-Ávila, J. E., Alpuche-Aranda, C. M., Rodríguez-López, M. H., García-García, L., ... & Díaz-Ortega, J. L. (2016). Analysis of the evidence on the efficacy and safety of CYD-TDV dengue vaccine and its potential licensing and implementation through Mexico's Universal Vaccination Program. *salud pública de méxico*, 58(1), 71-83.
- Heymann, D. L., Hodgson, A., Freedman, D. O., Staples, J. E., Althabe, F., Baruah, K., ... & Menon, K. U. (2016). Zika virus and microcephaly: why is this situation a PHEIC?. *The Lancet*, 387(10020), 719-721.
- Hwang, Y. S., Schultz, G. W., Axelrod, H., Kramer, W. L., & Mulla, M. S. (1982). Ovipositional Repellency of Fatty Acids and Their Derivatives Against *Culex* 1 and *Aedes* 1 Mosquitoes. *Environmental Entomology*, 11(1), 223-226.
- Kline, D. L. (2006). Traps and trapping techniques for adult mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22(3), 490-496.
- Kline, D. L., J. R. Wood, and J. A. Cornell. 1991. Interactive effects of 1-octene-3-ol and carbon dioxide on mosquito (Diptera: Culicidae) surveillance and control. *J. Med. Entomol.* 28: 254-258
- Kloter KO, Bowman DD, Carroll MK. Evaluation of some ovitrap materials used for *Aedes aegypti* surveillance. *Mosq News* 1983;43:438-441.
- Ganesan, K., Mendki, M. J., Suryanarayana, M. V., Prakash, S., & Malhotra, R. C. (2006). Studies of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) ovipositional responses to newly identified semiochemicals from conspecific eggs. *Austral Entomology*, 45(1), 75-80.
- Geier, M., & Boeckh, J. (1999). A new Y-tube olfactometer for mosquitoes to measure the attractiveness of host odours. *Entomologia experimentalis et applicata*, 92(1), 9-19.
- Golenda, C.F., Solberg, V.B., Burge, R., Gamble, J.M., Wirtz, R.A., 1999. Gender related efficacy difference to an extended duration formulation of tropical N, N-diethyl-m-toluamide (DEET). *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 60, 654–657.
- Grieco, J. P., Achee, N. L., Andre, R. G., & Roberts, D. R. (2000). A comparison study of house entering and exiting behavior of *Anopheles vestitipennis* (Diptera: Culicidae) using experimental huts sprayed with DDT or deltamethrin in the southern district of Toledo, Belize, CA. *Journal of vector ecology: journal of the Society for Vector Ecology*, 25(1), 62-73.
- Grieco, J. P., Achee, N. L., Sardelis, M. R., Chauhan, K. R., & Roberts, D. R. (2005). A novel high-throughput screening system to evaluate the behavioral response of adult mosquitoes to chemicals. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 21(4), 404-411.
- Grieco JP, Achee NL, Chareonviriyaphap T, Suwonkerd W, Chauhan K, Roberts DR. A new classification system for the actions of IRS chemicals traditionally used for malaria control. *PLoS ONE.* 2007; 2(8): e716.
- Harrington, L. C., & Edman, J. D. (2001). Indirect evidence against delayed "skip-oviposition"

- behavior by *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *Journal of medical entomology*, 38(5), 641-645.
- Harrington LC, Scott TW, Lerdthusnee K, Coleman RC, Costero A, Clark GG, Jones JJ, Kitthawee K, Kittayapong P, Sithiprasasna R, Edman JD. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. *AmJTrop Med Hyg.* 2005;72:209–220
- Hill N, Lenglet A, Arnez AM, Carneiro I: Plant based insect repellent and insecticide treated bed nets to protect against malaria in areas of early evening biting vectors: double blind randomized placebo controlled clinical trial in the Bolivian Amazon. *BMJ* 2007, 335:1023
- Hwang, Y. S., Schultz, G. W., & Mulla, M. S. (1984). Structure-activity relationship of unsaturated fatty acids as mosquito ovipositional repellents. *Journal of chemical ecology*, 10(1), 145-151.
- Kline D. L., Lemire G. F.. 1998. Evaluation of attractant-baited traps/targets for mosquito management on Key Island, Florida, USA. *J. of Vector Ecology.* 23: 171–185.
- Kuhlow, F. (1962). Field experiments on the behaviour of malaria vectors in an unsprayed hut and in a hut sprayed with DDT in Northern Nigeria. *Bulletin of the World Health Organization*, 26(1), 93.
- Laurence, B. R., & Pickett, J. A. (1985). An oviposition attractant pheromone in *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). *Bulletin of Entomological Research*, 75(2), 283-290.
- Laveissiere, C. 1988. Tsetse Bies training and information guide. vector control series XV. *Biology and Control of Glossina Species, Vectors of Human African Trypanosomiasis.* Vector Biology Control Division, World Health Organization, Geneva, Switzerland. 88.958.
- LeeDK: Lethal and repellent effects of transfluthrin and metofluthrin used in portable blowers for personal protection against *Ochlerotatus togoi* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Entomol Res* 2007, 37:173–179.
- Lenhart AE, Walle M, Cedillo H, Kroeger A. Building a better ovitrap for detecting *Aedes aegypti* oviposition. *Acta Tropica* 2005;96:56-59.
- Lewis, M. C., Silva, M., Sanborn, J., Pfeifer, K., Schreider, P. J., & Helliker, E. P. (2000). N, N-diethyl-meta-toluamide (DEET): Risk characterization document. Medical Toxicology and Worker Health and Safety Branches: California Environmental Protection Agency, Department of Pesticide Regulation. Pesticide Registration Branch, Sacramento, Calif, USA.
- Loyola, E. G., Rodriguez, M. H., Gonzalez, L., Arredondo, J. I., Bown, D. N., & Vaca, M. A. (1990). Effect of indoor residual spraying of DDT and bendiocarb on the feeding patterns of *Anopheles pseudopunctipennis* in Mexico. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 6(4), 635-640.
- Mendki, M. J., Ganesan, K., Shri, P., Suryanarayana, M. V. S., Malhotra, R. C., Rao, K. M., & Vaidyanathaswamy, R. (2000). Heneicosane: an oviposition-attractant pheromone of larval origin in *Aedes aegypti* mosquito. *Current Science*, 78(11), 1295-1296.
- Miller JR, Cowles RS. 1990. Stimulo-deterrent diversion: a concept and its possible application to onion maggot control. *J. Chem. Ecol.* 16:3197–212.
- Müller, G.C., A. Junnila, V.D. Kravchenko, E.E. Revey, J. Butlers & Y. Schlein. 2008. Indoor protection against mosquito and sand fly bites: a comparison between citronella, linalool, and geraniol candles. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 24: 150-153.

- Morris, K.R.S., and M. G. Morris. 1949. The use of traps against tsetse in West Africa. *Bull. Entomol. Res.* 39: 491-528
- NORMA Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2014, Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector. DOF: 01/06/2011.
- Ogoma SB, Ngonyani H, Simfukwe ET, Mseka A, Moore J, GF Killeen GF: Spatial repellency of transfluthrin-treated hessian strips against laboratory-reared *Anopheles arabiensis* mosquitoes in a semi-field tunnel cage. *Parasit Vectors* 2012, 5:54-61.
- Pates HV, Line JD, Keto AJ, Miller JE: Personal protection against mosquitoes in Dar Es Salaam, Tanzania by using a kerosene oil to vaporize transfluthrin. *Med Vet Entomol* 2002, 16:277-284.
- Paz-Soldan, V. A., Plasai, V., Morrison, A. C., Rios-Lopez, E. J., Guedez-Gonzales, S., Grieco, J. P., ... & Achee, N. L. (2011). Initial assessment of the acceptability of a push-pull *Aedes aegypti* control strategy in Iquitos, Peru and Kanchanaburi, Thailand. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 84(2), 208-217.
- Perich, M. J., Kardec, A., Braga, I. A., Portal, I. F., Burge, R., Zeichner, B. C., & Wirtz, R. A. (2003). Field evaluation of a lethal ovitrap against dengue vectors in Brazil. *Medical and veterinary entomology*, 17(2), 205-210.
- Peterson, C., & Coats, J. (2001). Insect repellents-past, present and future. *Pesticide Outlook*, 12(4), 154-158.
- Prajapati, V., Tripathi, A. K., Aggarwal, K. K., & Khanuja, S. P. S. (2005). Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Bio-resource technology*, 96(16), 1749-1757.
- Pyke, B., Rice, M., Sabine, B., & Zalucki, M. P. (1987). The push-pull strategy-behavioural control of *Heliopsis*. *Australian Cotton Grower*, 8, 7-9.
- Rajkumar, S., & Jebanesan, A. (2005). Oviposition deterrent and skin repellent activities of *Solanum trilobatum* leaf extract against the malarial vector *Anopheles stephensi*. *Journal of Insect Science*, 5.
- Reiter, P., M.A. Amador, and N. Colon. 1991. Enhancement of the CDC ovitrap with hay infusions for daily monitoring of *Aedes aegypti* populations. *J. Am. Mosq. Contr. Assoc.* 7: 52-55.
- Reiter, P. and D.J. Gubler. 1997. Surveillance and control of urban dengue vectors. In: *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. D. J. Gubler and G. Kuno (eds.), CAB International, London.
- Reiter P, Nathan M. Guidelines for assessing the efficacy of insecticidal space sprays for control of the dengue vector *Aedes aegypti*. Geneva World Health Organization, 2001.}
- Ritchie SA, Long S, Hart A, Webb CE, Russell RC. An adulticidal sticky ovitrap for sampling container-breeding mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc* 2003;19:235-242.
- Ritchie, S. A., Long, S. A., McCaffrey, N., Key, C., Loneragan, G., & Williams, C. R. (2008). A biodegradable lethal ovitrap for control of container-breeding *Aedes*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(1), 47-53.
- Ritchie, S. A., Rapley, L. P., Williams, C., Johnson, P. H., Larkman, M., Silcock, R. M., ... & Russell, R. C. (2009). A lethal ovitrap-based mass trapping scheme for dengue control in Australia: I. Public acceptability and performance of lethal ovitraps. *Medical and veterinary entomology*, 23(4), 295-302.
- Roberts, D. R., Alecrim, W. D., Hshieh, P., Grieco, J. P., Bangs, M., Andre, R. G., & Chareonviraphap, T. (2000). A probability model of vector beha-

- viator: effects of DDT repellency, irritancy, and toxicity in malaria control. *Journal of vector ecology: journal of the Society for Vector Ecology*, 25(1), 48-61.
- Salazar, F. V., Achee, N. L., Grieco, J. P., Prabaripai, A., Ojo, T. A., Eisen, L., ... & Chareonviriyaphap, T. (2013). Effect of *Aedes aegypti* exposure to spatial repellent chemicals on BG-Sentinel™ trap catches. *Parasites & vectors*, 6(1), 145.
- Santos, S. R. A., Melo-Santos, M. A. V., Regis, L., & Albuquerque, C. M. R. (2003). Field evaluation of ovitraps consociated with grass infusion and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* to determine oviposition rates of *Aedes aegypti*. *Dengue Bulletin*, 27, 156-162.
- Schreck CE, Gilbert IH, Weidhaas DE, Posey KH. 1970. Spatial action of mosquito repellents. *J Econ Entomol.* Oct; 63(5):1576-8.
- Shono Y, Kubota S, Sugano M, Yap HH, Tsushima K: Field evaluation of papers strip and mosquito coil formulation impregnated meto-fluthrin for mosquito control in Malaysia. The Abstract Book, 70th Annual Meeting of American Mosquito Control Association. Savannah, GA. Eatontown, NJ: American Mosquito Control Association; 2004:40.
- Suckling, D. M. 2000. Issues affecting the use of pheromones and other semiochemicals in orchards. *Crop Prot.* 19: 677-683.
- Takken, W., & Kline, D. L. (1989). Carbon dioxide and 1-octen-3-ol as mosquito attractants. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 5(3), 311-316.
- Takken, W., & Knols, B. G. (1999). Odor-mediated behavior of Afrotropical malaria mosquitoes. *Annual review of entomology*, 44(1), 131-157.
- Takken, W., & Knols, B. G. (2009). Malaria vector control: current and future strategies. *Trends in parasitology*, 25(3), 101-104.
- Tawatsin, A., Asavadachanukorn, P., Thavara, U., & Wongsinkongman, P. (2006). Repellency of essential oils extracted from plants in Thailand against four mosquito vectors (Diptera: Culicidae) and oviposition deterrent effects against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 37(5), 915.
- Torres-Estrada, J. L., & Rodiles-Cruz, N. D. C. (2013). Design and evaluation of a ovitrap for monitoring and control of *Aedes aegypti*, dengue fever vector. *Salud Pública de México*, 55(5), 505-511.
- Xue, R. D., Barnard, D. R., & Ali, A. (2001). Laboratory and field evaluation of insect repellents as oviposition deterrents against the mosquito *Aedes albopictus*. *Medical and veterinary entomology*, 15(2), 126-131.
- Vale, G. A., E. Bursell, and J. W. Hargrove. 1985. Catching out the tsetse fly. *Parasitol. Today* 1: 106-110.
- WHO [World Health Organization]: WHO Specifications and Evaluations. ;2006.
- www.who.int/entity/whopes/.../Transfluthrin_eval_only
- World Health Organization. (2013). Guidelines for efficacy testing of spatial repellents.
- Xue, R. D., Barnard, D. R., & Ali, A. (2000). Laboratory toxicity of three mosquito oviposition repellents to six nontarget aquatic invertebrates. *Environmental entomology*, 29(3), 437-441.
- Zar JH (1999). *Biostatistical analysis*. 4th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Zeichner, B. C., & Perich, M. J. (1999). Laboratory testing of a lethal ovitrap for *Aedes aegypti*. *Medical and veterinary entomology*, 13(3), 234-238.

FICHA TÉCNICA DEL VECTOR Aedes Aegypti (LINNAEUS, 1762)

Patricia Deniss Campos Ibarra
María Guadalupe Galindo Mendoza
Carlos Contreras Servín
Raúl González Montero

IMPORTANCIA DEL VECTOR

El mosquito *Aedes aegypti* (Díptera: Culicidae), vector de los virus del dengue, fiebre amarilla y oeste del Nilo, entre otros, tiene su origen en el cinturón tropical de África donde generalmente se encuentran las especies del subgénero *Stegomyia* (Salvatella, 1996). Esta especie se caracteriza por su preferencia por climas cálidos (de 15 a 40 °C) y con niveles de precipitación pluvial moderados y altos, donde se generan condiciones ambientales favorables para su reproducción (Caballero et al., 2006; Mora-Covarrubias et al., 2010). El mosquito introducido en América, es una especie diseminada por el hombre por medio del transporte de sus adultos, huevos, larvas o ninfas en barcos, aviones y transportes terrestres. Sus hábitos son netamente antropófilos y domésticos, con radicación de criaderos en la vivienda o su peridomicilio (Marquetti, 2007). Por ende esta especie de mosquito se desarrolla en entornos urbanos que proporcionan con numerosos sitios de oviposición para poner sus huevos. Por lo tanto, la distribución de esta especie está impulsado en gran medida por las actividades humanas -por ejemplo, el almacenamiento de agua en el exterior- (García Sánchez, 2015). El dengue y el mosquito vector son endémicos de África y Asia (Caballero, 2006); sin embargo, en América se ha producido un incremento progresivo de casos durante las tres últimas décadas (Vezzani et al., 2004; Kouri, 2006; Marquetti, 2007; Mora-Covarrubias et al., 2010).

Taxonomía:

***Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762)**

Reino: Animal

Filum: Artropoda

Subfilum: Mandibulata

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Suborden: Nematocera

Familia: Culicidae

Subfamilia: Aedinae

Tribu: Aedini

Género: *Aedes*

Subgénero: *Stegomyia*

Especie: *aegypti*

- Nombre común: Mosquito de la fiebre amarilla
- Nombre científico : *Aedes (Stegomyia) aegypti*
- Sinonimia:
 - *Culex aegypti* Linnaeus 1762. Egypt.
 - *Culex argenteus* Poiret 1787. North Africa.
 - *Culex fasciatus* Fabricius 1805. West Indies.
 - *Culex calopus* Meigen 1818. Portugal.
 - *Culex mosquito* Rob.-Desvoidy 1827. Cuba.
 - *Culex frater* Rob.-Desvoidy 1827. West Indies.
 - *Culex taeniatus* Wiedemann 1828. Savannah (Georgia U.S.).
 - *Culex kounoupi* Brulle 1836. Morea (Greece).
 - *Culex niveus* Eichwald 1837. Caspian area.
 - *Culex annulitarsis* Macquart 1839. Canary Islands.
 - *Culex viridifrons* Walker 1848. Greece.
 - *Culex excitans* Walker 1848. Georgia.
 - *Culex formosus* Walker 1848. West Africa.
 - *Culex inexasabilis* Walker 1848. West Africa.

- *Culex exagitans* Walker 1856. Para (Brazil).
- *Culex impatibilis* Walker 1860. Makassar (Celebes).
- *Culex zonatipes* Walker 1861. New Guinea.
- *Culex bancrofti* Skuse 1889. Australia.
- *Culex elegans* Ficalbi 1889. Italy.
- *Culex rossi* Giles 1899. India.
- *Stegomyia nigeria* Theobald 1901. Nigeria.
- *Culex anguste-alatus* Becker 1908. Canary Islands.
- *Culex albopictus* Becker 1908. Canary Islands.
- *Duttonia alboannulis* Ludlow 1911. Philippines.

Distribución Geográfica y hábitat

Aedes aegypti Linnaeus, 1762, es un mosquito cuyo origen se ubica en la región Etiópica, que nuclea la mayor cantidad de especies del subgénero *Stegomyia* Theobald, 1901, al cual este culícido pertenece, allí este mosquito es una especie silvestre, habitando libre del contacto con el hombre. Ancestralmente, desde esas áreas, inició una dispersión efectuada por el hombre, que lo ha llevado a constituirse en un mosquito cosmopolita. Su presencia es o fue detectada en la mayor parte de las áreas tropicales o subtropicales, comprendidas entre los 45° de latitud norte y los 35° de latitud sur, en las zonas Isotermiales intermedias a los 20° C. Posteriormente saldría debido al desarrollo de actividades humanas, tales como el comercio y el turismo, para ampliar su distribución desde siglos atrás. Se tiene registro de la migración de *Aedes aegypti* hacia América entre el siglo XV y XVII transportado a bordo de los barcos de esclavos provenientes del viejo continente (Christophers, 1960).

A. aegypti y *A. albopictus* ambas son nativas del Viejo Mundo y fueron introducidas en las Américas por acción del hombre. *A. aegypti* pudo haber entrado con anterioridad a bordo de los primeros barcos españoles y portugueses, ya que es posible que el comercio entre Europa y África favoreciera su colonización previa de

la Península Ibérica. Actualmente *A. aegypti* se encuentra en todos los países de las Américas, excepto Bermuda, Canadá, Chile y Uruguay. Las primeras poblaciones de *Ae. albopictus* en las Américas se encontraron en 1985 en Texas, E. U. A., se presume que llegó por medio de envíos de neumáticos usados, importados del norte de Asia. Así mismo, *Ae. albopictus* se ha detectado recientemente en tres estados del norte de México (Savage y Smith, 1995; Patiño, 2001).

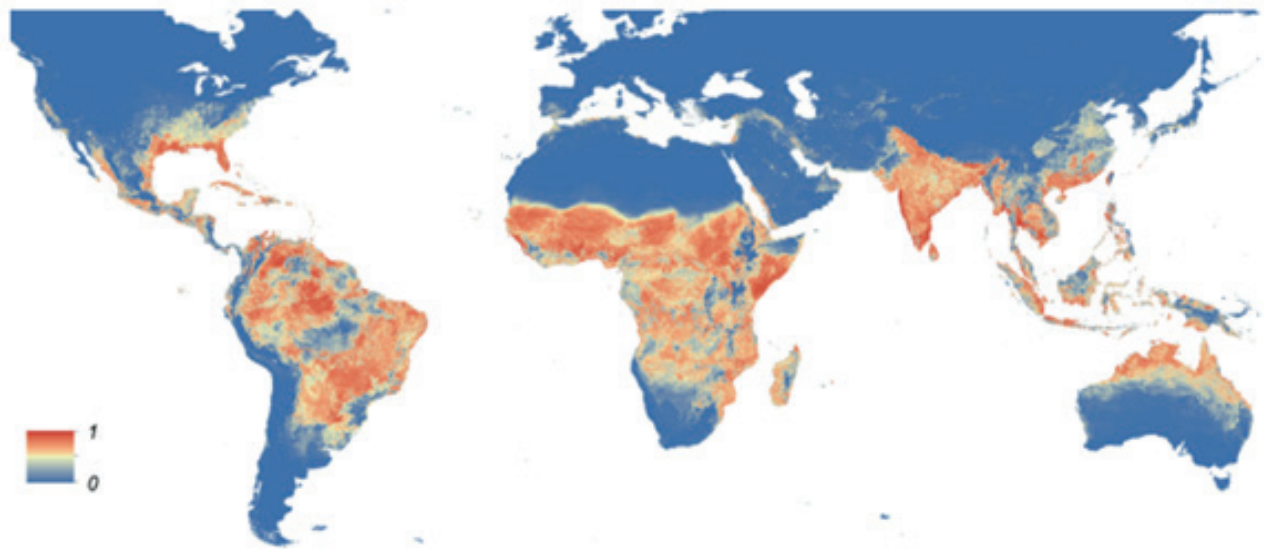
En México, la primera epidemia de dengue hemorrágico ocurrió en 1995. A partir de entonces, el número de casos de dengue ha aumentado y la incidencia pasó de 5220 casos en 2003 a 40559 en 2007. Aunque en la actualidad en México circulan los cuatro serotipos virales, el número de muertes por dengue se ha mantenido por debajo de 1% del total de casos de dengue hemorrágico. La OMS coloca a México como el país que ocupa el quinto lugar de incidencia en América Latina (Ramírez-Zepeda et al., 2009; Mora-Covarrubias et al., 2010).

En la actualidad se encuentra ampliamente distribuido alrededor del mundo en las zonas tropicales de África, Asia, América, Oceanía y en última instancia Europa, donde las condiciones ambientales no se presentan tan favorables a excepción de la parte sur de la península Ibérica (Fig.1).

Se le conoce como un vector cosmo-tropical, ya que ha logrado colonizar un gran territorio comprendido a lo largo del ecuador, y al nivel de los trópicos, llegando a establecerse principalmente en los trópicos y subtropicos antes limitada a latitudes de 45°N y 35°S, pero se le ha encontrado en sitios cada vez más altos y fríos.

En su forma salvaje, estos mosquitos desarrollan su ciclo de vida dentro de hábitats selváticos, alimentándose de néctar y sangre de diversas clases de invertebrados. Con el tiempo, presiones ambientales, como la deforestación, urbanización y uso de suelo para actividades agrícolas, fue generando en ellos la necesidad de adaptarse a

Figura 1. Distribución potencial actual del mosquito Aedes aegypti (Kreamer,2015).



estos cambios , lo cual hizo que algunos individuos se acoplan totalmente ya que encontraron favorable la sustitución de áreas silvestres por los asentamientos humanos, pudiendo mantener su ciclo de vida en contenedores artificiales proporcionados por la actividad humana.

Así se vio segregada la población de *Aedes aegypti formosus* la cual sería su forma selvática que de origen presenta una coloración más oscura , para generar una variante más clara con preferencia a mantener un ciclo de vida totalmente doméstico o dependiente del ser humano que sería, *Aedes aegypti aegypti*.

Se ha visto que los límites de distribución tanto al norte como al sur parecen estar relacionados con la temperatura (Simoy, 2015) lo cual se puede expresar en la Tabla 1, la cual distribuye las temperaturas adecuadas dependiendo de la ubicación geográfica donde se encuentre.

Hábitos

Como la mayoría de los integrantes del género *Aedes*, los machos no se alimentan por ingesta de sangre de vertebrados, sino que se alimentan del néctar de flores, mientras que las hembras para completar su nutrición y la producción de huevecillos si se alimentan de sangre únicamente.

Tab 1. Temperaturas óptimas máximas y mínimas dependiendo de su ubicación geográfica (Simoy, 2015)

	Enero	Julio
USA	1.7 °C	23.9 °C
Europa (exc. Oeste)	4.5 °C	23.9 °C
China	10 °C	26.7 °C
Australia	21.1 °C (verano)	10 °C (invierno)
Suramérica (Tacana, Perú-Bahía Blanca, Argentina)	26 °C (verano)	10 °C (invierno)

Las hembras son atraídas por los humanos aunque pueden alimentarse de otros vertebrados, pican mayoritariamente durante el día, con una actitud sutil y astuta que no las da a notar acercándose desde la sombra volando en sentido contrario al viento siguiendo los olores y gases emitidos por el huésped (CO₂), al estar cerca utilizan estímulos visuales para localizarlo mientras sus receptores táctiles y térmicos las guían hacia el sitio donde se posaran.

La dispersión del vuelo de *Aedes aegypti* es muy limitada, por lo general un adulto no sobrepasa de entre los 50 y 100 mts de radio de vuelo durante su vida, permaneciendo siempre cercanos al lugar de donde emergió, siempre y cuando disponga de las condiciones adecuadas (huésped, sitio de reposo y de postura adecuados),

aunque se ha reportado que una hembra puede viajar varios kilómetros en busca de las refugio. En el estado de Texas en 1986, se lograron encontrar huevecillos a una distancia de 8km del asentamiento humano más cercano, y larvas a 3.2 km (Thirión Icaza, 2010).

Los adultos no resisten temperaturas elevadas ni frío intenso. A temperaturas altas, la humedad en el aire tiene gran efecto sobre su resistencia, así como la evaporación, el tiempo de exposición y la superficie corporal. En un ambiente seco, la exposición 38°C o más suele ser letal en unos cuantos minutos, de la misma forma mueren pronto al estar expuestos a rangos muy próximos o debajo del punto de fusión del agua.

Un factor influenciante de importancia para la prevalencia de las especies en localidades particulares y que incluso se presenta como una de las características principales para la distribución a nivel mundial es la altitud. La mayor altitud registrada parece ser la encontrada en Mara en 1947, con presencia de especies en la cumbre del Mt. Bizen Eritrea, en una altitud de 7800 pies (Christophers, 1960). El mayor rango que se tenía registrado para la altura de vuelo en México era de 1603 mts, pero en tiempos más recientes se ha encontrado por arriba de los 1700 msnm (Lozano-Fuentes, 2012).

La longevidad vendrá dependiendo de diversos factores, como la humedad, temperatura y disponibilidad de alimento. El tiempo de vida de los adultos suele variar entre una semana y un mes. En laboratorio se han logrado conservar especímenes por más de 4 meses.

Descripción Morfológica General

Se le reconoce por ser un mosquito de coloración oscura (más clara que su forma selvática original) que mide aproximadamente 5mm y presenta un diseño de escamas blancas/plateadas en forma de lira sobre el tórax, bandas blancas en las patas y escamas claras en la base de los segmentos 3°, 4° y 5° del abdomen (Fig. 2).

Fig.2 Aspecto general del mosquito *Aedes aegypti*.



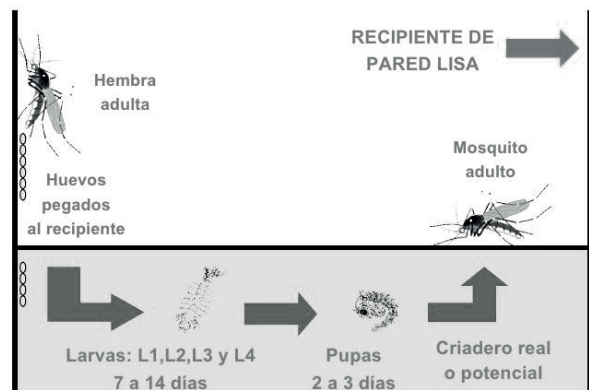
No presentan un dimorfismo sexual marcado, simplemente el macho es más pequeño, presenta antenas más grandes y plumosas y es menos robusto. Las hembras presentan antenas con pelos cortos y escasos, los palpos son de un tercio o menos de longitud que la proboscis, la cual está desarrollada especialmente para la alimentación hematofaga.

Reproducción y Ciclo de vida

Como los demás insectos que presentan un desarrollo holometábolo o con metamorfosis completa, *Aedes aegypti* debe pasar por las 4 formas básicas antes de lograr su madurez: huevo, larva, pupa y el adulto o imago (Fig3).

Al emerger de la pupa, antes de 24 horas ambos sexos están listos para el apareamiento, una

Fig.3 Ilustración del ciclo de vida general de *Aedes aegypti*



inseminación es suficiente para fecundar todos los huevos que la hembra produzca en toda su vida. Alrededor del 58% de las hembras nulíparas son inseminadas antes de su primera alimentación sanguínea, un 17% durante y el 25% es inseminada entre la segunda alimentación y la primera oviposición.

Los machos rondan como voladores solitarios aunque también lo hacen en grupos, atraídos por los mismos huéspedes vertebrados que las hembras, esto para facilitar el apareamiento que suele realizarse durante el vuelo. El macho es atraído por el sonido emitido de las alas de la hembra durante su vuelo.

Es común que después de cada alimentación sanguínea la hembra desarrolle un lote de huevos. La primera generación de óvulos requiere por lo menos de dos alimentaciones sanguíneas para su maduración, aunque *Aedes aegypti* suele alimentarse más de una vez entre cada postura (alimentaciones múltiples) sobretodo si es perturbada antes de estar completamente satisfecha consumiendo de 2 a 3 miligramos de sangre (Montero, 2009).

Edman, 1997 cita que las hembras adultas tienen que sobrevivir entre 10 y 14 días para ser vectores potenciales del virus del dengue, y no necesariamente se tiene que interrumpir su transmisión. Salas, (1993) en Monterrey N. L. calculó un ciclo gonotrófico de 5 días para *Aedes aegypti* a una temperatura de 25.5°C (Patiño, 2001). Se registra la duración del ciclo gonotrófico para *A. aegypti* de 3 y 4 días con una temperatura de 22.8°C y 22°C para los municipios de Techaluta de Montenegro y Tuxpan respectivamente (Patiño, 2001)

Por lo general el intervalo de tiempo que transcurre entre la alimentación sanguínea y la postura es de 48 horas en los trópicos bajo condiciones óptimas de temperatura. La oviposición se realiza principalmente por las tardes, de manera vespertina, poniendo los huevecillos de uno por uno. La hembra grávida preferirá los recipientes

Fig.4 Huevecillos de *Aedes aegypti* (Zettel, 2013)



oscuros o sombreados que contienen agua relativamente limpia clara y transparente, pudiendo desarrollar y poner alrededor de 100 huevos.

Hay un umbral en la distensión abdominal del estómago que estimula el desarrollo de los ovarios, por lo que una alimentación escasa producen menos huevos por lote y si es muy reducida no produce.

Para la oviposición las hembras buscarán depósitos de agua, los cuales pueden estar localizados de manera natural como estanques o huecos de árboles, pero *Aedes aegypti* preferirá recipientes artificiales los cuales están asociados a su hábitat y costumbres alimenticias, como objetos y construcciones, neumáticos abandonados, recipientes de todo tipo, botellas, floreros y piletas, donde el agua se conserve relativamente limpia y baja en sales disueltas. La hembra se posará en una de las paredes del recipiente, y dejará deslizarse uno por uno los huevecillos.

El ciclo completo de *Aedes aegypti* de huevo a adulto, se completa en óptimas condiciones de temperatura y alimentación alrededor de los 10 días.

Huevecillos

Miden aproximadamente 1 mm de longitud que al inicio son en tonalidades blancuzcas, se oscurecerán conforme pase el tiempo y la embriogénesis se lleve a cabo. Estos son depositados de uno en uno al ras del agua quedando adheridos a las paredes del recipiente que los contendrá (Fig.4).

En el momento de la postura los huevecillos son blancos, cambiando a un color más oscuro conforme vaya desarrollándose el embrión, proceso que durará aproximadamente 48 horas si las condiciones ambientales son las adecuadas, manteniendo la humedad y temperatura necesarias, si esta bajase, el desarrollo podría prolongarse hasta 5 días.

Completo el desarrollo embrionario, este dentro del huevo es capaz de resistir largos periodos de desecación por meses o hasta por más de un año.

Larva

Las larvas son acuáticas, se alimentan prácticamente durante todo el día de cualquier materia orgánica acumulada en las paredes y en el fondo del recipiente.

Es semejante la de otros mosquitos por su morfología, que presenta una cabeza y tórax ovoide, y cuyo abdomen consta de nueve segmentos (Fig.5).

Al igual que otras larvas, su desarrollo comprende el pasar por 4 estadios. El primero de ellos ocurre justo emergiendo del huevo, y transcurren uno o dos días en los cuales se dedicara totalmente a alimentarse y crecer.

El crecimiento necesita de una muda, después de esta vendrá el segundo estadio. Inmediatamente después de la muda, la cápsula cefálica y el sifón son blancos y transparentes, al extenderse permitirá el subsecuente desarrollo, se endurece y oscurece.

Después del segundo estadio, lo que sigue creciendo y cambiando en la larva es el tórax y el abdomen, los cuales crecen considerablemente durante cada etapa.

La duración del estado larval está directamente relacionado a la temperatura, disponibilidad de alimento y a la densidad de larvas en el criadero (competencia). En condiciones óptimas, el periodo larval desde la eclosión hasta la formación

de la pupa puede ser de cinco días, pero por lo regular ocurre de entre 7 a 14 días.

Pupa

Las pupas no se alimentan, su función es la metamorfosis del estadio larval al adulto. Este proceso dura aproximadamente uno a tres días en condiciones favorables, con temperaturas entre 28° y 32°C (Montero,2009).

En la base del tórax, la pupa tiene un par de tubos respiratorios o trompetas que atraviesan la superficie del agua y le permiten respirar. mientras que en la base del abdomen poseen un par de remos, paletas o aletas que le sirve para nadar (Montero,2009) (Fig.6).

Fig.5 Larvas de *Aedes aegypti*

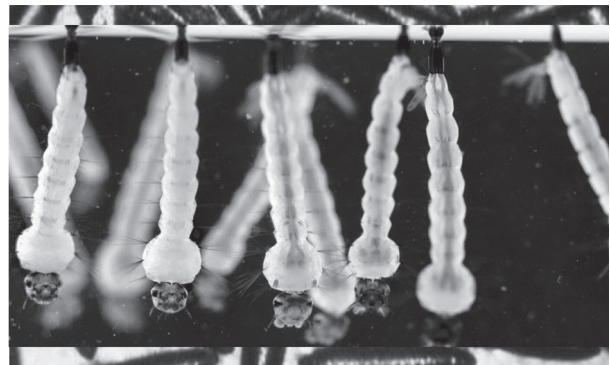
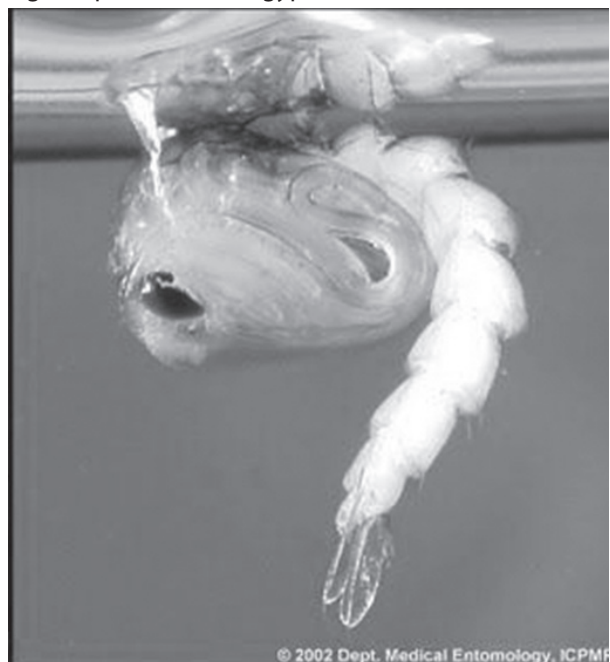


Fig.6 Pupa de *Aedes aegypti*



© 2002 Dept. Medical Entomology, ICPM

Adulto

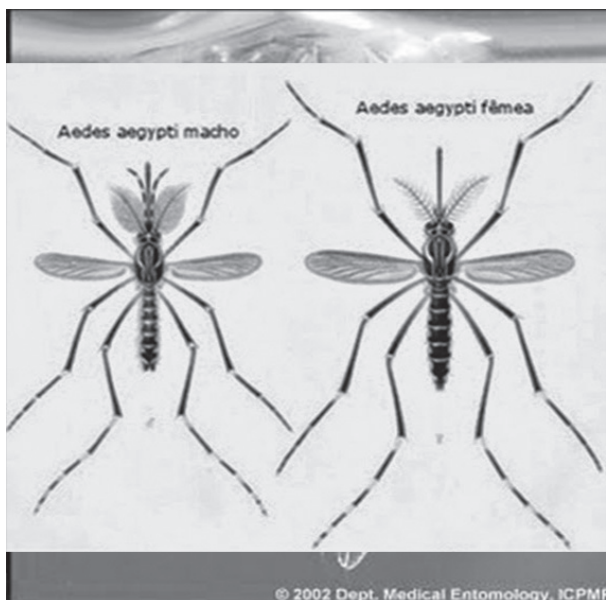
Cuerpo reducido (5mm) , antenas con numerosos artejos, alas delgadas con venas en diferente proporción ornamentadas por escamas. Proboscis adaptada en las hembras para alimentarse de sangre (Icaza, J. T. ,2003). *Aedes aegypti* es un mosquito oscuro con bandas blancas basales en los segmentos tarsales, en el mesonoto posee un diseño característico en forma de lira que puede desaparecer con el tiempo. Las escamas blancas del clípeo y las de los palpos se conservan permitiendo la identificación de la especie.

Cuerpo típicamente dividido en tres segmentos: cabeza, tórax y abdomen. En la parte superior del tórax, las líneas blancas forman la representativa forma de un violín, la cual es una característica importante para la diferenciación entre especies. La coloración del abdomen va de un café oscuro hasta negro, y la mayoría de las veces se presentan escamas blancas a lo largo (Fig.7).

Importancia ecológica

Ecológicamente hablando, *Aedes aegypti* es considerado una especie invasora sumamente exitosa, introducida a otros continentes por el

Fig.7 Adulto, macho y hembra de *Aedes aegypti* resaltando el dimorfismo sexual en cuanto al tamaño



comercio y la globalización, gracias a la resistencia de sus huevecillos, y logrando colonizar amplias áreas donde antes no existía.

Su importancia actual radica en que las hembras de este género son las más eficientes en cuanto a la transmisión de enfermedades vectoriales por medio de su picadura, tales como la Malaria, la Fiebre amarilla, el virus del oeste del Nilo y el virus del Dengue.

Para que una población pueda establecerse en un lugar , es necesario que este cuenta con una serie de elementos esenciales como lo son, la presencia de cuerpos de agua relativamente pequeños y no contaminados cuya permanencia permita completar el ciclo de vida. Que existan fuentes alimentarias disponibles tanto para los estadios inmaduros como para las hembras grávidas. Que no haya presencia de poblaciones de otros organismos que afecten de manera negativa a la población del mosquito. Una temperatura media anual de 16.9°C.

Depredadores

Aedes aegypti al igual que otros culicidos que pertenecen al género aedino, suelen ser depredados por las mismas clases de organismos ,sobre todo, aquellos que se alimentan de sus estadios inmaduros, algunos artrópodos mayores, murciélagos.

Sus enemigos naturales pueden variar dependiendo del estadio de desarrollo que depreden, así como de las diversas condiciones en las que estos se efectúan.

Lo que es el estado larvario presenta una gran cantidad de depredadores que van desde plantas como las del género *Utricularia*, la cual es una planta carnívora capaz de alimentarse de pequeños insectos incluyendo las larvas de *Aedes aegypti*. Algunas otras no actúan de manera activamente destructivas, sino más de manera invasiva, cubriendo la superficie de agua donde estos se reproducen. Ejemplos de estas plantas son *Woolfia arhiza* y *Azolla*.

Una diversa cantidad de artrópodos se suman a esta lista, algunos ácaros, como *Limnesia jamurensis*, se describe como un enemigo activo de las formas larvares y de los huevecillos. Las larvas de algunas Libélulas, escarabajos del género *Noranecta*, *Corixa* y otros.

Para el estado adulto se tiene documentado que puede ser presa de otros artrópodos como arácnidos, algunos mamíferos insectívoros, vertebrados acuáticos, e incluso otras especies de culícidos.

Aedes aegypti y su relación en la transmisión de enfermedades

Una importante cantidad de virus se ha visto que mantienen relación con vectores de tipo artrópodo, pero de los que más impacto han generado son aquellas transmitidas por mosquito, ya que estos insectos no solo se encuentran dispersos por todos los continentes excepto la Antártica, sino que presentan una capacidad favorable para portar estos virus y proporcionarles un medio en el que puedan sobrevivir antes de pasar a su huésped final.

Los mosquitos han sido protagonistas de un gran número de epidemias relacionadas con los elementos patógenos que pueden transportar y transmitir, tales como el virus del Oeste del Nilo, la Fiebre Amarilla, la Encefalitis Equina Japonesa, Dengue, entre otras tantas (Tab. 2).

Durante mucho tiempo se han estudiado a estos vectores para tratar de entender cómo funciona esta capacidad para portar el elemento viral sin ser infectado y poder transmitirlo a otros organismos. Diferentes factores intervienen para darle al mosquito las cualidades para ser un vector óptimo, pero es evidente que este tipo de interacciones se han mantenido desde hace miles de años incluyendo a otros vertebrados como el hospedero final.

Factores tanto genéticos como ambientales actúan tanto en los individuos como entre las poblaciones afectando esta capacidad vectorial.

Las condiciones que dieron pie a la expansión de *Aedes aegypti* a nivel mundial, también tuvo un posible efecto seleccionador sobre los mosquitos que eran capaces de transmitir la enfermedad. Los pasos que dan pie a estas interacciones siguen sin estar claros.

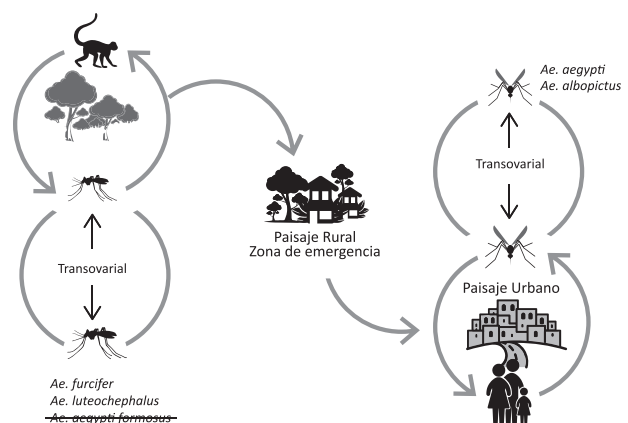
Ciclo de transmisión

Aedes aegypti es un mosquito cuyo origen se encuentra en las áreas selváticas Etíopes de África, donde se presentaba como una especie cuyos hábitos de alimentación se mantenían en un ciclo constante de interacción con primates no humanos y otros mamíferos.

Presiones ambientales los fueron obligando a desplazarse cada vez más lejos de sus sitios originales de origen, acercándolos hacia los asentamientos antrópicos, a donde se adaptaron para mantener el ciclo de transmisión de manera específica con el ser humano (Fig.8).

Ejemplificando esto, el DENV endémico circula entre humanos, que sirven tanto de reservorio como de huésped amplificador. La eficiencia del ciclo endémico, el cual hoy en día es completamente independiente tanto evolutivamente como ecológicamente de los ciclos selváticos ancestrales, se ve mejorado en gran manera por la ecología y comportamiento de *Aedes aegypti*. (Weaver,2009).

Fig.8 Ciclos de transmisión (selvático y urbano) así como los agentes que transmiten la infección de DENV y CHIKV (Weaver,2009)



Tab2. Lista de virus transmitidas por el vector *Aedes aegypti*, así como sus características históricas y de la enfermedad.

Virus	Familia	Enfermedad	Primer brote	Año	Distribución geográfica actual	Síntomas	Hospederos / Reservorios
Virus Chandipura (CHPV)	Rhabdoviridae	Encefalitis aguda	Maharashtra, India	1965	India y Este de África	Influenza y disfunción neurológica	Animales domesticados utilizados para ganado
Virus Chikungunya (CHKV)	Togaviridae	Fiebre Chikungunya	Tanzania	1952	África, Asia y América	Fiebre, dolor muscular, dolor articular, entre otros	Primates y otros mamíferos
Virus de estomatitis vesicular (VEV)	Rhabdoviridae	Estomatitis vesicular	Georgia, EEUU	1956	Norte y Centroamérica	Fiebre, influenza asociada con vesículas orales	Animales domesticados utilizados para ganado
Virus de La Crosse (LACV)	Bunyaviridae	Encefalitis de la Cross	Wisconsin, EEUU	1963	Norte y Centroamérica, Caribe	Fiebre, dolor de cabeza, náuseas, vómito y letargo	Ardillas
Virus de la encefalitis equina venezolana (EEV)	Togaviridae	Encefalitis equina venezolana	Aragua, Venezuela	1938	Sudamérica y Centroamérica	Fiebre, cefalea, postración, malestar general, mialgias y artralgias	Equinos, roedores y aves
Virus de la Fiebre Amarilla (YFV)	Flaviviridae	Fiebre amarilla	República Dominicana	1494	África y Sudamérica	Fiebre, dolor muscular, sobre todo de espalda, cefaleas, pérdida de apetito, náuseas y vómitos	Primates
Virus de la meningoencefalitis del pavo de Israel (ITV)	Flaviviridae	Meningoencefalitis del pavo	Israel	1958	Israel y Sudáfrica	Fiebre, dolor de cabeza y meningitis	Aves
Virus del Dengue (DENV 1,2,3,4 y 5)	Flaviviridae	Dengue	Isla de Java, Indonesia	1778	Regiones Tropicales y Subtropicales	Fiebre, dolor de cabeza, dolor muscular, entre otros	Primates y otros
Virus del Dengue (DENV 1,2,3,4 y 5)	Flaviviridae	Dengue grave	Filipinas y Tailandia	1944	Regiones Tropicales y Subtropicales	Fiebre, dolor abdominal intenso, vómitos, hemorragias, entre otros	Primates y otros
Virus del Nilo Occidental (WNV)	Flaviviridae	Infección por virus del Nilo	Uganda	1987	Europa, Asia, África, Australia y Norteamérica	Fiebre, dolor de cabeza, cansancio, dolores corporales, náuseas, vómitos, entre otros	Aves
Virus del Rocio (ROCV)	Flaviviridae	Encefalitis de Rocio	Sao Paulo, Brasil	1973	Brasil	Fiebre, dolor de cabeza, vómitos, conjuntivitis que luego progresa a síntomas neurológicos	Aves
Virus del Valle del Rift (FVRV)	Bunyaviridae	Fiebre del Valle del Rift	Kenya	1981	África y Asia	Fiebre hemorrágica, enfermedades oculares, meningoencefalitis	Animales domesticados utilizados para ganado
Virus del Zika (ZIKV)	Flaviviridae	Enfermedad por Zika	Uganda	1947	África, Asia y Sudamérica	Fiebre, erupciones cutáneas, conjuntivitis, dolores musculares y articulares, malestar y cefalea	Primates
Virus Ilheus	Flaviviridae	Fiebre Ilheus	Bahía, Brasil	1944	América central y Sudamérica	Fiebre con artralgia y encefalitis leve	Murciélagos y aves
Virus koedougou (KEDV)	Flaviviridae	No identificada	Senegal y Rep. Centroafricana	Desconocido	Endémico en Senegal y República Centroafricana	Desconocidos	Desconocidos
Virus Kostango (KOUV)	Flaviviridae	No identificada	Senegal	Desconocido	Endémico en Senegal	Fiebre, dolor de cabeza, dolor muscular, entre otros	Desconocidos
Virus Sindbis (SINDV)	Togaviridae	Fiebre Sindbis	Cairo, Egipto	1952	África, Asia y Australia	Fiebre, artralgia, erupción cutánea y malestar general	Aves
Virus Usutu (USUV)	Flaviviridae	Fiebre de Usutu o de verano	República de Sudafrica	1959	África y Europa	Fiebre, dolor de cabeza, erupciones epidérmicas	Aves

Existen diversos factores que favorecieron el establecimiento de este ciclo meramente antrópico, dado sobre todos por la introgresión del ser humano en los hábitats del mosquito, así como que este tuviera preferencia por alimentarse de él, tuvieron que pasar algunos años para que este proceso de adaptación se diera de manera exitosa.

Interacción virus/vector Evolución

Los microorganismos o entidades microscópicas causantes de enfermedades, en este caso los virus, tienen periodos generacionales cortos y usualmente, muestran una considerable variabilidad genética, por lo tanto, la selección natural puede provocar cambios rápidos en la genética y los caracteres fenotípicos de las poblaciones.

Organismos más complejos, como lo son aquellos vertebrados que funcionan como huésped

para agentes infecciosos, mantienen tiempos generacionales mucho más largos, lo cual hace que puedan responder de manera relativamente lenta ante las presiones de selección impuestas por estos agentes, desarrollando resistencia a costa de la pérdida de integrantes.

Los organismos que portan a este tipo de entidades, en este caso los vectores, también se les considera huéspedes temporales, donde la infección se presenta de manera asintomática, con el único fin de llevar a cabo una parte del ciclo de transmisión.

La comprensión de los ciclos de interacción entre patógeno-vector-huésped desde su origen puede ampliar la perspectiva para que en el futuro, la emergencia de ciertas enfermedades no nos tome desprevenidos.

Estas interacciones se han llevado a cabo durante miles de años de forma natural, dentro de

la fauna silvestre, aunque el cambio que integró a los seres humanos dentro de este apenas tenga unos cuantos siglos. En el caso del Dengue, ocurrió un paso extra para la expansión de la enfermedad, el vector se diversificó y se adaptó a nuevos hábitats y modificar sus hábitos alimenticios, volviéndose mayoritariamente antropofílico, lo cual lo liga forzosamente a los asentamientos humanos, esto se dejó ver como una estrategia eficiente para la población de mosquitos, pero desfavorable para la salud humana.

Competencia

Mucho se ha estudiado acerca de la competencia del género *Aedes* para la transmisión de virus es, más en específico de los Flavivirus, los cuales en la actualidad se encuentran ampliamente distribuidos alrededor del mundo por la capacidad vectorial de estos organismos.

La competencia se puede definir como la capacidad o habilidad de un vector de adquirir un virus/patógeno y poder transmitirlo exitosamente a un huésped susceptible.

Este aspecto de la transmisión es un proceso complejo que mantiene una estrecha relación entre los factores que lo influyen y favorecen como:

- Temperatura: No solo es elemental una temperatura óptima para el desarrollo del ciclo de vida del mosquito, sino también para el proceso de infección del virus, el cual también presenta sensibilidad a diferentes rangos de temperatura para lograr una tasa de reproducción de arbovirus dentro del mosquito que se refleja en su capacidad para infectar, reportándose las temperaturas más favorables entre los 17°C y los 32°C para el WEEV.
- Disponibilidad de un organismo huésped vertebrado.
- Densidad poblacional del vector y depreciación.

Así como factores intrínsecos directamente relacionados con la interacción del virus y el vector como lo son la supervivencia del mosquito y la replicación del virus dentro de este.

Existen de igual manera factores genéticos y de procedencia que pueden influenciar directamente en la capacidad tanto de respuesta contra el virus y por ende, en su capacidad infectiva, ya que la carga viral dentro del mosquito también es un factor importante.

En México, se han hecho estudios para determinar cuánta variación genética existe dentro de las diferentes regiones del país (el Pacífico, Noroeste, Caribe) (Black IV,2002) . Dentro de estos estudios de variación genética se tomó en cuenta el factor de la competencia para la manutención de alguno de los serotipos del Dengue que circulan dentro del territorio (Bennett,2002), específicamente por la especie a ser infectado más fácilmente por flavivirus (Coffey, 2014).

Para que la infección se disemine dentro del insecto, primeramente este debe infectarse, y para esto hay tres mecanismos principales:

1. Transovárica: Los huevecillos son infectados directamente desde su desarrollo en el aparato reproductor de la hembra.
2. Primera ingesta: Una hembra sana se infecta por la carga viral presente en la sangre del huésped del que se alimenta en su primera picadura.
3. Durante la cópula: Se ha registrado que el virus puede estar presente también en machos (vía transovárica) los cuales no pueden infectar directamente a otros organismos por medio de su mordida, pero si se ha demostrado que puede infectar a la hembra durante el apareamiento, infección la cual será dispersada por esta y sus larvas posteriormente (Kow, 2001).

Tras adquirir el virus por cualquiera de estos mecanismos, este tendrá que atravesar las barreras fisiológicas naturales impuestas por el mosquito

para evitar la proliferación y diseminación de la infección (Black IV, 2001).

Estas barreras se dividen en tres tipos, y de ellas dependerá la progresión del virus a través del organismo así como un alto porcentaje de la capacidad infectiva del vector (Fig.9).

Estas barreras se dividen en tres tipos principales:

1. Barrera de infección del intestino medio (MIB)
2. Barrera de Escape del intestino medio (MEB)
3. Barreras de transmisión de las glándulas salivales (SIB y SEB)

Después de que el virus se ha asentado de forma exitosa dentro del organismo vector, las hembras adultas tienen que sobrevivir entre 10 y 14 días para ser vectores potenciales del virus del dengue, y no necesariamente se tiene que interrumpir su transmisión (Edman,1997).

Periodo Extrínseco de Incubación del Virus:

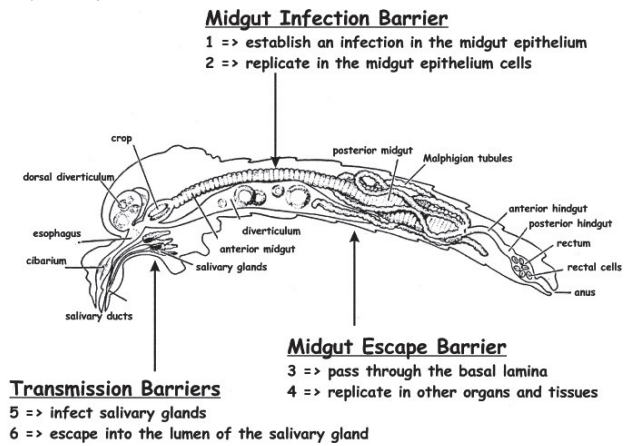
Al intervalo de tiempo entre la ingesta de sangre infectada y la transmisión oral se le conoce como período extrínseco de incubación (EIP), cuya duración variará entre virus y huéspedes y que es afectado generalmente por factores ambientales como la temperatura (Tab.4) , nutrición larval, dosis infectiva del virus, etc.

Tab.4 Promedio en días periodos de incubación del virus del Dengue, tanto extrínseca (mosquito) como intrínseca (humanos) y su temperatura (Chan, 2012)

	Temperatura	Promedio	Días de incubación
EIP	25°	15	5 -33
	30°	6.5	2 - 15
IIP	25°	6	4 - 10
	30°	8.5	3 - 14

Aparentemente, estudios acerca de la reproducción y oviposición de los mosquitos, demostraron que al alimentarse con sangre humana, se aumentaba la productividad de huevecillos, a comparación de aquellos mosquitos que se alimentaban de la sangre de otros vertebrados.

Fig.9 Diagrama de las barreras fisiológicas del vector para evitar la proliferación e infección del virus (Black IV, 2001)



Además de que para el mosquito era mucho más fácil encontrar sitios adecuados para su reproducción, con la disponibilidad de criaderos artificiales los cuales, el hombre se ha encargado de tener siempre a su disposición, como lo son muchos de los desechos de actividades humanas.

Estrategias de control

Después de reconocer la importancia que tenía Aedes aegypti como vector de múltiples enfermedades que con el tiempo se volvieron problemas de salud pública a nivel mundial, se comenzaron a ejecutar programas de control para erradicar a las poblaciones.

Debido a la ausencia de vacunas o medicamentos que pudieran controlar efectivamente la progresión de las enfermedades como el Dengue o el chikungunya, solo se puede optar por medidas de control del vector. Durante muchos años se optó por medidas químicas, lo que en su momento en Africa fue efectivo para controlar la Malaria, la eliminación por medio de DDT, que con el tiempo perdió efectividad ya que fueron surgiendo individuos que eran resistentes.

Actualmente la tecnología en cuanto al control de plagas y vectores ha avanzado, diversificando la cantidad de técnicas y herramientas que se pueden usar, y se ha demostrado que el control de formas inmaduras es más eficiente que el de las formas adultas (Tabla 5).

Tab.5 Estrategias de control para dípteros del género Aedes dependiendo de su etapa de desarrollo

CLASIFICACIÓN	Tipo de control	Mecanismo
Control en etapas inmaduras	• Biológico	Involucra la introducción al ambiente de enemigos o depredadores naturales que controlen las poblaciones: -Depredadores -Parásitos -Patógenos -Plantas e insecticidas botánicos
	• Genético	Tiene como objetivo reducir sustancialmente el tamaño de la población o reemplazarla con una especie sin capacidad vectorial. -Selección de genes -Reemplazamiento de especies por competencia -Cría, esterilización y liberación de mosquitos macho.
	• Físico	De tipo mecánico, ambiental o ecológico: -Relleno, reducción y drenaje de fuentes de cría -Cambio de hábitat
	• Químico	Implica el empleo de agentes químicos que causan mortalidad en etapas inmaduras ya sea por su ingestión, contacto, respiración, etc. -Insecticidas inorgánicos (sumamente contaminantes) -Insecticidas organicos sinteticos (Organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides) -Reguladores del crecimiento de insectos (Análogos a la hormona juvenil, inhibidores de la síntesis de quitina)
Control de adultos	• Telas metálicas	
	• Mosquiteros	
	• Repelentes	
	• Insecticidas químicos	En forma de aerosoles, nebulizaciones y neblinas mediante equipos manuales, de arrastre terrestre y aéreos.

Reglamentación

Dentro de los lineamientos con los que México cuenta para la vigilancia, cuidado y prevención de enfermedades transmitidas por vector se tiene la NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-017-SSA2-1994, PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA la cual tiene como objetivo:

“Esta Norma Oficial Mexicana establece los lineamientos y procedimientos de operación del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, así como los criterios para la aplicación de la vigilancia epidemiológica en padecimientos, eventos y situaciones de emergencia que afectan o ponen en riesgo la salud humana.”

“Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y su ejecución involucra a los sectores público, social y privado que integran el Sistema Nacional de Salud.”

De igual manera, se cuenta también con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-032-SSA2-2002, PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR.

Teniendo como objetivo: “Establecer las especificaciones, criterios y procedimientos para disminuir el riesgo de infección, enfermedad, complicaciones o muerte por enfermedades transmitidas por vector.”

Bibliografía

Black WC 4th, Bennett KE, Gorrochótegui-Escalante N, Barillas-Mury CV, Fernández-Salas I, de Lourdes Muñoz M, Farfán-Alé JA, Olson KE, Beaty BJ. Flavivirus susceptibility in *Aedes aegypti*. Arch Med Res. 2002 Jul-Aug;33(4):379-88. Review. PubMed PMID: 12234528

Brady OJ, Golding N, Pigott DM, Kraemer MU, Messina JP, Reiner RC Jr, Scott TW, Smith DL, Gething PW, Hay SI. Global temperature constraints on *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* persistence and competence for den-

gue virus transmission. Parasit Vectors. 2014 Jul 22;7:338. doi: 10.1186/1756-3305-7-338. PubMed PMID:25052008; PubMed Central PMCID: PMC4148136.

Brady OJ, Johansson MA, Guerra CA, Bhatt S, Golding N, Pigott DM, Delatte H, Grech MG, Leisnham PT, Maciel-de-Freitas R, Styer LM, Smith DL, Scott TW, Gething PW, Hay SI. Modelling adult *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* survival at different temperatures in laboratory and field settings. Parasit Vectors. 2013 Dec 12;6:351. doi: 10.1186/1756-3305-6-351. PubMed PMID: 24330720; PubMed Central PMCID: PMC3867219

Clements A.N. The biology of mosquitoes, vol. 3. Transmission of viruses and interactions with bacteria, 2012.

CENAPRESE (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades). 2012. Enfermedades transmitidas por vectores. En línea: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue/vector.html>

Chan M, Johansson MA. The Incubation Periods of Dengue Viruses. Vasilakis N, ed. PLoS ONE. 2012;7(11):e50972. doi:10.1371/journal.pone.0050972

Christophers R.S. *Aedes aegypti*, the yellow fever mosquito. Its life history, bionomics and structure. Cambridge University, 1960.

DOF. 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2010, Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector. En línea: http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/pdf/nom_032_ssa2_2010_norma_petv.pdf

DOF. 2012. NORMA Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-2012, Para la vigilancia epidemiológica. En línea: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5288225&fecha=19/02/2013

- Gorrochotegui-Escalante N, Munoz ML, Fernandez-Salas I, Beaty BJ, Black WC 4th. Genetic isolation by distance among *Aedes aegypti* populations along the northeastern coast of Mexico. *Am J Trop Med Hyg.* 2000 Feb;62(2):200-9. PubMed PMID: 10813474.
- García-Franco F, Muñoz Mde L, Lozano-Fuentes S, Fernandez-Salas I, Garcia-Rejon J, Beaty BJ, Black WC 4th. Large genetic distances among *Aedes aegypti* populations along the South Pacific coast of Mexico. *Am J Trop Med Hyg.* 2002 May;66(5):594-8. PubMed PMID: 12201597.
- García Sánchez, D. C. Estructura ecológica de los hábitats larvarios de *Aedes aegypti* en reservorios artificiales de agua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá. 2015
- Icaza, J. T. (2003). El mosquito *Aedes aegypti* y el dengue en México. México: Bayer [Bayer Environmental Science] pp17-26.
- Kourí G., M. G. Guzmán y J. Bravo 1986 Dengue Hemorrágico en Cuba. Crónica de una Epidemia. *Bol. Of Sanit Panam* 100(3):322-327
- Kow CY, Koon LL, Yin PF. Detection of dengue viruses in field caught male *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Singapore by type-specific PCR. *J Med Entomol.* 2001 Jul;38(4):475-9. PubMed PMID: 11476326.
- Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Elyazar IR, Teng HJ, Brady OJ, Messina JP, Pigott DM, Scott TW, Smith DL, Wint GR, Golding N, Hay SI. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae.albopictus*. *Elife.* 2015 Jun 30;4:e08347. doi: 10.7554/eLife.08347. PubMed PMID:26126267; PubMed Central PMCID: PMC4493616.
- Marquetti Fernández, M. D. C. (2007). Aspectos bioecológicos de importancia para el control de *Aedes aegypti* y otros culícidos en el ecosistema urbano. Instituto de Medicina Tropical "Pedro Kourí
- MORA-COVARRUBIAS, A.; JIMENEZ-VEGA, F.; TREVINO-AGUILAR, S. M. 2010. Distribución geoespacial y detección del virus del dengue en mosquitos *Aedes (Stegomyia) aegypti* de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud pública Méx* [online]. 2010, vol.52, n.2, pp. 127-133. ISSN 0036-3634
- Patiño B., R. M. 2001. Bionomia de *Aedes aegypti* L., vector del dengue, en el sur del estado de Jalisco, México. Tesis de Posgrado. Universidad Autonoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biologicas.Monterrey, N.L.
- Ramírez-Zepeda et al., 2009, Clinical and epidemiologic characteristics of dengue cases: the experience of general hospital in Culiacan, Sinaloa, México. *Rev. Panam. Salud Publica;* 25:16-23
- Savage, H. M. y G. C. Smith, 1995. *Aedes albopictus* y *Aedes aegypti* en las Américas: implicaciones para la transmisión del arbovirus e identificación de hembras adultas dañadas. *Bol. Of. Sanit Panam* 118 (6):473-477
- Vezzani, D., Velázquez, S. M., & Schweigmann, N. (2004). Seasonal pattern of abundance of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Buenos Aires city, Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz,* 99(4), 351-356.

FICHA TÉCNICA DEL VECTOR AEDES ALBOPICTUS

Patricia Deniss Campos Ibarra
María Guadalupe Galindo Mendoza
Carlos Contreras Servín
Raúl Gonzales Montero

Hábitat y distribución geográfica:

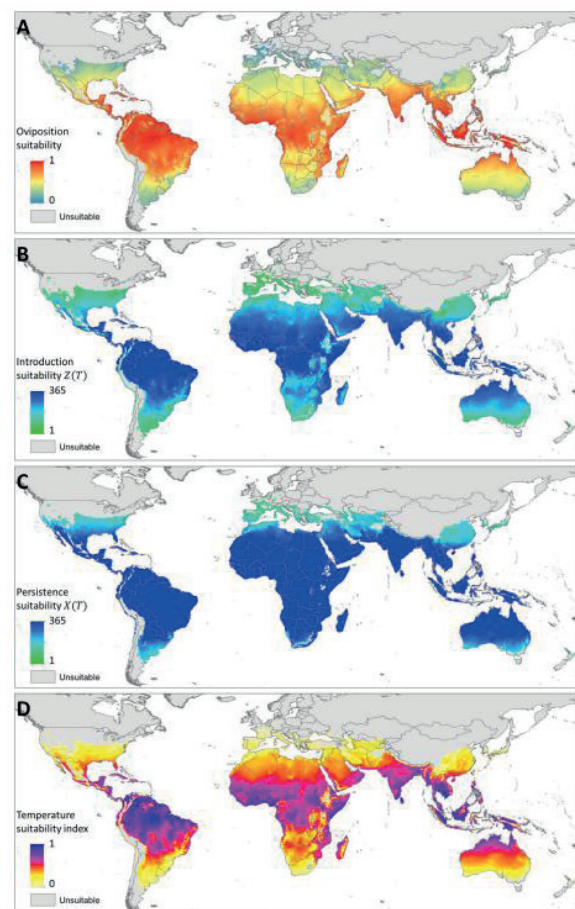
La elección del hábitat siempre estará regida por criterios básicos como lo son la disponibilidad de recursos, comida y protección, así como los sitios más propicios para la reproducción y el desarrollo. Esta especie es capaz de mantener su ciclo de vida tanto en ambientes naturales, como en hábitats artificiales proporcionados por las actividades humanas (llantas abandonadas, floreros, recipientes de plástico con agua, aljibes, charcos o agua estancada después de las lluvias, etc...).

Esto aparentemente se encuentra ligado a sus costumbres alimenticias, por las cuales prefiere mantenerse en las periferias de las áreas urbanas, pues las hembras todavía conservan el hábito de alimentarse de néctar así como de tener un rango amplio de huéspedes vertebrados de los cuales se alimenta.

Se les suele encontrar a no más de 500 mts (aprox. 457.2 m) del punto de oviposición u oclusión de los huevecillos, es decir, no suelen alejarse demasiado del punto de origen.

Este mosquito es nativo del este asiático, con una extensión que va desde la India hasta Japón, pero ha demostrado tener capacidad de presentarse como una especie cosmopolita y debido a esta gran capacidad para colonizar nuevos ambientes, ha sido posible su introducción a otros lugares del mundo, sobre todo gracias a la globalización, el comercio y transporte internacional, y a la resistencia que pueden presentar sus estadios inmaduros como los huevecillos y larvas (Fig.1).

Fig.1 Áreas que sustentan la supervivencia de *Aedes albopictus* a nivel mundial, así como la dispersión del DENV (Brady,2014)



Al no presentar las capacidades necesarias para dispersarse a grandes distancias podría pensarse que sus rangos de dispersión se mantendrían limitados, pero el desarrollo de actividades humanas a lo largo de los años ha logrado llevarlo a colonizar latitudes diferentes alrededor del mundo, junto con diversos eventos históricos que propiciaron su crecimiento poblacional en países donde no era nativo. Por ejemplo, los

mecanismos de control para *Aedes aegypti* utilizados en la década de los 80s debido a brotes de dengue y fiebre amarilla, fueron tan efectivos que redujeron los índices poblacionales casi hasta la erradicación, sin embargo para *Aedes albopictus* fue una situación favorable, ya que sin *Aedes aegypti* que le representara competencia, pudo proliferar a lo largo de todo Sudamérica, generando más problemas de salud pública.

Actualmente su rango de distribución está ampliado, abarcando países tanto de su natal Asia, como de Europa, África, y América (Fig.2).

Los factores que han influenciado y favorecido de sobremanera la dispersión de *Aedes albopictus* son su plasticidad tanto fisiológica como ecológica.

La plasticidad fisiológica se observa desde las cepas ancestrales asiáticas, y se refiere a la habilidad que presentan para sobrevivir tanto en condiciones tropicales como templadas mediante mecanismos como la diapausa, les confiere a los huevecillos resistencia ante condiciones

adversas como de frío extremo o desecación. Mientras que la plasticidad ecológica se refiere al amplio rango de hábitats de reproducción y crianza en el que *Aedes albopictus* puede prosperar (Paupy,2009).

Distribución actual

Durante los años 80s, *Aedes albopictus* rápidamente amplió su rango de distribución hacia Europa y Estados Unidos. Hoy en día este vector se encuentra en la mayor parte de las ciudades de Asia, África central, las costas del Mediterráneo y a lo largo de casi todo el continente Americano.

En el continente americano el primer registro que se tuvo de la presencia de *Aedes albopictus* fue en Houston, Texas en 1989 (Sprenger, 1997), posteriormente se fueron dando más reportes acerca de la aparición de este mosquito de introgresión novedosa. Para 1995, *Aedes albopictus* ya podía ser encontrando de manera amplia en los estados fronterizos del norte de nuestro país, como Tamaulipas, Coahuila y Nuevo León. Estudios biogeográficos recientes han contribuido a la predicción de la distribución de vectores

Fig.2 Distribución mundial de *Aedes albopictus* hasta el año 2011 (Waldock,2013)



de importancia en salud humana , incluyendo a *Aedes albopictus* los cuales demuestran cómo esta ha ido haciéndose cada vez más amplia, de igual manera en nuestro país, de estar restringido a ciudades del norte, este mosquito ha logrado expandir su rango de distribución a lo largo de las costas del Golfo y del Pacífico así como hacia Centro y Sudamérica (Fig .3).

Aedes albopictus

Taxonomía:

Reino: Animalia

Filum: Artropoda

Subfilum: Mandibulata

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Suborden: Nematocera

Familia: Culicidae

Subfamilia: Culicinae

Tribu: Aedini

Género: *Aedes*

Subgénero: *Stegomyia*

Especie: *Albopictus*

- Nombre común: Mosquito tigre
- Nombre científico *Aedes (Stegomyia) albopictus*

Descripción morfológica general:

Aedes albopictus o mejor conocido como mosquito tigre es un díptero de tamaño medio de entre 2 y 10 mm con una longitud promedio de 4mm , tienen características anatómicas que los hacen fácilmente reconocibles, la presencia de escalas negras brillantes y escamas blancas/plateadas distintas en la palpus y tarsos, lo que le da los patrones distintivos que le dan su nombre común (Fig.4).

Presentan una probóscide, ojos y labium negros todo en la parte anterior del insecto, mientras que la parte dorsal (escudo) es de color negro con una franja blanca distintiva en el centro empezando en la superficie de la cabeza continuando a lo largo del tórax dividiendo el cuerpo a la mitad.

Las patas pueden tener un color alternante pero en la mayoría de los individuos se presentan de color negro con escamas basales blancas en cada segmento del tarso.

El abdomen es estrecho lo cual es una característica marcada del género *Aedes*.

Presenta dimorfismo sexual atenuado, pues

Fig.3 Distribución probabilística actual de *Aedes albopictus* (Kraemer,2015)

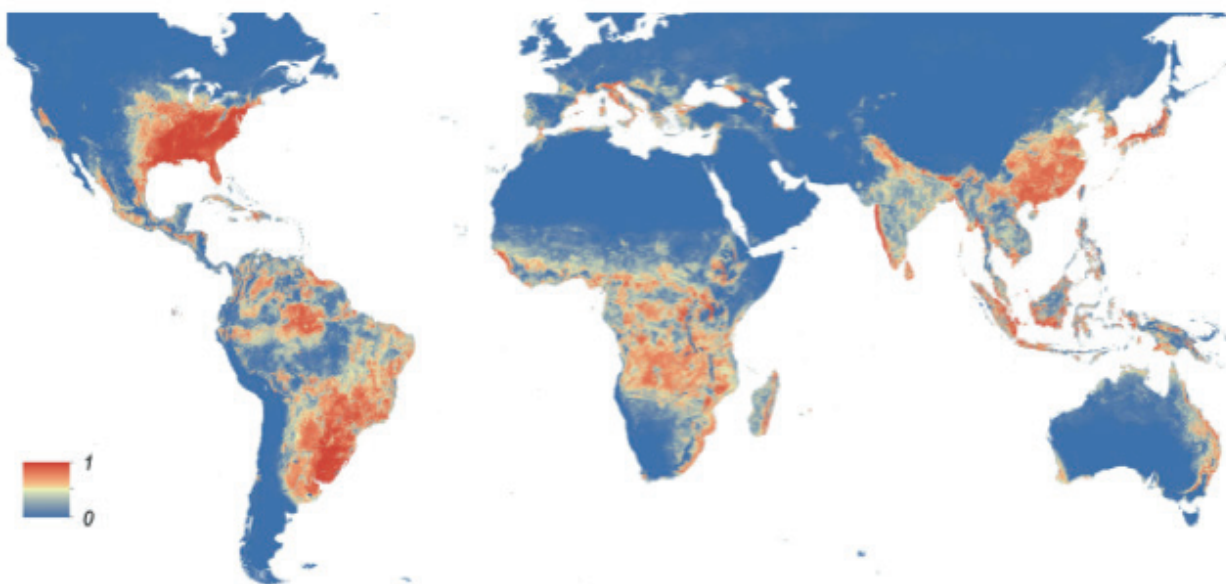
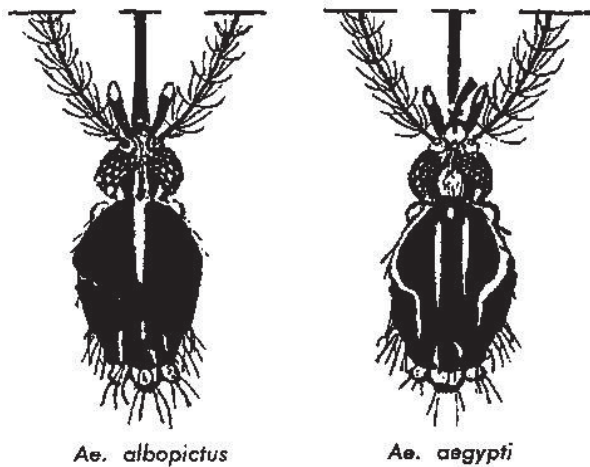


Fig.4 Morfología general *Aedes albopictus*

físicamente conservan muchas de las estructuras básicas con ligeras diferencias, siendo los machos aproximadamente 20% más pequeños que las hembras, así como la presencia de antenas plumosas y modificaciones en las piezas bucales para adaptar su alimentación a la ingesta de néctar, como es la presencia de palpos maxilares más largos que la probóscide. En las hembras los palpos son mucho más pequeños que su probóscide, lo cual es crucial para la ingesta de sangre.

Hábitos:

En cuanto a sus hábitos de vida, se presenta como un insecto exofágico que se alimenta tanto de humanos como de animales de manera oportunista. De origen solía desarrollar sus actividades dentro de un ciclo selvático, pero por presiones ambientales se ha visto obligado a introducirse en ambientes más urbanizados, pero algunos estudios sugieren que todavía tienen

preferencia por ambientes más silvestres, como las afueras de las ciudades o zonas rurales.

Los machos se alimentan más comúnmente de néctar y otras fuentes naturales de azúcares, y aunque las hembras también pueden tener este hábito, necesitan alimentarse de la sangre de vertebrados, tanto de humanos como primates no-humanos y aves, para el desarrollo de los huevos. Con respecto a estas conductas de alimentación, se sabe que los periodos donde se lleva a cabo la mayor actividad, son durante horas tempranas de la mañana y en las tardes antes del anochecer. Dependiendo del ambiente, los mosquitos se han adaptado para ajustar sus horas de máxima actividad alimenticia de manera que sea más probable el poder encontrar un hospedero.

Estudios han demostrado como la temperatura ambiental influencia de manera directa los hábitos de alimentación, observando que se presenta un incremento en la actividad hematofaga alrededor de los 25°C y que decrece cerca de los 15°C, lo cual hacía pensar que a temperaturas altas disminuía la esclerotización o el endurecimiento de los tejidos bucales que permiten la alimentación (Caldo-Navarro-2002, Neto-2004).

Aedes albopictus ha sido reportado como un mosquito más complicado de controlar que los demás, pues presenta la capacidad de resistir condiciones más extremas, sobretodo de temperatura sea más alta o más baja, a comparación por ejemplo de *Aedes aegypti* el cual solo ha presentado resistencia a desecación. La capacidad de resistencia, sobre todo, a temperaturas más frías, de *Aedes albopictus* puede estar estrechamente relacionado con su capacidad para producir una alta cantidad de lipidos y lipidos yema.

Se ha encontrado que la lipogénesis en larvas es mucho más eficiente que en larvas de *Aedes aegypti*, lo cual puede estar directamente relacionado con la capacidad de *albopictus* para distribuirse en zonas más hacia el norte.

Presentan un tiempo de vida extenso que puede llegar hasta los 30 o 40 días desde la oclusión de los huevecillos. De manera experimental, en condiciones de laboratorio, se ha logrado alargar el tiempo de vida de algunas hembras hasta 117 días, pero esto es un evento casi imposible en condiciones naturales.

Dentro de sus rangos de vuelo, se ha observado que no suele ser sumamente amplio y que además prefiere evitar volar cuando hay fuertes rafagas de viento, manteniendolos limitados a entre 100 y 500 mts permaneciendo cercanos a su lugar de origen. En otras especies como en *Aedes aegypti* se ha registrado que han logrado un radio de vuelo de más de 1 km con respecto a su lugar de origen, y se demostró que esto estaba relacionado a presiones ambientales, como la búsqueda de un lugar idóneo para la oviposición o búsqueda de alimento, lo cual permite pensar que *Aedes albopictus* en circunstancias similares podría generar comportamientos parecidos.

Reproducción y Ciclo de vida:

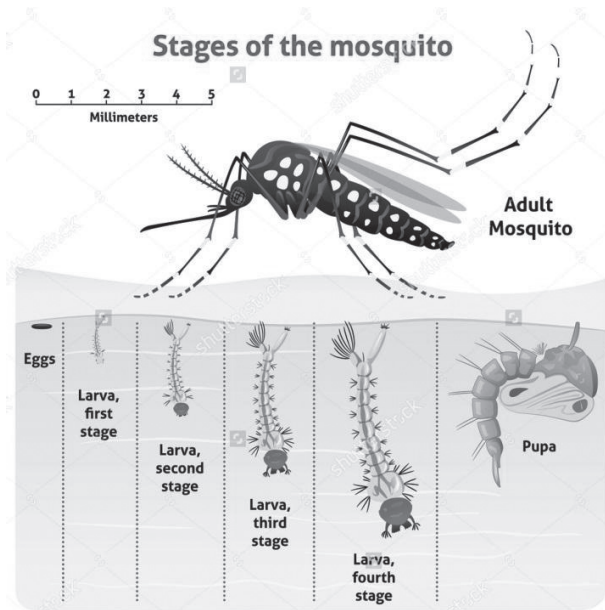
Las hembras pueden aparearse hasta 4 veces en su tiempo de vida, sin ser completamente necesario para poder ovipositar huevecillos fecundados, pudiendo guardar parte del esperma dentro de ellas por un tiempo determinado.

Para la oviposición, es muy importante la ingesta de sangre por parte de la hembra, siendo esta en cantidad directamente proporcional al número de huevecillos que podrá poner.

Para atraer a las hembras, los machos secretan estimulantes que promueven el desarrollo ovárico o la ovulación.

Presenta un ciclo de vida holometábolo, o con metamorfosis completa. Dentro de su ciclo de desarrollo cumple con los cuatro estadios básicos para la formación de un adulto competente, pasando desde la forma de huevecillo, a larva (que puede presentar 4 estadios), pupa y el adulto o imago (Fig.5), los cuales pueden variar

Fig .5 Etapas de desarrollo del género *Aedes*



en su tiempo de transición debido a la influencia de factores externos como la temperatura (Tab.1), disponibilidad de alimento, densidad poblacional, etc .

Estudios han demostrado que la durabilidad del tiempo en estado de huevecillo depende estrechamente de la temperatura a la cual se encuentre sometido, por ejemplo, estudios indicaron que en Estados Unidos sometidos a temperaturas de alrededor de 26°C, el tiempo entre la emergencia y el establecimiento de adultos fue de 10 días, mientras que en condiciones naturales en Viet Nam se reportó que este tiempo variaba entre 7 y 20 días a temperaturas similares en días de primavera, mientras que en invierno este periodo se extendió hasta alcanzar los 24 días (Estrada-franco, 1987).

Huevecillos:

Los huevos de mosquito no se encuentran fertilizados hasta el momento justo antes de ser depositados.

La duración del desarrollo embrionario depende principalmente de la temperatura y humedad relativa a la cual los huevos están expuestos, pero puede variar entre 2 y 7 días en condiciones óptimas.

Tab 1. Tiempos de desarrollo de los estadios de *Aedes albopictus* a diferentes temperaturas (Hien-1975, Estrada-franco, 1987)

Estadio	Temp. fav. max	Tiempo	Temp.opt.	Tiempo	Temp. Fav. min	Tiempo
Huevo-embriogénesis	27°C	4 días	24°C	2 días	21°C	6-7 días
Larva-pupa	25°	9 días	30°	6 días	20°	13 días
Pupa-adulto	25°C	3 días	30°C	2 días	20°C	5 días
Huevo-adulto	25°C	13.7-14 días	30°C	11-12 días	20°C	23-24.3 días

Se presentan en una forma alargada aparentando un cigarrillo, abultados de la parte anterior y más agudos en su extremo posterior (Fig.6).

Estos pueden presentar gran resistencia a la desecación o a condiciones desfavorables, ya que presentan la habilidad de permanecer en diapausa, esperando por que las características del ambiente sean las óptimas, lo cual también dependerá del estado embrionario en el que quede expuesto el huevecillo.

Una vez que el huevo fue depositado, la ocurre la cariogamia y el desarrollo del embrión procede. Se puede definir como desarrollo embrionario a los cambios que tienen lugar en el huevo entre la fertilización y la eclosión.

La supervivencia de los huevecillos dependerá mucho de una combinación de presiones selectivas dependientes e independientes de su densidad. También puede depender de factores parentales de la hembra como el colapso de huevecillos sin desarrollo embrionario, o huevecillos que no fueron ovipositados debidamente y que no lograron obtener las condiciones óptimas. La máxima longevidad registrada para huevecillos de *Aedes albopictus* ha sido de 243 días (Estrada-franco, 1987).

Los huevecillos de *Aedes albopictus* se abrirá cuando están expuestos a estímulos específicos. Después de que el desarrollo embrionario ha sido completado, la apertura de los huevecillo puede ocurrir a pocos minutos de que ocurran inunda-

Fig.6 Vista macroscópica de huevecillos de *Aedes albopictus*



ciones, o en lo que serían ambientes con concentraciones de humedad relativa sumamente altas, para después iniciar el crecimiento y desarrollo de las larvas de manera favorecedora.

También las condiciones del oxígeno disuelto en agua han demostrado tener un efecto sobre el tiempo de apertura de los huevecillos. Niveles bajos de oxígeno usualmente están asociados con altas tasas de actividad microbiana y nutrientes en el agua, favoreciendo así la apertura. Después de que los huevecillos son sumergidos en agua, los microorganismos comienzan a colonizar la superficie de este, resultado en un decremento en el oxígeno disuelto debido a un incremento en la actividad metabólica de los microorganismos, estimulando la apertura (Estrada-franco, 1987).

Resistencia al frío

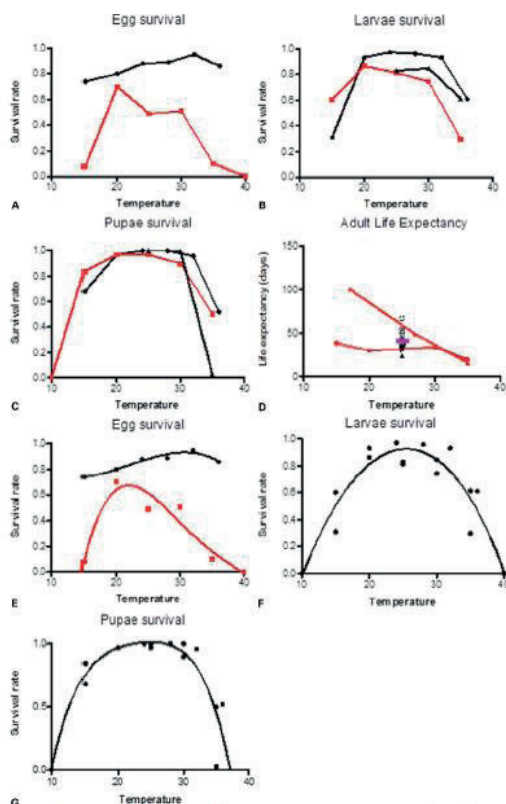
La habilidad de algunos insectos para sobrevivir a temperaturas subóptimas es conocido como

“cold hardiness” (robustez de frío) (Estrada-franco, 1987). Este mecanismo juega un importante papel en el ciclo de vida de muchos insectos en medida que este afecta factores como la adaptación, cambio de estación, fluctuaciones poblacionales a largo plazo, y la distribución geográfica y tendencias de colonización de especies invasoras.

Es bien conocido que existen dos tipos de resistencia al frío: evasión del frío por medio de la producción de anticongelantes, y la tolerancia al frío, generada por la segregación de compuestos que aumentan los puntos de superenfriamiento.

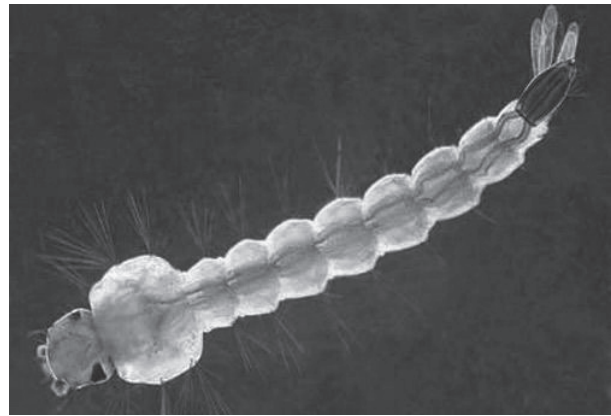
Es posible que eso sea resultado de las adaptaciones a climas más extremos, tanto cálidos como fríos, por parte de las razas de mosquitos de climas templados, donde los huevecillos

Fig.7 Análisis de supervivencia en los diferentes estados de desarrollo dependiendo de la temperatura



Three independent laboratory studies investigated the effect of temperature on survival of immature *Ae. albopictus*. Temperature effects on (a) egg survival, (b) larval survival, and (c) pupal survival were established for laboratory colonies in Refs. 55 (squares), 54 (circles), and 66 (triangles). (d) Laboratory adult life expectancy for females was additionally estimated in Refs. 55 and 66 over a range of temperatures. Median female survival in days from multiple studies (conducted at 25°C) have been added to the graph (black symbols with the mean plotted as pink bar). Red lines indicate temperate strains and black lines indicate tropical strains. Second or third-order polynomials were fitted to (a) egg survival, (b) larval survival, and (c) pupal survival.
 Figure 4 The effect of temperature on *Aedes albopictus* survival.

Fig.8 Vista al microscopio de larva de *Aedes albopictus*



pueden resistir bajas temperaturas y condiciones hídricas desfavorables (deseccación).

Larvas:

De un color más claro que el de otras especies de mosquito, presenta un cuerpo alargado segmentado (Fig.8). Comprenden 4 estadios básicos de desarrollo antes de llegar a la pupa, los cuales pueden tener una duración variada, desde 4 días por cada uno hasta 42 días en casos extremos donde las condiciones para el crecimiento son poco favorecedoras, en cuyo caso suele terminar en el deceso de la larva.

Se mantienen en alimentación constante, pues presentan estructuras bucales desarrolladas. Para realizar la respiración presentan sifones largos prominentes que utilizan para la adquisición de oxígeno.

Las larvas de *Ae. albopictus* son sumamente similares a las de *Ae. aegypti*, pero presentan pequeñas diferencias morfológicas las cuales ayudan a lograr una mejor identificación.

El tamaño de la larva y la duración de su desarrollo puede estar influenciado por diversos factores como la temperatura, la disponibilidad de alimento, acumulación de familiares, etc.

Su desarrollo se ve favorecido cuando se encuentran en contenedores de agua poco turbia y rica en nitrógeno para la disposición de ali-

mento y rangos de PH que pueden oscilar entre los 5.2 y los 7.6 siendo el rango más óptimo en 6.8 (Estrada-Franco, 1987).

Se ha encontrado que larvas que se encuentran en agua contaminada con altos contenidos de materia orgánica tienen a tener un desarrollo más acelerado, mientras que la inanición por sobrepoblación aumenta las tasas de mortalidad tanto en condiciones de laboratorio como de campo.

La adaptabilidad que presenta para una gran variedad de hábitats, les permite a estas especies poder alimentarse exitosamente en una amplia variedad de contenedores retenedores de agua. Esto aparentemente en las larvas de *Aedes albopictus* pueden alimentarse con una mayor tolerancia en condiciones donde el agua es más rica en contenido orgánico, a diferencia de otras especies como *Aedes aegypti*. (Estrada-franco, 1987)

En general, la duración del estadio larval estará controlado por las condiciones ambientales, sobre todo en cuanto a disposición de alimento.

Pupa:

En condiciones óptimas, *Aedes albopictus* permanece en el estado de pupa por alrededor de dos días, y como en otras especies de *Aedes*, los machos emergen antes que las hembras (Fig.9). Estudios demostraron que el periodo de desarrollo de las pupas en machos varía entre 32 y 36 horas, mientras que para las hembras este rango de tiempo es más amplio llegando hasta un lapso de entre 49-52 horas, y que además requieren un tiempo alrededor de 12 horas de oscuridad (Estrada-Franco, 1987).

Adulto:

Llegan a medir entre 2 y 10 mm, este tamaño dependerá de lo que fue la densidad larval y la disponibilidad de alimento dentro del agua, manteniendo en general un patrón distintivo blanco y negro (Fig.10) a lo largo del cuerpo tanto las hembras como los machos, los cuales son

Fig.9 Morfología general de una pupa del género *Aedes*

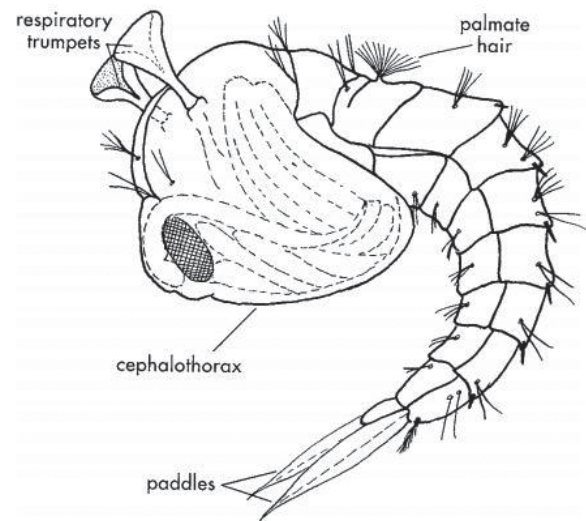
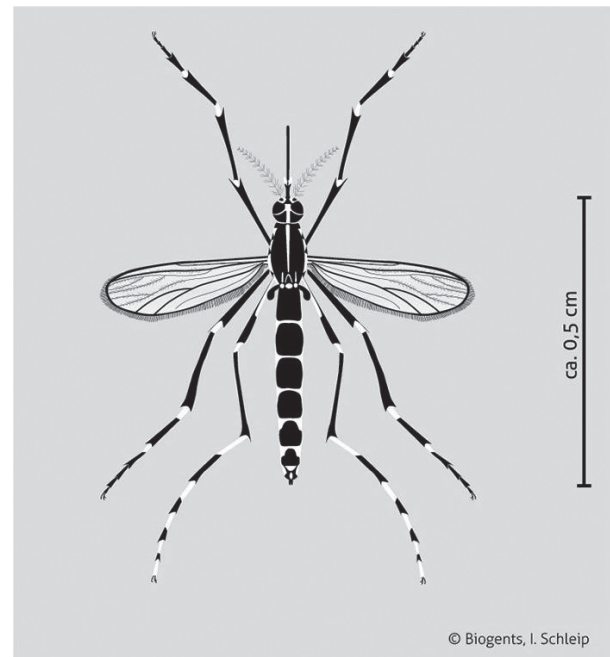


Fig.10 Morfología general de *Aedes albopictus*



más pequeños, pero sin presentar un dimorfismo sexual notorio.

La probóscide es de color negro, la superficie de los palpos está cubierta por escamas plateadas y en el labium no aparece una línea blanca en el envés. Los ojos, que son compuestos, se mantienen amplia y distintivamente separados uno del otro. El scutum (la porción dorsal del segmento torácico del insecto) es negro y presenta a lo largo una línea blanca característica.

Depredadores naturales:

Se conocen diferentes especies que pueden depredar a *Aedes albopictus*. La mayoría de estos depredadores consumen a los mosquitos en su fase larval.

También se sabe de otras especies de mosquitos incluidos en el género *Toxorynchites* que han demostrado una gran habilidad para mantener las poblaciones del mosquito tigre Asiático, considerándolo como un posible control de especies.

Los murciélagos son los depredadores más comunes de la forma adulta del mosquito.

Depredadores conocidos:

- Copépodos (*Mesocyclops leuckarti pilosa*, *Macrocylops albidus*)
- Plelmintos
- Arañas (*Araneae*)
- Aves
- Murciélagos (*Chiroptera*)

Importancia ecológica del vector

Como tal, *Aedes albopictus* se presenta como un comensal oportunista, cuyas hembras están acostumbradas a alimentarse de la sangre de vertebrados, sobre todo de mamíferos, pero se tienen reportes de que su rango de objetivos de los cuales se pueden alimentar es mucho más amplio, pudiendo picar también aves, reptiles y anfibios (Paupy, 2009).

Como tal, su rol principal se presenta como el de un organismo con actividad parasítica, que a su vez actúa tanto como vector y huésped de diversos elementos que pueden ser transmitidos a otros organismos, o bien, propiamente parasitar al mosquito. Algunos de estos pueden ser hongos, protozoos y nematodos cuyo ciclo de vida se desarrolla dentro del mosquito aprovechándose de sus recursos principales sobretodo en los estadios inmaduros (larvas).

El mosquito tigre asiático es un insecto de hábitos alimenticios diurnos que ha reportado una

mayor agresividad al momento de su picadura, el cual está asociado en gran medida a la transmisión de una serie de arbovirus que han impactado de gran manera en la salud pública a nivel mundial, teniendo uno de los roles principales dentro del brote y transmisión de enfermedades importantes como lo son el DENV y el CHIKV.

Esto lo ha llevado a ser objeto de múltiples estudios tratando de entender su importancia ecológica como uno de los principales vectores de arbovirus en el mundo, sabiéndose que puede ser portador de hasta 26 tipos diferentes, siendo el dengue y el chikungunya los únicos que se ha demostrado que pueden ser transmitidos al ser humano.

Un aspecto importante que favorece su capacidad de colonización, es que tanto *Aedes albopictus* como *Aedes aegypti* son especies invasoras. Dentro de ecosistemas estables, la introducción de especies exóticas siempre traerá cambios a gran escala, pues suelen tener un éxito casi inmediato en su establecimiento, ya que llegan a consumir recursos y a competir por ellos con especies nativas, generando desplazamiento de las mismas y modificando la cadena trófica.

Interacción virus/vector**Evolución**

Los microorganismos o entidades microscópicas causantes de enfermedades, en este caso los virus, tienen periodos generacionales cortos y usualmente, muestran una considerable variabilidad genética, por lo tanto, la selección natural puede provocar cambios rápidos en la genética y los caracteres fenotípicos de las poblaciones.

Organismos más complejos, como lo son aquellos vertebrados que funcionan como huésped para agentes infecciosos, mantienen tiempos generacionales mucho más largos, lo cual hace que puedan responder de manera relativamente lenta ante las presiones de selección impuestas por estos agentes, desarrollando resistencia.

Los organismos que portan a este tipo de entidades, los vectores, también se les considera huéspedes temporales, donde la infección se presenta de manera asintomática, con el único fin de llevar a cabo una parte del ciclo de transmisión.

Competencia

Mucho se ha estudiado acerca de la competencia del género *Aedes* para la transmisión de virus, mas en específico de los Flavivirus, los cuales en la actualidad se encuentran ampliamente distribuidos alrededor del mundo por la capacidad vectorial de estos organismos.

La competencia se puede definir como la capacidad o habilidad de un vector de adquirir un virus/patógeno y poder transmitirlo exitosamente a un huésped susceptible.

Este aspecto de la transmisión es un proceso complejo que mantiene una estrecha relación entre los factores que lo influyen y favorecen como:

- Temperatura: No solo es elemental una temperatura óptima para el desarrollo del ciclo de vida del mosquito, sino también para el proceso de infección del virus, el cual también presenta sensibilidad a diferentes rangos de temperatura para lograr una tasa de reproducción de arbovirus dentro del mosquito que se refleja en su capacidad para infectar, reportándose las temperaturas más favorables entre los 17°C y los 32°C para el WEEV.
- Disponibilidad de un organismo huésped vertebrado.
- Densidad poblacional del vector y depredación.

Así como factores intrínsecos directamente relacionados con la interacción del virus y el vector como lo son la supervivencia del mosquito y la replicación del virus dentro de este.

Existen de igual manera factores genéticos y de procedencia que pueden influenciar directamente en la capacidad tanto de respuesta contra el virus y por ende, en su capacidad infectiva,

ya que la carga viral dentro del mosquito también es un factor importante.

Se encontró que una serie de mutaciones adaptativas en el gen E2 del chikungunya puede ser el responsable de un mejoramiento en la transmisión por *Aedes albopictus* lo cual ha sido relacionado a un mejoramiento en la transmisión de uno de sus dos genotipos (Coffey, 2014).

En *Aedes albopictus* se encontró que puede presentar cierto tipo de susceptibilidad específica por la especie a ser infectado más fácilmente por flavivirus (Coffey, 2014).

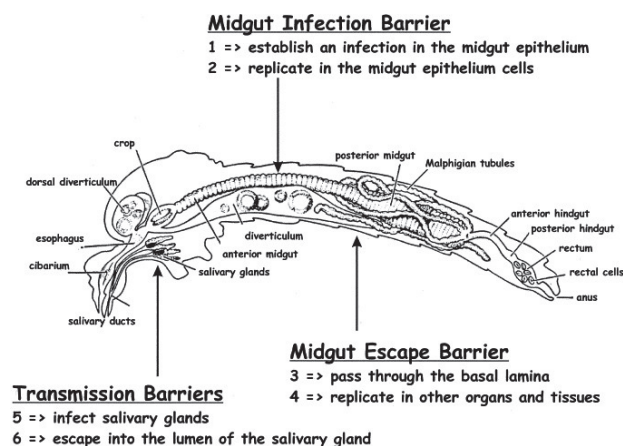
Para que la infección se disemine dentro del insecto, primeramente este debe infectarse, y para esto hay tres mecanismos principales:

1. Transovárica: Los huevecillos son infectados directamente desde su desarrollo en el aparato reproductor de la hembra.
2. Primera ingesta: Una hembra sana se infecta por la carga viral presente en la sangre del huésped del que se alimenta en su primera picadura.
3. Durante la cópula: Se ha registrado que el virus puede estar presente también en machos (vía transovárica) los cuales no pueden infectar directamente a otros organismos por medio de su mordida, pero si se ha demostrado que puede infectar a la hembra durante el apareamiento, infección la cual será dispersada por esta y sus larvas posteriormente (Kow, 2001).

Tras adquirir el virus por cualquiera de estos mecanismos, este tendrá que atravesar las barreras fisiológicas naturales impuestas por el mosquito para evitar la proliferación y diseminación de la infección (Black IV, 2001).

Estas barreras se dividen en tres tipos, y de ellas dependerá la progresión del virus a través del organismo así como un alto porcentaje de la capacidad infectiva del vector (Fig.11).

Fig.11 Diagrama de las barreras fisiológicas del vector para evitar la proliferación e infección del virus (Black IV, 2001)



Estas barreras se dividen en tres tipos principales:

1. Barrera de infección del intestino medio (MIB)
2. Barrera de Escape del intestino medio (MEB)
3. Barreras de transmisión (SIB y SEB)

Al intervalo de tiempo entre la ingesta de sangre infectada y la transmisión oral se le conoce como período extrínseco de incubación (EIP), cuya duración variará entre virus y huéspedes y que es afectado generalmente por factores ambientales como la temperatura (Tab.3), nutrición larval, dosis infectiva del virus, etc.

Tab.3 Promedio en días periodos de incubación del virus del Dengue, tanto extrínseca (mosquito) como intrínseca (humanos) y su temperatura (Chan, 2012)

	Temperatura	Promedio	Días de incubación
EIP	25°	15	5 -33
	30°	6.5	2 - 15
IIP	25°	6	4 - 10
	30°	8.5	3 - 14

Mecanismos de infección en el vector:

Dentro del vector, el virus tendrá como objetivo mantener su integridad sin generar daño alguno en aquel organismo que cumpla la función de acarrear y mantenerlo en condiciones óptimas hasta llegar al siguiente punto, que sería encontrar un huésped apto para su reproducción.

Son complejos los mecanismos que los diferentes arbovirus adoptan para lograr invadir el cuerpo del vector y al mismo tiempo mantener una replicación viral controlada, además de que cada uno genera una respuesta diferente, teniéndose mejor conocidos los mecanismos de infección del vector para Dengue y Chikungunya.

DENGUE:

Las interacciones que mantenga el virus con el sistema inmune del mosquito, puede ser un factor importante que inflencie en gran manera a la diseminación viral o a una superinfección del vector por parte de otros virus.

Para el caso del Dengue, en el mosquito, este virus puede desencadenar diversas vías de señalización del sistema inmune:

- JAK-STAT
- Toll
- Imd/JNK

Además de que se han identificado tres tipos de vías lideradas por RNA (siRNA, miRNA, piRNA), los cuales tienen diferentes roles en diferentes procesos celulares e interacciones del virus con el vector (Huang,2014).

En términos generales, el mecanismo de infección del virus para el vector se puede definir en tres procesos que el virus ejecuta en la fisiología del mosquito para obtener ventajas sobre el:

1. Inducción de una inmunomodulación ventajosa.
2. Aprovechamiento de la flora intestinal para inducir infección (Reducción en la producción de péptidos antimicrobianos, aumento de bacterias patógenas)
3. Activación de respuesta inmune en respuesta a la infección por bacterias, que suprime la replicación viral excesiva.

CHIKUNGUNYA:

Poco es lo que se tiene conocido acerca de la respuesta inmune inducida por el virus del CHIKV en mosquitos.

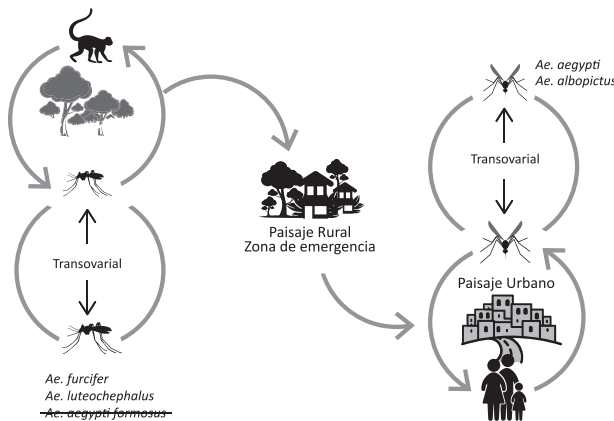
Se sabe que la replicación viral es controlada por vía de señalización de RNAi exógeno, donde la proteína Ago-2 juega un papel importante en la respuesta antiviral de RNAi, el cual se presenta como un rol similar para otros alfavirus como el Sindbis, entre otros.

El control ejercido sobre la replicación viral ejercido por medio de RNAi puede limitar el potencial patológico actuando a favor de la supervivencia del mosquito.

Ciclo de transmisión:

El ciclo de transmisión de los arbovirus sigue un patrón constante, teniendo como origen un ciclo de transmisión selvático mantenido entre el vector artrópodo y huéspedes vertebrados de amplio rango, pero principalmente entre primates no-humanos (Fig.12).

Fig.12 Ciclos de transmisión (selvático y urbano) así como los agentes que transmiten la infección de DENV y CHIKV (Weaver,2009)



Aedes albopictus ha mostrado tener una preferencia por un punto intermedio entre ambos ciclos, adaptándose tanto al ámbito humano, sin perder por completo sus hábitos silvestres, pues se le asocia más a zonas rurales o a los límites de áreas urbanas, más que al núcleo de las mismas.

Ciclo gonotrófico

El ciclo gonotrófico se define como el periodo de tiempo que ocurre entre la ingesta de sangre para la alimentación, la oviposición y una segunda alimentación.

Este proceso es realmente importante porque engloba todo el mecanismo de transmisión y desarrollo de los diferentes arbovirus que pueden ser transmitidos al ser humano por los mosquitos.

Se sabe que las hembras pueden estar listas para tomar su primera ingesta de sangre a partir de las 18 hrs de haber emergido, sin embargo, la gran mayoría tiende a hacerlo hasta las 24 hrs después de emerger.

Varía entre organismos si la alimentación se da antes de la cópula o después de esta, aunque mucho se ha visto que las estadísticas se mantienen equilibradas sin un momento preferente.

Evolución del ciclo de transmisión:

Una cuestión importante, es el tomar en cuenta de que la relación virus/vector tiene orígenes ancestrales, desde antes de que el hombre poblara sus áreas de interacción naturales, manteniéndose originalmente en ciclos selváticos, tanto en África como en Asia, sin medios realmente factibles para lograr una dispersión exitosa, pues además, la transmisión de los virus a un huésped competente se mantiene limitado no solo a las áreas de dispersión del vector sino también de aquellos que podían portar la enfermedad.

El punto de origen de cómo el virus prefirió tener como medio de transporte a un artrópodo y con el transmitirse a un huésped capaz como lo son los organismos vertebrados, realmente se tiene desconocido. Para los diferentes arbovirus conocidos que son de importancia médica para el hombre se han hecho estudios filogenéticos que han logrado ubicar tiempos de divergencia entre serotipos y posibles lugares de origen.

Realmente lo que ha generado preguntas y posibles respuestas es la ubicación en el cambio de hábitos tan marcados que se vio en estos artrópodos en respuesta al incremento en la presencia antrópica en sus hábitats naturales.

El ser humano ha tenido un papel importante en la modificación de los hábitos de los vectores, ya que las propias actividades que genera como la urbanización, deforestación, actividad ganadera y agrícola, ha modificado las áreas naturales de reproducción y desarrollo de los insectos, lo cual ha generado en ellos la necesidad de buscar y utilizar medios alternativos para subsistir.

Sin embargo, en el caso particular de *Aedes albopictus*, podemos remarcar el hecho de que en su ecología, se presenta como un vector secundario de algunos arbovirus importantes ligado a un ciclo de vida urbanizado, todavía mantiene estrecha relación con las áreas rurales y periurbanas para el mantenimiento de su ciclo de vida.

Estrategias de control:

Ya que como tal no existen todavía vacunas que ayuden a la prevención y tratamiento efectivo de las enfermedades transmitidas por *Aedes albopictus*, uno de los primeros mecanismos para evitar brotes es el control directo de la especie, para lo cual existen una serie de estrategias tanto novedosas como ya de uso rutinario (Tab.4y5).

La estrategia convencional de control es la reducción o erradicación de fuentes de desarrollo larvario limpiando recipientes que puedan contener agua que son los lugares donde la larva se desarrolla de manera natural, así como el uso de larvicidas e insecticidas en los sitios naturales o peridomésticos de alimentación.

Tab.4 Estrategias de control para aedinos

Categoría	Estrategias de control
• Química	1. Insecticidas 2. Larvicidas Ejm: Abate (temephos)
• Biológica	1. Control de las poblaciones por introducción de organismos depredadores: -Toxorynchites -Wolbachia
• Otros	1. Introducción de mosquitos genéticamente modificados

Existen estrategias alternativas como lo son el uso de controles biológicos como el uso de organismos que se alimentan de las larvas, o bioinsecticidas, o de organismos cuya alimentación está basada en este tipo de artrópodos, los cuales pueden ser otras especies de mosquitos (*Toxorynchites*) o bacterias (*Wolbachia*) así como la introducción en el medio de mosquitos modificados genéticamente para ser estériles, y que no permitan la expansión de las poblaciones.

Una medida novedosa ha sido la introducción en el medio de mosquitos que presenten resistencia a la infección por virus, mediante la expresión de mecanismos de defensa liderados RNAs de interferencia, así como de insectos que contengan genes letales dominantes.

Reglamentación:

Dentro de los lineamientos con los que México cuenta para la vigilancia, cuidado y prevención de enfermedades transmitidas por vector se tiene la NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-017-SSA2-1994, PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA la cual tiene como objetivo:

“ Esta Norma Oficial Mexicana establece los lineamientos y procedimientos de operación del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, así como los criterios para la aplicación de la vigilancia epidemiológica en padecimientos, eventos y situaciones de emergencia que afectan o ponen en riesgo la salud humana.”

“Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y su ejecución involucra a los sectores público, social y privado que integran el Sistema Nacional de Salud.”

De igual manera, se cuenta también con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-032-SSA2-2002, PARA LA VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR.

Tab.5 Estrategias de control para dípteros del género Aedes dependiendo de su etapa de desarrollo

CLASIFICACIÓN	Tipo de control	Mecanismo
Control en etapas inmaduras	• Biológico	Involucra la introducción al ambiente de enemigos o depredadores naturales que controlen las poblaciones: -Depredadores -Parásitos -Patógenos -Plantas e insecticidas botánicos
	• Genético	Tiene como objetivo reducir sustancialmente el tamaño de la población o reemplazarla con una especie sin capacidad vectorial. -Selección de genes -Reemplazamiento de especies por competencia -Cría, esterilización y liberación de mosquitos macho.
	• Físico	De tipo mecánico, ambiental o ecológico: -Relleno, reducción y drenaje de fuentes de cría -Cambio de hábitat
	• Químico	Implica el empleo de agentes químicos que causan mortalidad en etapas inmaduras ya sea por su ingestión, contacto, respiración, etc. -Insecticidas inorgánicos (sumamente contaminantes) -Insecticidas orgánicos sintéticos (Organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides) -Reguladores del crecimiento de insectos (Análogos a la hormona juvenil, inhibidores de la síntesis de quitina)
Control de adultos	• Telas metálicas	
	• Mosquiteros	
	• Repelentes	
	• Insecticidas químicos	En forma de aerosoles, nebulizaciones y neblinas mediante equipos manuales, de arrastre terrestre y aéreos.

Teniendo como objetivo: “Establecer las especificaciones, criterios y procedimientos para disminuir el riesgo de infección, enfermedad, complicaciones o muerte por enfermedades transmitidas por vector.

Bibliografía:

1. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Elyazar IR, Teng HJ, Brady OJ, Messina JP, Pigott DM, Scott TW, Smith DL, Wint GR, Golding N, Hay SI. *Elife*. 2015 Jun 30;4:e08347. doi: 10.7554/eLife.08347.
2. Paupy C, Delatte H, Bagny L, Corbel V, Fontenille D. *Aedes albopictus*, anarbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes Infect*. 2009 Dec;11(14-15):1177-85. doi: 10.1016/j.micinf.2009.05.005. Epub 2009 May 18. Review. PubMed PMID: 19450706.
3. Gratz NG. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol*. 2004 Sep;18(3):215-27. Review. PubMed PMID: 15347388.
4. Löwenberg Neto, Peter, & Navarro-Silva, Mário A.. (2004). Development, longevity, gonotrophic cycle and oviposition of *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae) under cyclic temperatures. *Neotropical Entomology*, 33(1), 29-33. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519-566X2004000100006>
5. BIOLOGY, DISEASE RELATIONSHIPS, AND CONTROL OF *Aedes albopictus*
Jose G. Estrada-Franco, Ph.D. Department of Entomology University of Maryland College Park, Maryland, U.S.A. George B. Craig, Jr., Ph.D. Vector Biology Laboratory Department of Biological Sciences, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana, U.S.A.
6. Black WC 4th, Bennett KE, Gorrochótegui-Escalante N, Barillas-Mury CV, Fernández-Salas I, de Lourdes Muñoz M, Farfán-Alé JA, Olson KE, Beaty BJ. Flavivirus susceptibility in *Aedes aegypti*. *Arch Med Res*. 2002 Jul-Aug;33(4):379-88. Review. PubMed PMID: 12234528.
7. DOF. 2012. NORMA Oficial Mexicana NOM-017-SSA2-2012, Para la vigilancia epidemiológica. En línea: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5288225&fecha=19/02/2013
8. NORMA Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2002, Para la vigilancia epidemiológica, prevención y control de enfermedades transmitidas por vector en línea: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/032ssa202.html>
9. CENAPRESE (Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades). 2012. Enfermedades transmitidas por vectores. En línea: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue/vector.html>
10. Waldock J, Chandra NL, Lelieveld J, Proestos Y, Michael E, Christophides G, Parham PE. The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology. *Pathog Glob Health*. 2013 Jul;107(5):224-41. doi: 10.1179/2047773213Y.0000000100. Review. PubMed PMID: 23916332; PubMed Central PMCID: PMC4001452.
11. Coffey LL, Failloux AB, Weaver SC. Chikungunya virus-vector interactions. *Viruses*. 2014 Nov 24;6(11):4628-63. doi: 10.3390/v6114628. Review. PubMed PMID: 25421891; PubMed Central PMCID: PMC4246241.
12. Brady OJ, Golding N, Pigott DM, Kraemer MU, Messina JP, Reiner RC Jr, Scott TW, Smith DL, Gething PW, Hay SI. Global temperature constraints on *Aedes aegypti*

and *Ae. albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission.

Parasit Vectors. 2014 Jul 22;7:338. doi: 10.1186/1756-3305-7-338. PubMed PMID: 25052008; PubMed Central PMCID: PMC4148136.

13. Microbiología y parasitología medicas. Tomo III en línea: <http://gsdl.bvs.sld.cu/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0preclini--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-11-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-00-00&a=d&cl=CL1&d=HASH421a29fb58eb8d-61c867bb.7.2.fc>
14. Huang YJ, Higgs S, Horne KM, Vanlandingham DL. Flavivirus-mosquito interactions. *Viruses*. 2014 Nov 24;6(11):4703-30. doi: 10.3390/v6114703. Review. PubMed PMID: 25421894; PubMed Central PMCID: PMC4246245.
15. Kow CY, Koon LL, Yin PF. Detection of dengue viruses in field caught male *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Singapore by type-specific PCR. *J Med Entomol*. 2001 Jul;38(4):475-9. PubMed PMID: 11476326.

TERCERA PARTE

MODELADO ECOBIOGEOGRAFICO PARA LA ESPACIALIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE VECTORES TRANSMISORES DE DENGUE

Patricia Deniss Campos Ibarra
Luis Alberto Olvera Vargas

Antecedentes

La vida se distingue por la capacidad de mantenerse en constante cambio, junto a este concepto podemos adjuntar características como el movimiento. De algún modo, el movimiento es una expresión de la vida misma, aun las plantas consideradas organismos sésiles mantienen mecanismos internos que lo expresan, como los flujos de agua y metabolitos dentro de su sistema vascular, o el hecho de crecer y cambiar constantemente hojas, corteza y demás elementos, así como los mecanismos de reproducción que emplean para dispersar sus semillas.

La distribución de dichos organismos vivos, en este caso particular de animales, es un reflejo no solo del tipo de interacciones que mantienen con el medio y las necesidades que el mismo satisface, sino que también habla acerca de su historia, porque así como las masas terrestres han cambiado su conformación, los organismos vivos han respondido a este tipo de procesos a gran escala.

La aplicación de modelos de distribución tienen como principio el poder expresar de manera objetiva patrones espaciales de presencia de organismos basados en procedimientos estadísticos y geográficos que utilizan datos reales de presencia y así con esto evaluar la idoneidad dadas sus características ambientales (Mateo, 2011).

En este trabajo se busca trasladar este concepto hacia el estudio de las relaciones entre enfermedades, el medio natural y la salud humana, para robustecer la comprensión que se tiene de tales dinámicas.

Para eso se realizaron modelados en Maxent, Bioclim y Domain, utilizando 19 variables ambientales para escenarios presentes de la base de datos de WorldClim. Los elementos de estudio se eligieron de un estudio realizado en el laboratorio, en conjunto con otras entidades académicas de la universidad en el cual se estudió la presencia de dengue en la fauna de quirópteros en la huasteca del estado de San Luis Potosí, y la presencia de los vectores.

Variables ambientales como elemento para la distribución potencial

La distribución natural de las especies es determinada, en gran medida, por factores climáticos (Parmesan y Yohe, 2003), por lo que una premisa fundamental para evaluar su potencial de establecimiento en una determinada zona, o su dispersión, es contar con un registro histórico de variables meteorológicas que permita la construcción de escenarios de referencia sobre su comportamiento. Actualmente, existe una gran cantidad de datos disponibles para realizar estudios orientados a la caracterización de los procesos que ocurren en la biósfera. Esto obedece, entre otras causas, al advenimiento de la era espacial y los desarrollos en percepción remota (Schowengerdt, 2007); el estudio de la dinámica atmosférica y la predicción del clima, son ejemplos de áreas del conocimiento que se han visto favorecidas por estas tecnologías (Kidd et al., 2000; Gutman e Ignatov, 2010). Un elemento fundamental en la instrumentación de estos estudios son los modelos matemáticos empleados. Existe una gran variedad de estrategias de modelado, desde métodos basados en estadística clásica, hasta los apoyados en técnicas

cas de inteligencia artificial, como los algoritmos genéticos y las redes neuronales (Gevrey et al., 2006). Algunos modelos basan sus predicciones en la correlación observada entre variables climáticas y la presencia o ausencia de especies, mientras que otros atienden a consideraciones fisiológicas (Pearson y Dawson, 2003).

Actualmente, las tendencias observadas muestran que el clima cambiante tiene una profunda influencia sobre la expansión y contracción de intervalos de las especies, por lo que se espera que los futuros cambios climáticos tienen un impacto significativo sobre la distribución de especies (Hughes, 2000; McCarty, 2001; Walther et al., 2002; IPCC, 2001). Ya que el clima es uno de los factores que afecta la distribución de los organismos, determinando sus límites geográficos. Entonces el análisis de las variables climáticas ayudará a entender por qué una especie crece en un determinado sitio y no en otro (Lindenmayer et al. 1991). Cada especie tiene su propio perfil bioclimático, por lo que el análisis de las variables climáticas que determinan dicho perfil puede servir para cuantificar las diferencias en los dominios climáticos (es decir, el nicho climático o espacio en el cual se considera que una especie vegetal sobrevive bajo condiciones naturales) que tienen diferentes especies (Fischer et al. 2001).

Los registros de las estaciones proveen las más directas medidas para estudiar las tendencias históricas en el clima, pero estos pueden ser poco confiables, generalmente muestran grandes huecos carentes de registro. La pobre cobertura espacial de las estaciones es otro de los problemas, el cual es particularmente evidente en regiones áridas escasamente pobladas. Ya que una estación representa sólo un punto, puede no ser representativa de la región que la rodea, especialmente en la presencia de gradientes ambientales complejos y alta precipitación convectiva. Para superar esto, se han producido juegos de datos digitales (raster) a partir de los registros de las estaciones existentes con el fin de aproximarse a la verdadera variación es-

pacio-temporal de las variables climáticas (New et al., 2000; Hewitson and Crane, 2005).

Modelado de Nicho Ecológico en epidemiología

Un nicho ecológico se define como el conjunto de condiciones dentro de las cuales, las especies pueden mantener sus poblaciones sin la necesidad de la llegada de individuos de otras áreas (Peterson, 2006).

Los modelados de nicho ecológico se encargan de caracterizar la distribución de los organismos en un área definida, evaluando la presencia con parámetros ambientales. Esto convierte a los modelos en herramientas útiles al momento de aplicarlos para el análisis epidemiológico, ya que nos deja visualizar cartográficamente la distribución potencial de un vector, un reservorio o huésped de alguna enfermedad a la que se le quiera dar un seguimiento para su vigilancia.

Los modelados presentan la ventaja de poder realizar los análisis de distribución de manera independiente al tipo de paisaje sobre el cual se realizan, pudiendo ser este un paisaje natural o modificado, sin la necesidad de una intervención directa.

Para el estudio de transmisión de enfermedades puede aportarnos conocimiento sobre la ecología de la enfermedad, caracterización de áreas de distribución (tanto de los vectores como de donde se presenta la enfermedad), identificar áreas potenciales para el ingreso de estos elementos en otras regiones, hacer predicciones sobre áreas de riesgo con cambio climático, identificación de vectores desconocidos (Peterson, 2006), entre otras aplicaciones.

Vectores principales del dengue, otros culícidos con potencial vectorial y la fauna silvestre.

Aedes aegypti y *Aedes albopictus* son los vectores principales del virus del Dengue, ambos pertenecen al mismo género, junto con los vectores principales dentro de los ciclos selváticos

originales. *Aedes aegypti* es reconocido por ser el vector primario de la Fiebre Amarilla y el Dengue y Zika, mientras que a *Aedes albopictus* se le denomina un vector secundario, pero se tiene sabido que en países del sur este Asiático es el vector primario, además de presentar una mayor capacidad vectorial para el Chikungunya. También se le ha relacionado con la transmisión del Zika.

Aunque el género *Aedes* ha mostrado tener una gran capacidad vectorial para transmitir el Dengue, otros culícidos han sido reportados como posibles vectores potenciales del mismo, y al ser géneros ampliamente distribuidos en nuestro país, representan un nuevo elemento para el seguimiento y vigilancia de los patrones de actividad del virus, pudiendo ser un factor importante dentro de la incidencia de la enfermedad que no se ha ponderado.

Otro caso de interés es la presencia del virus del Dengue en fauna silvestre como murciélagos, roedores, marsupiales americanos, primates y reptiles (Aguilar-Setien, 2008; Platt, 2000; Machain-Williams, 2013; Chastel, 1966).

Generación de escenarios para la distribución de potencial de vectores

Los modelos biológicos son usados para conocer la distribución (potencial) de especies. Se han aplicado principalmente en especies vegetales y animales silvestres, pero en los últimos 10 años ha aumentado su aplicación en insectos y plagas. La mayoría de los modelos se trabajan en software especializados, que a través de múltiples algoritmos y relaciones espaciales, formulan escenarios predictivos, además de incluir evaluaciones estadísticas. La precisión entre cada uno de los modelos está en continua discusión, ya que no se ha llegado a un consenso de cuál es el más preciso.

MaxEnt

Maxent (Máxima entropía) es un software que utiliza un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para cal-

cular la distribución geográfica más probable para una especie. MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía sujeta a la condición del valor esperado de cada variable ambiental (Phillips et al., 2006). Presenta una amplia descripción de las relaciones que existen entre las variables climáticas y la densidad de puntos. Presenta tasas de omisión y comisión del umbral acumulativo, además de presentar la curva respuesta de cada variable y su porcentaje de contribución en la distribución. Genera graficas de jackknife para los datos de entrenamiento y prueba, dando la confiabilidad del modelo de distribución elaborado.

Domain y Bioclim

DIVA-GIS puede emplearse para analizar la distribución de especies con el objeto de dilucidar patrones geográficos, ecológicos, y genéticos. Está orientado a científicos que no disponen de sistemas de información geográfica (GIS) comerciales, o no tienen tiempo para capacitarse en su uso, o para cualquier persona que necesita una herramienta GIS especializada en analizar las distribuciones de especies. Puede emplearse para el análisis de autocorrelación espacial, y en modelamiento de nichos ecológicos utilizando los algoritmos BIOCLIM y DOMAIN (con predicciones para climas presentes y futuros).

Bioclim genera para la especie un rango ecológico de n dimensiones, siendo n el número de variables predictoras, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencias sobre cada variable ambiental (Busby 1991). Mientras de Domain usa métodos de distancias ecológicas basada en la métrica de Gower, es decir, una medida de distancia que estandariza las variables según su rango en todos los puntos de presencia para igualar su contribución al modelo (Carpenter et al., 1993).

Los mapas resultantes están caracterizados por una tolerancia mínima y máxima que determinan los límites de idoneidad. Los modelos de hábitat se generan otorgando a cada celda un

valor de distancia ecológica relativo a la posición que ocupa dentro del rango multidimensional de la especie. Estos algoritmos no admiten para el análisis capas de información cualitativa como usos del suelo y similares.

Los modelos trabajan con datos de estaciones climatológicas interpoladas, donde según la escala espacial, es el número de estaciones que se utilizan. Las más usadas son Worldclim (Hijmans et al., 2005) y NAPPFAST (Magarey et al., 2007) a nivel internacional. Para México, el usado es una adecuación de Hijmans (2005) diseñada por Téllez et al., (2010) con una resolución de 1 km x 1 km. Las variables usadas para todos los modelos son 19, variantes de la temperatura y precipitación, la cuales se muestran en el cuadro 1.

Metodología

Para la elección de los organismos primero se realizó una búsqueda bibliográfica (artículos, hemerografía, etc.) sobre los vectores ya conocidos y otras especies con potencial vectorial, así como casos donde la enfermedad también estuviera presente en la fauna silvestre del lugar.

Para realizar el modelado se hizo una búsqueda de datos de presencia geo referenciados para todos los elementos de interés.

Dentro de lo encontrado, nos enfocamos en modelar la distribución potencial de aquellas especies que estuvieran reconocidas para México, de las cuales obtuvimos 21 proyecciones por

tipo de modelo, de los cuales solo se utilizaron 3 individuos para el análisis estadístico: los vectores ya conocidos, *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* y la especie del individuo de la huasteca con resultado positivo del estudio para detección de dengue: *Mormoops megalophylla*.

Análisis de concordancia

Para el análisis estadístico se utilizara el índice de kappa, el cual refleja la concordancia entre varias observaciones realizadas de los mismos indicadores. (Cerdeira, 2008). El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador. Un valor de $\kappa = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Tabla 6) (Ullibarri, 1999).

Tabla 6. Valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1997)

Coeficiente kappa	Fuerza de concordancia
0,0	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

El coeficiente kappa se construye en base a un cociente, el cual incluye en su numerador la diferencia entre la sumatoria de las concordancias

Cuadro 1

Clave	descripcion	Clave	descripcion		
1	tpa	Temperatura promedio anual	11	tpcf	temperatura promedio del trimestre mas frio
2	odt	Oscilacion diurna de la temperatura	12	pa	Precipitacion anual
3	iso	Isotermalidad	13	ppll	Precipitacion del periodo mas lluvioso
4	et	Estacionalidad de la temperatura	14	pps	precipitacion del periodo mas seco
5	tmppc	temperatura máxima promedio del periodo más cálido	15	ep	estacionalidad de la precipitacion
6	tmppf	temperatura mínima promedio del periodo más frío	16	pcll	Precipitacion del trimestre mas lluvioso
7	oat	Oscilacion anual de la temperatura	17	pcs	Precipitacion del trimestre mas seco
8	tpcll	Temperatura promedio del trimestre mas lluvioso	18	pcc	Precipitacion del trimestre mas calido
9	tpcs	temperatura promedio del trimestre mas seco	19	pcf	Precipitacion del trimestre mas frio
10	tpcc	temperatura promedio del trimestre mas calido			

observadas y la sumatoria de las concordancias atribuibles al azar, mientras que su denominador incluye la diferencia entre el total de observaciones y la sumatoria de las concordancias atribuibles al azar (Cerde,2008).

Para comparar predicciones en la elaboración de modelos de distribución potencial generados a partir de diferentes herramientas, se utilizaron datos de ausencia para generar una matriz de confusión para calcular el coeficiente de kappa. (Cuadro 2)

	Predicción (Modelo)		
	Presencia	Ausencia	Total
Observada			
Presencia	n11	n01	n+1
Ausencia	n10	n00	n+0
Total	n1+	n0+	n

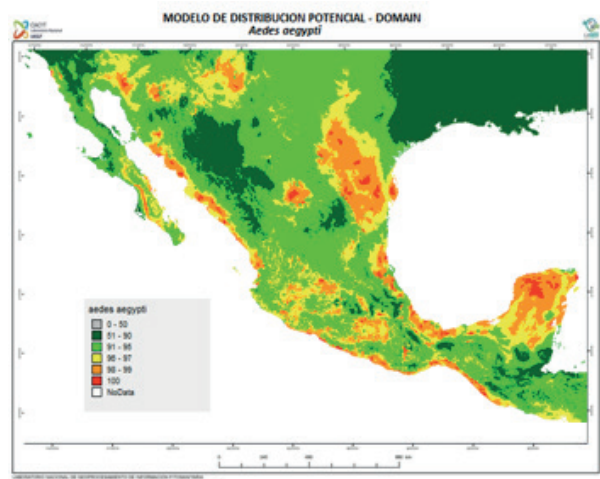
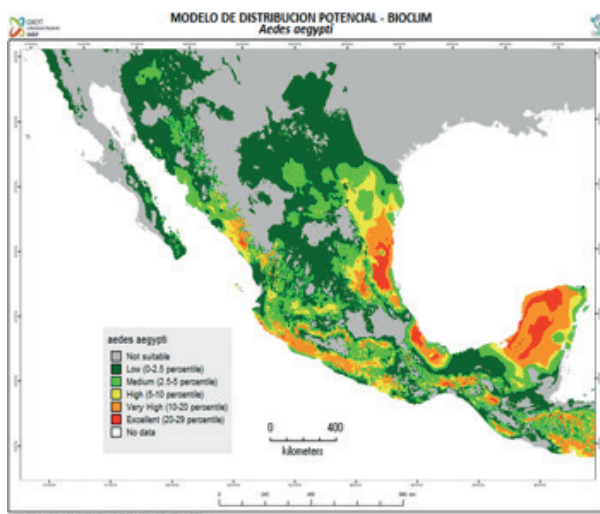
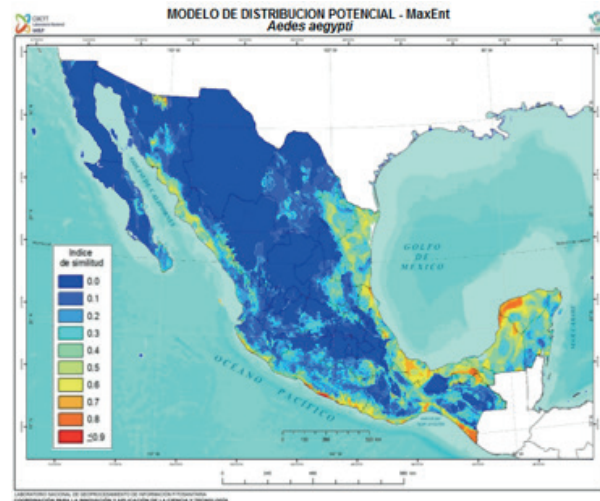
Este definirá la exactitud de la predicción o establecer si los errores en la matriz representan un resultado significativamente más adecuado que uno al azar, basándose en datos reales.

Modelado de culícidos: vectores conocidos y vectores potenciales. Análisis de concordancia para *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*

Aedes aegypti:

Tabla 2. Estadísticas de validación para el mosquito vector *Aedes aegypti* por modelo.

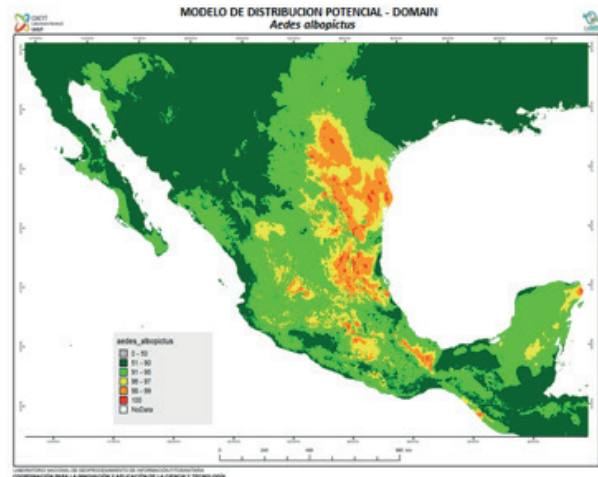
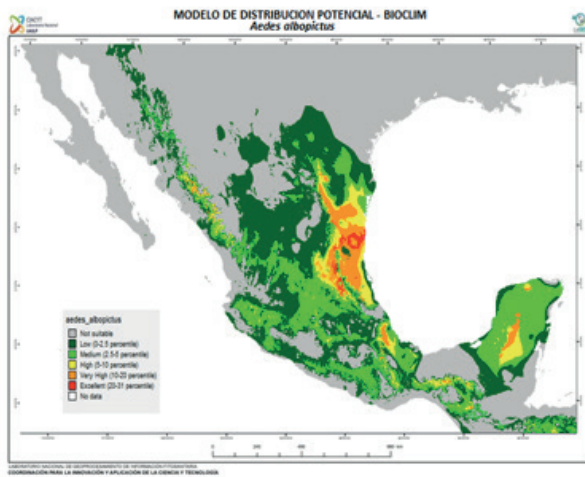
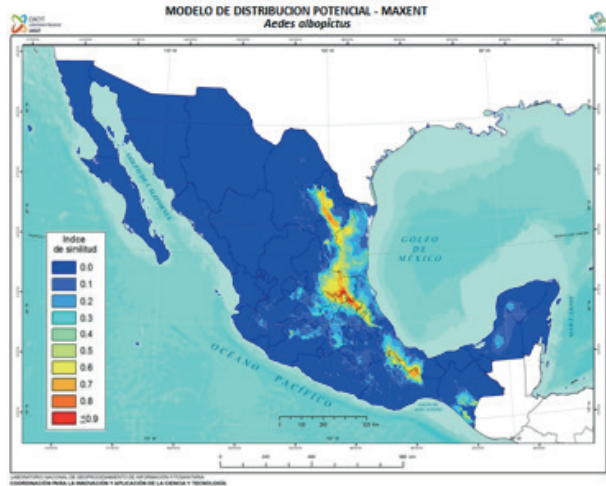
	Maxent	Bioclim	Domain
Puntos de entrenamiento	122	122	122
Puntos de muestra	374	374	374
Puntos presencia	239	239	239
AUC	.948	.858	.996
Indice Kappa	.807	.686	.955



Aedes albopictus

Tabla 3. Estadísticas de validación para el mosquito vector Aedes albopictus por modelo.

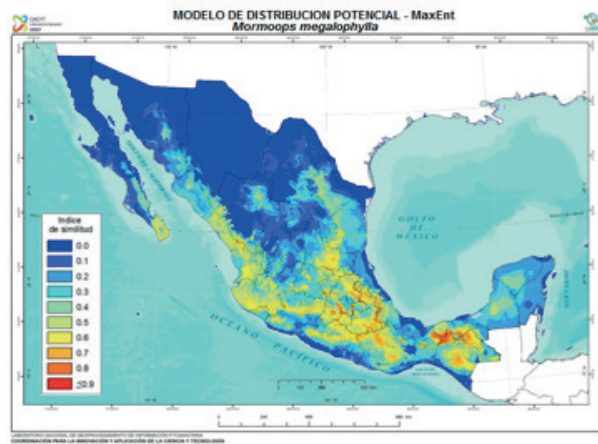
	Maxent	Bioclim	Domain
Puntos de entrenamiento	40	40	40
Puntos de muestra	120	120	120
Puntos presencia/ausencia	152	152	152
AUC	.971	.935	.956
Indice Kappa	.994	.776	.773

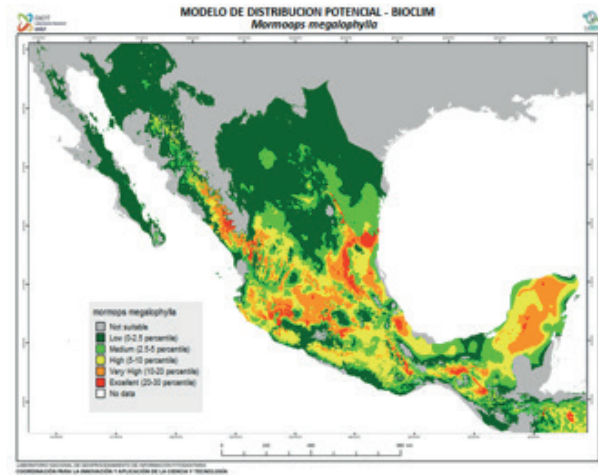
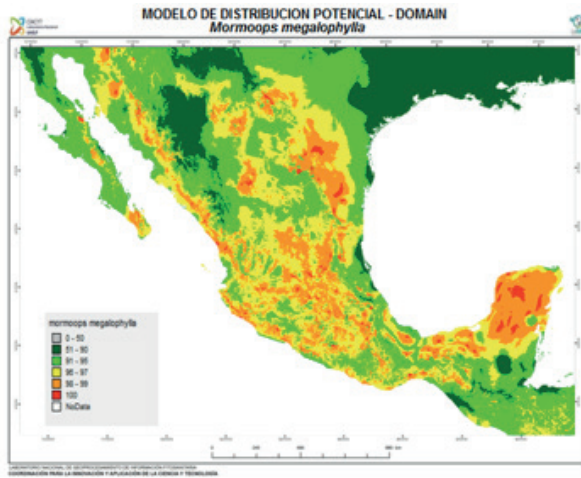


Mormoops megalophylla

Tabla 4. Estadísticas de validación para el murciélago Mormoops megalophylla por modelo.

	Maxent	Bioclim	Domain
Puntos de entrenamiento	78	78	78
Puntos de muestra	261	261	261
Puntos presencia/ausencia	304	304	304
AUC	.945	.806	.984
Indice Kappa	.787	.515	.967



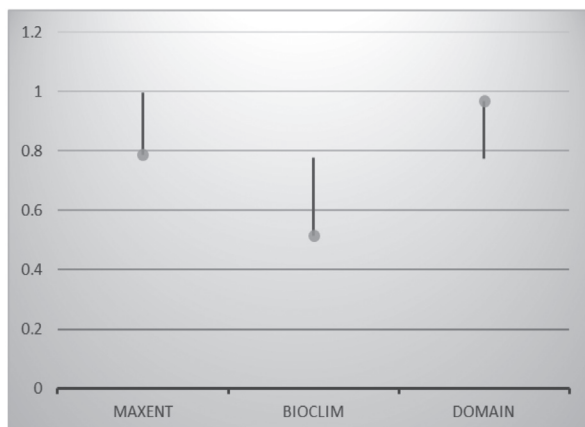


Se analizaron los valores del estadístico kappa por cada especie, resaltado en las tablas los valores más altos correspondientes para cada especie modelada. Este valor refleja el modelo que mejor expresa la distribución potencial del organismo. En algunos casos las diferencias entre los valores por modelo son amplias, como los dados en los modelos para *Mormoops megalophylla*, cuyo valor más alto fue representado por el modelo de Domain (.995), mientras el valor más bajo lo tiene Bioclim (.515) el cual es un valor débil que indica que este modelo no es el más adecuado para representar la distribución de dicho individuo. De igual manera para los modelos de *Aedes aegypti*, Domain tuvo los valores más altos para la representación de la distribución potencial. Por otra parte, Maxent fue ideal para el modelado de *Aedes albopictus* de

acuerdo con los valores arrojados, aunque los valores kappa para Bioclim y Domain no fueron tan débiles como en el caso anterior, no alcanzaron la representatividad que obtuvo Maxent.

En los tres modelos, Maxent demostró tener una precisión más alta que la adecuada, pero no en todos logro el máximo esperado, como han indicado otros autores con anterioridad (Hernandez y Elit, 2006), aunque esto apoya el hecho de ser el modelo que menos variabilidad presento, seguido por Domain (Figura 4).

Figura 4. Barras de error y variación del estadístico kappa



Conclusiones

Las especies modeladas pueden ser mejor representadas por diferentes algoritmos. En nuestro estudio, Domain fue el modelo que mejor represento la distribución potencial al presentar valores arriba del .9 en el 60% de nuestra muestra utilizada. No se descarta el uso de MaxEnt para la representación de distribución de otras especies ya que es uno de los modelos mas utilizados, cuyos resultados le respaldan.

Bibliografía

Peterson, A. T. (2006). Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission.

Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004, July). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning (p. 83). ACM.

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3), 231-259.
- Kitron, U. (2000). Risk Maps: Transmission and Burden of Vector-borne Diseases. *Parasitology today*, 16(8), 324-325.
- Mateo, R. G., FELICÍSIMO, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.
- De Ullibarri Galparsoro, L., & Pita Fernández, S. (1999). Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Cad Aten Primaria*, 6, 169-171.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
- Aguilar-Setien, A., Romero-Almaraz, M. L., Sánchez-Hernández, C., Figueroa, R., Juárez-Palma, L. P., García-Flores, M. M., ... & García-Estrada, C. (2008). Dengue virus in Mexican bats. *Epidemiology and infection*, 136(12), 1678-1683.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., Albert, D. L., & The, A. D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 5(June), 773-785.
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., et al. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 41: 37 – 42
- Schowengerdt, R. A. 2007. *Remote Sensing, Third edition: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, Elsevier. California, USA. 560 p.
- Gutman G. and A. Ignatov. 2010. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing* 19: 1533-1543.
- Kidder, S. Q., M. D. Goldberg, R. M. Zehr, M. De-Maria, J. F. W. Purdom, C. S. Velden, N. C. Grody, y S. J. Kusselson. 2000. Satellite Analysis of Tropical Cyclones Using the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU). *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 1241-1259.
- Geverey, M., S. Worner, N. Kasabov, J. Pitt and J. – L. Giraudel. 2006. Estimating risk of events using SOM models: A case study on invasive species establishment. *Ecological Modelling* 197: 361 – 372.
- Pearson, R. G. and T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361 – 371.
- Hughes, A.L. and Roberts, R.H. (2000) Independent origin of IFN- γ and IFN- β in birds and mammals. *J. Interferon Cytokine Res.*, 20, 737–739.
- Walther, Gian-Reto; Post, Eric; Convey, Peter; y otros (2002), "Ecological responses to recent climate change". *Nature* 416 (6879): 389-395
- IPPC. 2001. Intergovernmental panel on climate change. En <http://www.ipcc.ch/>
- Lindermayer, D. B., H. A. N IX, J. P. MCMAHON, M. F. HUTCHINSON Y M. T. T ANTON. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.

- New, M., Hulme, M. and Jones, P.D., 2000: Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate* 13, 2217-2238
- Hewitson BC, Crane RG. 2005. Gridded area-averaged daily precipitation via conditional interpolation. *Journal of Climate* 18: 41–57.
- Phillips, S. y Dudík, 2008. M. Modeling of species distributions with Maxent: new extension and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161 - 175
- Téllez, O., Chávez, Y., Gómez, A., Gutiérrez, M. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: estudio de cuatro especies de Pinus. *Revista Ciencia Forestal en México*, Vol. 29, Núm. 95. pp. 61 – 82

MODELO SOCIO-ECOLÓGICO PARA EL ESTUDIO DEL AEDES AEGYPTI: UNA MIRADA A LA SITUACIÓN DEL DENGUE, EL ZIKA Y EL CHIKUNGUNYA EN PUERTO RICO

José Seguinot Barbosa
Johel Padilla Villanueva
Gloricel Ramos
Jorge L. Cosme López

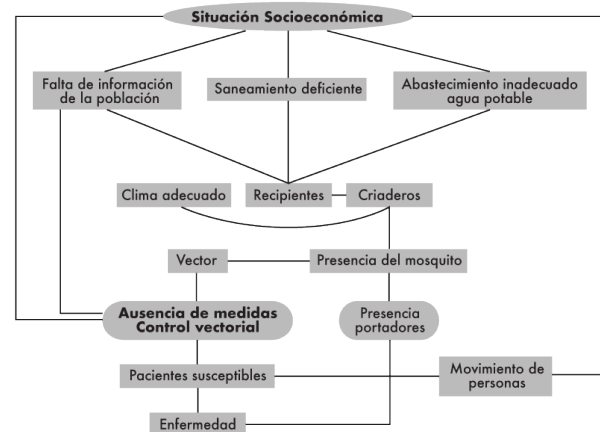
Antecedentes

El dengue es la enfermedad más importante transmitida por vectores de virus en todo el mundo por lo cual plantea una preocupación grave de salud pública en el continente Americano. El agente que causa el dengue es un Flavivirus, de los cuales hay cuatro serotipos. Este virus se transmite principalmente por el mosquito *Aedes aegypti* (*Ae. aegypti*). De acuerdo con la Organización Panamericana de la salud (OPS) el número de casos de dengue aumentaron en las Américas cinco veces entre 2003 y 2013. En 2013, había 2,3 millones de casos, incluyendo 37.705 casos graves y 1.289 muertes. En los últimos tres años, la tasa de letalidad del dengue ha sido 0.05%. La principal estrategia para controlar el Dengue en muchos países de América Latina se basa en la vigilancia y control de vectores. En la actualidad, el índice larvario (un indicador de niveles de infestación de *Ae. aegypti*) se utiliza para la vigilancia y control del vector del dengue. Este índice se calcula dividiendo el número total de viviendas con *Ae. aegypti* larvas por el número total de hogares infestados.

La distribución del *Ae. aegypti* está asociada a entornos urbanos en las regiones tropicales y subtropicales y es muy sensible a la variabilidad climática, así como a factores sociodemográficos tales como la densidad de población y el nivel de pobreza (Nagao, 2003, pp.650) Una mirada académica apunta a mejorar la vigilancia de la *Ae. aegypti* y sus estrategias de control mediante el estudio de variables socio-demográficas y climáticas para ver cómo están asociados con los niveles de infestación en los diversos países. Con ello se espera mejorar el control del

vector del dengue. En la mayoría de los países de América Latina, la vigilancia de la *Ae. aegypti* se realiza utilizando el índice larvario (a pesar de sus limitaciones). El control del *Ae. aegypti* se basa mayormente en el uso de insecticidas, la identificación de criaderos los hogares y campañas de prevención esporádica, sin llevar a cabo un análisis multicausal identificando los controladores de niveles de infestación alta como las características sociales de la población que puede influir en la población del vector. Por eso podemos concluir que hace falta un enfoque integrado donde las variables socio ecológicas jueguen un papel importante (ver Figura 1).

Figura 1: El dengue como problema socio ecológico



La biología del *Aedes aegyptis* lo describe como el principal vector de las enfermedades de Fiebre Amarilla, Dengue, Chikungunya y Zika en las Américas. Existen varias especies de *Aedes*. Entre las subespecies se incluyen: *Stegomyia*, *Arbopictus* y el *Scutellaris*. El *Ae.* habita en las regiones tropicales y subtropicales del mundo y es un mosquito mayormente urbano. El ciclo de

vida comprende: los huevos, el estado larval, un estadio de pupa y la etapa de adulto. Sus huevos son de 1 mm, se depositan en aguas claras y estancadas, se desarrollan en 48 horas en temperaturas altas y 5 días en bajas. Resisten la desecación por meses. Las etapas de larva y de pupas son exclusivamente acuáticas. Se alimentan de materia orgánica existente en los recipientes. La etapa larval dura de 7 a 14 días, mientras la etapa de pupa dura de 2 a 3 días.

En la etapa de adulto el Ae es un mosquito oscuro con bandas blancas. El macho se distingue de la hembra por sus antenas plumosas. La hembra es la que pica. Ambos sexos suelen aparearse y en 24 horas estar listo para la picadura o absorción de sangre. Un apareo es suficiente para que la hembra continúe poniendo huevos. La hembra vuela contra el viento y prefiere los humanos para picar. Es atraída por los olores y gases del huésped. La sangre absorbida provee para el crecimiento de los huevos. Una vez liberados los huevos vuelve a picar. El rango de vuelo normal es de 50 metros. Entran en reposo en sitios oscuros y tranquilos. Viven en el ambiente por unas pocas semanas. Mientras que en un laboratorio pueden vivir varios meses.

El Dengue

El dengue es una enfermedad transmitida por la picadura del mosquito *Aedes aegypti* y el *Aedes albopictus*. Este mosquito tiene que poseer el virus del dengue del cual existen 4 serotipos. El dengue fue descrito por primera vez en 1780 por Benjamin Rush en Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos de América. Los síntomas pueden aparecer luego de los 3 a 14 días. Esta enfermedad ha afectado a millones de personas. Actualmente es un problema serio de salud pública para las poblaciones del Caribe. La enfermedad del dengue existe en Puerto Rico desde cerca del año 1963. A partir de ese año las personas en Puerto Rico sufren de dengue todos los días ya que es una enfermedad endémica. El departamento de Salud de Puerto Rico y el "Centers for disease Control and prevention" (CDC por su siglas en inglés) determinaron que en Puerto Rico hubo 5 años epidémicos.

Los años epidémicos fueron los siguientes: el 1994 para un total de 24,700, el 1998 para un total de casos de 17,000, el 2007 para un total de 10,508 y el año 2010 para un total de 26,766 casos. Todos estos casos se analizaron en un laboratorio y el 47% resultó positivo. Estudios previos han demostrado que el aumento en las temperaturas ha causado que la incubación de los mosquitos disminuya. Estudios realizados por el Dr. Pablo Méndez Lázaro (2014, pp. 9409) han demostrado una correlación entre la época de lluvia y los casos de dengue en Puerto Rico. Estos datos demuestran que la temporada de dengue para Puerto Rico refleja un pico mayormente en los meses de octubre.

Según el Centro de Control de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés), tanto el dengue como el dengue hemorrágico son causados por uno de cuatro serotipos de virus estrechamente relacionados, pero antigénicamente distintos (DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4), del género *Flavivirus*. La infección por uno de estos serotipos crea inmunidad de por vida solamente contra ese serotipo, por lo cual las personas que viven en un área donde el dengue es endémico pueden contraer más de una infección por dengue en el transcurso de su vida. La enfermedad es de distribución mundial, sin embargo, es endémico de la región tropical y subtropical entre los 30 grados al norte y los 40 grado al sur del ecuador. Es endémico del sur y este de Asia, el Pacífico, el este y oeste de África, el Caribe y las Américas (CDC, 2009).

En Puerto Rico el dengue es considerado un problema de salud pública debido a que está presente todo el año con variaciones en la intensidad. En años donde no ocurren epidemias se reportan entre 3,400 y 7,000 casos. De la misma manera, es importante señalar que es muy difícil eliminar o controlar el vector ya que este se adapta muy bien a cualquier ambiente y se reproduce con mucho éxito en Puerto Rico. Además, tiene la habilidad de reponerse fácilmente de fenómenos naturales o intervención humana. De la misma manera los huevos tienen

la habilidad de resistir la desecación y sobrevivir hasta por dos meses sin agua. Su capacidad de recuperación es tal que si por ejemplo se eliminaran todas las larvas, pupas y adultos de un lugar, la población se recuperaría en dos semanas gracias a los huevos que ya habían sido depositados (CDC 2009).

En Puerto Rico los casos de dengue son informados semanalmente al Sistema de Vigilancia de Dengue del Center for Disease Control. Según los datos compilados para el año 2003 la Figura 2 y la tabla (Tabla 1) muestran claramente una tendencia al aumento de casos en los meses de septiembre y octubre que se inicia desde el mes de junio alcanzando su máximo en septiembre.

Al buscar las tasas de cada región se puede determinar cuáles son las regiones de salud más afectadas por el dengue. En la Tabla 2, que muestra las tasas crudas por región, se presenta el total de casos de dengue ocurridos desde el año 2003 al 2008, ajustados a la población existente en ese momento según el censo. Se puede

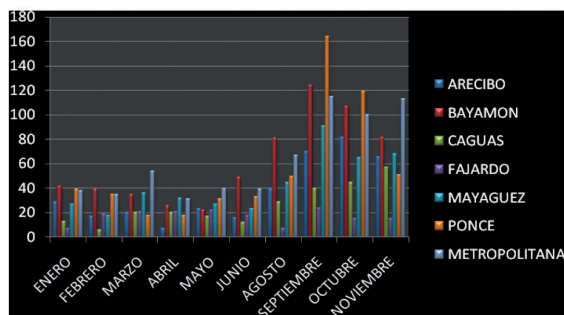
de observar que existen variaciones entre las regiones a través de los años. Sin embargo, no se debe perder de vista como en todas las regiones, excepto Fajardo, se registraron un aumento considerable en el número de casos para el año 2005. De la misma manera en el 2007 (Figura 3) ocurrió un aumento aún más drástico en el número de casos pero esta vez en todas las regiones. Se puede observar también que la región de Fajardo es la menos afectada en el 2005 pero es la más afectada en el 2007 esto se puede deber a un fallo en cuanto al control del vector, un deterioro en la prevención o quizá un aumento en la cantidad de precipitación para esa región en específico. Es interesante notar que la región metropolitana siempre tuvo la mayor cantidad de casos de dengue sin embargo al ajustarlo a la población iguala a la región de Ponce (Seguinot, 2012, pp.1-50).

En la Figura 4 se presentan el total de casos de dengue ocurridos desde el año 2003 al 2008 según las tasas crudas existente en ese momento. En la gráfica se puede observar que existen variaciones entre las regiones a través de los

Tabla 1: Número de casos de Dengue por región de Salud para el año 2003

2003											
REGION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	Sum Region
RECIBO	29	17	20	7	23	16	39	70	82	66	369
YAMON	42	39	35	26	22	49	81	124	107	82	607
AGUAS	13	6	20	20	17	12	29	40	45	57	259
FAJARDO	7	19	21	21	22	18	7	24	15	15	169
AYAGUEZ	27	18	36	32	27	23	45	91	65	68	432
PONCE	39	35	18	18	31	33	50	164	119	51	558
METROPOLITANA	38	35	54	31	40	39	67	115	100	113	632
Sum Mensual	195	169	204	155	182	190	318	628	533	452	3026

Figura 2.



La grafica muestra claramente una tendencia al aumento de casos en los meses de septiembre y octubre que comienza desde el mes de junio alcanzando su máximo en septiembre

Fuente: Sistema de Vigilancia de Dengue, CDC, 2009

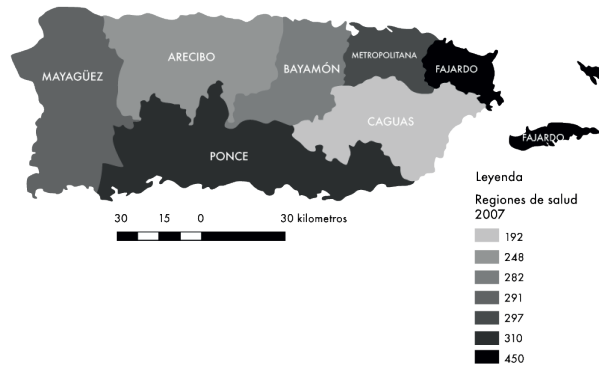
Tabla 2: Tasas regionales de casos de dengue por cada 100,000 habitantes.

Región de salud	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Arecibo	77.54	125.66	149.25	98.23	246.50	109.08
Bayamón	95.88	71.15	242.17	61.61	281.65	94.32
Caguas	44.25	57.18	81.03	76.72	191.75	69.83
Fajardo	116.36	80.09	64.70	105.69	449.80	103.55
Mayagüez	77.13	62.24	134.06	53.77	291.33	46.89
Ponce	93.16	66.65	161.63	58.28	309.61	46.74
Metropolitana	71.87	116.89	134.59	92.68	297.28	79.86
Total	576.20	579.85	967.42	546.98	2067.91	550.26

Fuente: Sistema de Vigilancia de Dengue, CDC, 2009

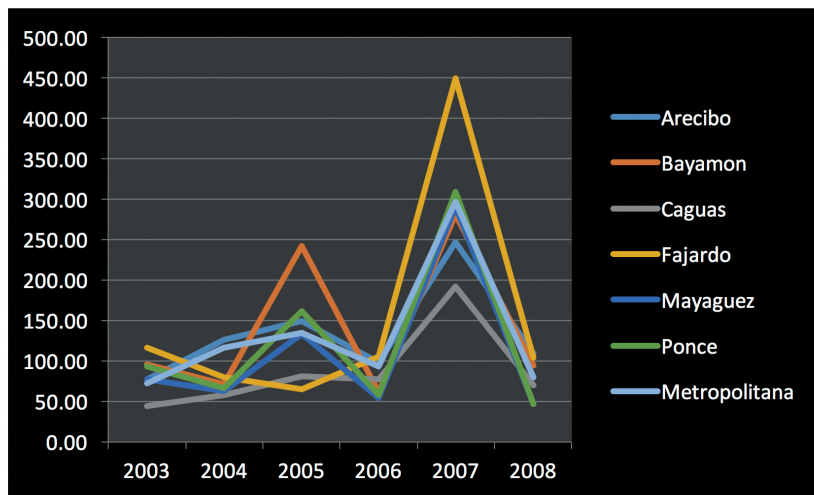
Figura 3

Tasas del dengue por cada 100,000 habitantes
Puerto Rico, 2007



Fuente: Sistema de Vigilancia de Dengue, CDC, 2009. © J.Seguino, 2009

Figura 4



Fuente: Sistema de Vigilancia de Dengue, CDC, 2009.

años. Sin embargo, igualmente se puede ver como en todas las regiones, excepto Fajardo, se vio un aumento considerable en el número de casos para el año 2005. De la misma manera en el 2007 ocurrió un aumento aún más drástico esta vez reflejado en todas las regiones.

De los análisis realizados podemos concluir que el dengue es el producto directo de condiciones climáticas donde prevalecen una alta humedad y precipitación, asociada también a altas temperaturas. Por eso el dengue siempre ha sido propio de lugares tropicales, aunque con los cambios climáticos hoy día puede presentarse en países tan templados como la Argentina. En Puerto Rico los brotes de dengue han estado asociados con años de calentamiento térmico siendo el 2005 y el 2007 los más representativos.

Igualmente son los meses de julio a noviembre donde se presentan la mayor cantidad de casos. Esto coincide con nuestra época lluviosa y con el periodo donde se presentan la mayor cantidad de huracanes. Por el contrario, la presencia de frentes fríos que generalmente coincide con los meses de diciembre a febrero disminuye la posibilidad del desarrollo de condiciones que originan el mosquito transmisor del dengue. A base de la realidad que reflejan los datos estudiados para Puerto Rico podemos concluir que el dengue en definitiva es una de las enfermedades más asociadas a los cambios climáticos globales y locales y que Puerto Rico no ha sido la excepción a esta norma.

El Zika

El virus del Zika fue descubierto en la selva Zika que se localiza en el país africano de Uganda, específicamente, en la región de Entebbe en ese país (Dick, 1952, pp. 509-520; Kaddumukasa, 2014, pp. 104-113). El virus fue hallado a través de un vector, en este caso, el mosquito *Aedes africanus* y en los componentes sanguíneos de unos ejemplares de monos de tipo Rhesus en 1947. Durante el proceso inicial de descubrimiento en la sangre de los monos Rhesus fue diferenciado de otros arbovirus como los virus

que producen la fiebre amarilla y el que produce la fiebre del dengue.

Aunque no había sido del todo desconocido que el Zika había estado en el África tropical y también en partes tropicales de Asia oriental, aun no se pensaba que fueran cepas distintas y se desconoce cómo ocurrió estos cambios moleculares para tener al final dos cepas distintas del virus del Zika; así en Camboya y en algunos sitios de Vietnam se había registrado del virus del Zika, la cepa asiática, en las década del 1970, e incluso ya en las cercana Malasia, isla Yap e islas Micronesias (Haddow, 2012, pp. 1477). Ya entrando la década de 1980 el virus Zika sigue un recorrido imparable hacia el este, aparece en 1983 en las islas que comprenden la nación de Indonesia; el caso en Java, Indonesia ocurrió en su temporada alta de mosquitos, al final de la temporada de lluvia, el cual prevalece es el *Aedes aegypti* (Olson, 1981, pp. 389-393). Los síntomas fueron tan comunes a los del dengue que no se diferenciaban en demasía uno del otro. Fiebres, artralgias, mareos, cefaleas, anorexias y un eczema maculopapular (Hamel, 2016, pp. 441-449) eran, entre otros, los síntomas más comunes en estos pacientes afectados en la isla indonesia de Java. Luego de estos brotes, el tema del virus del Zika se esfumó entonces de la observación científica hasta entrado el nuevo milenio.

No fue hasta 2007 cuando reaparece el virus de Zika en la región de las islas de la Federación de las islas Micronesia y otras, entre ellas, en la isla de Yap. El brote epidémico se dio con unos síntomas en 14 pacientes con artralgia, conjuntivitis y un eczema corporal. Se intentó identificar la causa y las pruebas, que no eran específicas para detectar al virus del Zika, dio positivo a anticuerpos IgM de un tipo de dengue no conocido anteriormente, pero luego se descarta que era por el virus de la fiebre del dengue por el ARN (RNA, por sus siglas en inglés) que no era indicativo de un virus del dengue (Duffy, 2009 pp. 2536-2543). Otras islas en específico afectadas por el virus del Zika fueron New Caledonia, Poli-

nesias Francesas y la Islas Cook, las cuales habían estado sufriendo concurrentemente tres brotes de dengue, Chikungunya y Zika; y como vector el mosquito *Aedes* spp. (Roth et al., 2014).

El virus llega al continente suramericano en 2014 al 2015 y se extiende por Brasil. La transmisión "autóctona" del Zika fuera del continente africano y de las islas del Pacífico tomó por sorpresa a la comunidad científica debido a la previa ausencia de episodios epidémicos en este continente y por la poca información científica relacionada al mismo (Hamel, 2016, pp. 441–449). En 21 de octubre de 2015, la Organización Mundial para la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) reportaron en un comunicado de vigilancia a respuesta de emergencias que lee que el extraño entonces virus del Zika había llegado a Brasil y detectado también en Colombia ("Emergencias preparedness, response Zika virus infection – Brazil and Colombia," 2015). Esta es la primera vez históricamente que el virus del Zika había llegado al continente de las Américas. A partir de ese momento, el virus del Zika tomó una dirección ascendente, viajando con el vector *A. Aegypti* ha todo el continente y luego a las Antillas Menores, Antillas Mayores, América Central y finalmente a los Estados Unidos de América con la Florida como el primer estado en anunciar contagios locales autóctonos en el verano de 2016. En el caso de los EE.UU. cabe explicar, que si tomamos la prioridad comenzando no por los estados sino por sus territorios entonces el territorio norteamericano de Puerto Rico detectó el virus del Zika de forma autóctona en el mes de diciembre de 2015.

Dado el rápido ascenso en los casos de enfermos por Zika en las Américas, la OMS la ha considerado una nueva enfermedad infecciosa emergente (Hamel, 2016, pp. 441–449). A la vez, por las razones dadas antes, permanece siendo un virus desconocido si los comparamos con otros arbovirus como la fiebre amarilla, dengue, Chikungunya, virus del Nilo Occidental.

El modo de transmisión de este virus de persona a persona se entiende que ocurre principalmen-

te con la participación de un vector artrópodo, en este caso es el *Aedes aegypti*. Aunque se han identificado históricamente otras especies de mosquitos que pican sólo a monos Rhesus o ciclo selvático, o a humanos, inclusive a aves como los *Culex* sp. (Rabaan, 2016, pp.1-9). Así se ha identificado desde hace mucho tiempo que el mosquito *Aedes* spp. vector del virus del Zika pica a seres humanos para alimentarse y continuar su proceso de ciclo de vida, a su vez, al picar, pasa este virus a células epidemiales humanas desde las glándulas salivares del mosquito. De ahí el virus va profundizando al torrente sanguíneo humano buscando células que le permitan el desarrollo de su infección para así seguir replicando este modelo de infección de célula humana a célula humana hasta que la lucha entre el virus y el sistema inmunológico humano logra detener ese ciclo viral infeccioso (Caylà, 2016; Soares de Oliveira-Szejnfeld et al., 2016; "Special Report Zika Virus and Birth Defects — Reviewing the Evidence for Causality," 2016; Tu-Xuan Nhan, 2015; "Update: Ongoing Zika Virus Transmission — Puerto Rico, November 1, 2015–July 7, 2016,"). Se ha categorizado y estudiando las distintas vías de transmisión del virus a través del mismo mosquito, por vía sexual, sea seminal o vaginal, por saliva y hasta por la leche materna (Grischott, 2016, pp. 313–330).

El primer caso de relación entre la transmisión no selvático del virus del Zika, fue la de transmisión sexual por vía del semen de un varón estadounidense que infectó de Zika a su esposa luego de haber llegado de Senegal, África (Grischott, 2016, pp. 313–330). El CDC luego estudió este caso y había recomendado el uso de la abstinencia o el condón a varones que hayan visitado zonas con transmisión activa del Zika durante 60 días y que luego fue extendido hasta 90 días (JT, 2016). La transmisión sexual vía líquidos vaginales fue también expuesta como posible de algunas infecciones desde mujeres a hombres y de mujeres a mujeres también han aparecido en la literatura científica recientemente. En consecuencia, ha habido casos también entre infección entre varones homosexuales vía semi-

nal, así que aunque aún el mecanismo de enfermedad se desconozca se hace importante promover el uso de condones y otras maneras de seguridad a la hora de tener relaciones sexuales y así detener el impacto de nuevas infecciones del virus mediante estas vías de transmisiones sexuales (Grischott, 2016, pp. 313–330).

Uno de las vías de transmisiones es particularmente importante para las mujeres en edad de embarazo, pues el Zika puede pasar la barrera cordón umbilical y placenta y allegar al feto en desarrollo (Grischott, 2016, pp. 313–330). Se cree que se aloja en las células umbilicales llamadas fibroblastos (Malone, 2016; Rabaan, 2016, pp. 1–9) que migran luego a los tejidos fetales, de ahí puede recorrer los tejidos nerviosos-neurológicos en desarrollo del feto o del embrión según sea la semana del contagio. Se ha visto que mientras más temprano es el contagio de la madre embarazada, es decir en las primeras semanas que componen el primer trimestre de embarazo, mayor es el daño neurológico podría presentar el feto y mayor sería un cuadro de sufrir la madre un aborto espontáneo (“Correspondence Prolonged Shedding of Zika Virus Associated with Congenital Infection,” 2016; Soares de Oliveira-Szejnfeld, 2016).

Algunas otras presencias de carga viral se han visto en la saliva de los infectados, en la leche materna y en la orina, pero no se ha podido concluir que sean vías de transmisión infecciosa (“Correspondence Prolonged Shedding of Zika Virus Associated with Congenital Infection,” 2016, Soares de Oliveira-Szejnfeld et al., 2016). Sólo ha ocurrido un par de casos por infección de Zika a neonatos nacidos sin el virus por una madre infecciosa por la leche materna, se sugiere que se siga investigando esta probabilidad o si es en casos muy raros, estos casos fueron detectados en las islas de la Polinesia Francesa (Grischott, 2016, pp. 313–330). Recientemente, se ha ido comprobando que otro vehículo de transmisión no arbórea del Zika es a través de la sangre, en especial en los bancos de sangres o de alguno de sus componentes y en hombres

con sangre en la esperma (“Emergencies preparedness, response Zika virus infection – United States of America - Puerto Rico,” 2016). En los EE.UU, incluyendo a Puerto Rico, se está cribando y analizando toda donación de toda sangre a nivel de todas las jurisdicciones sanitarias para la detección del virus y evitar su transmisión por este modo (Rasmussen, 2016, pp. 1981–1987).

En cuanto a la sintomatología específica del virus del Zika se destaca que un 80% de los infectados no presenta ninguna sintomatología según el CDC. De los infectados y que sí presentan síntomas se menciona que a partir del período de incubación, determinado como desde que el virus accede por las distintas vías de transmisión mencionadas, más comúnmente la vía del vector mosquito, tarda desde 3 a 12 días en presentarse según el CDC. Entre las mismas es una fiebre moderada, menor que la fiebre causada por el dengue, muy parecida a la fiebre de otros arbovirus; incluyen además eczema maculopapular, mialgias, artralgias, dolor de cabeza y una conjuntivitis o dolor retro-ocular (MacNamara, 1954, pp. 139–145). Los síntomas van desapareciendo en su totalidad alrededor de 2 semanas.

Sin embargo, luego de estas dos semanas de remisión de síntomas, en adultos se ha visto un inusual aumento de casos del raro síndrome de Guillain-Barré en las zonas afectadas por esta epidemia comenzándose a detectar inicialmente en las islas Micronesias y Brasil (Caylà, 2016). También se vio un aumento inusual en casos de microcefalia en fetos infectados en su primer trimestre el cual es tan severo que levantó la alarma de la OMS en febrero de 2016 (Plourde, 2016, pp. 1185–1192).

El virus del Zika en Puerto Rico, transmitido principalmente por el vector *Ae. aegypti*, había llegado para el mes de noviembre de 2015 con el caso confirmado en la semana epidemiológica 1 para el 2016, el 31 de diciembre de 2015, por las autoridades del Departamento de Salud de la isla en coordinación con los Centros de Enfermedades y Control en Atlanta (CDC) (“Emergen-

cies preparedness, response Zika virus infection – United States of America - Puerto Rico,” 2016). Hasta la semana epidemiológica número 40, el Departamento de Salud de Puerto Rico había comunicado públicamente que habían 29,755 casos confirmados de Zika en Puerto Rico, y de esa población habían 2,313 mujeres embarazadas. A la vez, en esa misma semana, el Departamento de Salud de Puerto Rico comenzó a divulgar activamente el Sistema De Vigilancia Activa del Zika en embarazos (SVAZE).

Este sistema será útil para detectar o darle de forma regular seguimiento a los bebés que nazcan de estas madres en su desarrollo hasta que cumplan un año de edad, en algunos casos, hasta que tengan edad pre-escolar. SVAZE está consciente que habrá casos graves de microcefalia severa por infección de Zika, y peor aún, daños neurológicos desarrollados, que no son visibles ni medibles al momento de que nazcan todos los bebés expuestos al Zika. Según el autor Niishiura la probabilidad estimada de que un bebé tenga microcefalia severa en una madre con infección de Zika en sus primer trimestre puede ser de hasta un 30%, menor que una mujer infectada con rubeola y no haya sido inmunizada. Pero hasta el momento, no se conoce ninguna vacuna para inmunizar a la población por este virus aunque se están realizando diferentes investigaciones clínicas de vacunas en Puerto Rico como se menciona en (Jimenez, 2016, pp. 1-10).

En el año 2016 se reportaron unos 70,957 de los cuáles 38,461 fueron confirmados como casos positivos. De estos 3,050 eran casos de mujeres embarazadas. De ellas 316 tuvieron que ser hospitalizadas y 5 fallecieron. Se reportaron 68 casos de que sufrieron el síndrome Guillain Barré. Las regiones de salud más afectadas fueron Ponce, San Juan y Bayamón (Departamento de Salud de Puerto Rico, Programa de Vigilancia de Dengue, Zika y Chikungunya de Puerto Rico, 2017)

El Chikungunya

La fiebre chikungunya es una enfermedad viral emergente descrita por primera vez durante un

brote en el sur de Tanzania en 1952. Desde entonces ha infectado a millones de personas en el mundo y sigue causando epidemias en varios países del sudeste de Asia, África y Oceanía. A finales de 2013, fue introducida en la región de las Américas donde ya ha ocasionado epidemias importantes en diferentes países. La fiebre Chikungunya es una de las denominadas enfermedades “olvidadas” o “desatendidas”, que empezaron a reemerger debido a factores determinantes como el cambio climático, la mutación viral, la urbanización desorganizada con acceso deficiente a fuentes de agua que obliga a almacenarla en recipientes mal tapados o dejados a la intemperie, la diseminación de los vectores y el desplazamiento de las personas en el mundo. El Chikungunya ha provocado un impacto a nivel económico y social, principalmente en la calidad de vida de la población. Las muertes relacionadas a la infección Chikungunya son raras, pero la mayoría de los individuos afectados presentan secuelas a largo plazo.

Uno de los efectos más significativos del cambio climático hoy día es el aumento de las enfermedades por vectores como el dengue, la malaria, fiebre amarilla y Chikungunya. Éste último es de las más recientes epidemias a nivel mundial que ha provocado la preocupación de muchos (Revista Virtual REDESMA Cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: el análisis, 2000). Además, se ha corroborado que el clima influye en los vectores de enfermedades de muchas maneras, desde el control de la duración de su ciclo de vida hasta sus condiciones de reproducción (SciDev, 2014). Incluso, el calentamiento global ha permitido que los vectores se propaguen en áreas donde anteriormente no eran capaces de vivir (SciDev, 2014) e incide directamente en la duración e intensidad de los brotes de enfermedades (Ize, 2007). Por otro lado, la vulnerabilidad de la población a los efectos de los eventos climatológicos extremos está aumentando debido al crecimiento acelerado de la población, al aumento en los asentamientos humanos y la pobreza persistente (Ize, 2007).

Los vectores de sangre fría como los mosquitos son extremadamente sensibles a los efectos directos del clima como temperatura, patrones de precipitación y viento, ya que influyen en su comportamiento, desarrollo y reproducción. Si el cambio climático aumenta la longevidad, aumenta la reproducción, aumenta la frecuencia de piquetes de estos insectos en la población o altera sus rangos de distribución, puede ocurrir un aumento en la cantidad de gente infectada (Ize, 2007).

La palabra “Chikungunya” proviene de la lengua africana makonde, que significa “doblarse” en alusión a la postura encorvada que tienen los pacientes por el dolor. Este virus fue detectado por primera vez en Tanzania, África en 1952. A finales del 2013, se detectó por primera vez en islas del Caribe. A partir de 2004, se han reportado brotes intensos y extensos alrededor del mundo. En 2007 el virus ocasionó un brote en Italia, en la región de Emilia-Romagna por viajeros que regresaron a Italia luego de visitar África (OMS, 2014).

La fiebre chikungunya es un virus ARN que pertenece al género *Alfavirus* de la familia *Togaviridae*. Se caracteriza por la aparición súbita de fiebre alta, generalmente acompañada de dolores articulares, dolores musculares, dolor de cabeza, náuseas, vómitos, cansancio extremo y diarrea (OMS, 2014). Algunos pacientes se recuperan rápidamente, pero la mayoría padece estos fuertes dolores por varios meses, incluso años. Dicha enfermedad es transmitida al ser humano por mosquitos infectados de la familia *Aedes* como el *Aedes albopictus* y *Aedes aegypti*. La enfermedad suele aparecer entre 4 y 8 días después de la picadura del mosquito infectado (Paho, 2014).

El *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* son el mismo mosquito que produce la enfermedad del dengue y por lo general pican bien temprano en la mañana o en altas horas de la tarde. El *Aedes aegypti* se encuentra mayormente en las zonas tropicales y subtropicales. A diferencia del

Figura 5. Imagen del mosquito *Aedes aegypti* a la izquierda y *Aedes albopictus* a la derecha.



Fuente: Sistema de Vigilancia de Dengue, CDC, 2009.

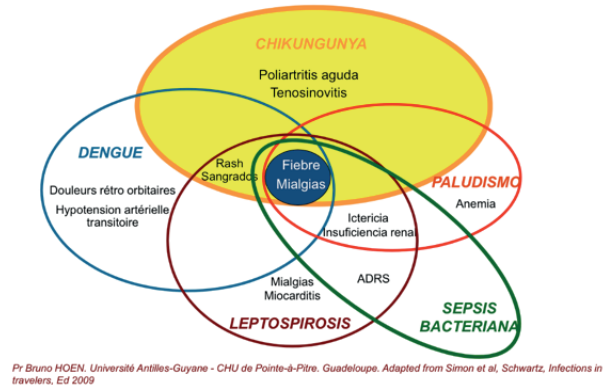
Aedes aegypti, la especie *Aedes albopictus* tiene la capacidad de prosperar en varios tipos de ambientes que le sirven como criaderos, tales como cáscaras de coco, vainas de cacao, tocónes de bambú, huecos de árboles, además de depósitos artificiales como neumáticos de vehículos, entre otros. Esta diversidad de hábitats explica la abundancia de *Aedes albopictus* en zonas rurales y periurbanas y en parques urbanos sombreados. Por otro lado, *Aedes aegypti* está más estrechamente asociado a las viviendas y tiene criaderos en espacios interiores, por ejemplo en floreros, recipientes de agua y tanques de agua en baños, además de los mismos hábitats exteriores artificiales que *Aedes albopictus* (Paho, 2014).

El *Aedes aegypti* presenta hoy en día una distribución mundial en los trópicos. Su creciente expansión no solamente ha ocurrido a consecuencia de la existencia de climas progresivamente más cálidos y húmedos, si no también promovida por una creciente urbanización no planificada, especialmente en países en vías de desarrollo, cuyas ciudades ofrecen hábitats idóneos para el desarrollo de larvas de mosquitos. Tal es la situación en América Latina, donde un número considerable de personas viven en comunidades altamente urbanizadas, con redes sanitarias deficientes y medidas de control vectoriales insuficientes. Tan alta concentración de personas conviviendo en espacios geográficos relativamente pequeños aumenta la masa crítica de transmisibilidad de enfermedades provocadas por *Aedes aegypti* (Cerdeira, 2008, pp.447-452).

Todos los individuos no infectados previamente con el virus Chikungunya están en riesgo de adquirir la infección y desarrollar la enfermedad. Se cree que una vez expuestos a la condición, los individuos desarrollan inmunidad prolongada que los protege contra la reinfección (Paho, 2014). Entre las poblaciones en mayor riesgo se encuentran los niños/as, personas de edad avanzada mayores de 65 años, mujeres embarazadas y personas que padecen otras condiciones de salud.

No existe ninguna vacuna ni medicamento para aliviar el virus. El tratamiento consiste principalmente en aliviar los síntomas, entre ellos el dolor articular y fiebre con medicamentos que no contengan aspirina. Se recomienda reposo, hidratación oral y lociones a base de óxido de zinc para tratar la picazón.

Figura 6. Diagnósticos diferenciales del Chikungunya



Pr Bruno HOEN, Université Antilles-Guyane - CHU de Pointe-à-Pitre, Guadeloupe. Adapted from Simon et al, Schwartz, Infections in travelers, Ed 2009

Algunos síntomas del Chikungunya son iguales a los del dengue por lo que tiende a confundirse. La Tabla 3 muestra algunas de las diferencias entre el Dengue y el Chikungunya.

La principal estrategia de prevención y control es la educación. No se debe acumular agua en los recipientes exteriores, utilizar aire acondicionado, instalar telas metálicas en las ventanas y puertas, utilizar repelente de mosquito, usar ropa que cubra la piel (pantalones largos y manga larga), evitar viajar a zonas con brotes del virus y si está infectado evitar la picadura de los vectores para ayudar a prevenir una mayor propagación del virus Chikungunya. Por otro lado, es sumamente necesaria la intervención del estado para trabajar con este problema. Durante los brotes se pueden aplicar insecticidas, ya sea por vaporización, para matar los mosquitos en vuelo, o bien sobre las superficies de los depósitos o alrededor de éstos, donde se posan los mosquitos; también se pueden utilizar insecticidas para tratar el agua de los depósitos a fin de matar las larvas inmaduras. Además, se deben apoyar los programas de control de vectores y cada uno de los ciudadanos puede aportar su granito de arena.

De los aspectos positivos del tema se puede mencionar que aunque el Chikungunya es una enfermedad reciente y ha sorprendido a todos, se le está dando continuo seguimiento tanto al vector como al patógeno. La población debe hacer

Tabla 3: Diferencias entre el dengue y el Chikungunya

Hallazgo	Chikungunya	Dengue
Fiebre	Si, más prolongada y puede ser más alta	Si
Inicio	Más agudo	Evolución más tórpida
Exantema maculopapular	Más frecuente	Menos frecuente
Días que aparece el rash	Del 1° al 4° día	Del 5° al 7° día
Dolor retroorbitario	Ausente	Presente
Artralgias con Artritis	Constante +++	Ausente
Mialgias	Presentes pero leves	Presente +++
Tenosinitis	Puede haber	Ausente
Hipotensión	En pacientes con fiebre que no ingieren líquidos	Grave por extravasación
Sangrado (Shock o hemorragia grave)	Muy frecuente	Puede presentarse
Hematocrito	Normal	Elevado por hemoconcentración
Trombocitopenia	Temprana y leve	Tardía e importante

conciencia de que pueden seguir surgiendo nuevas enfermedades a raíz del cambio climático. Por otro lado, gracias a la investigación, existe hoy día conocimiento científico de un vector que no se le había dado tanta importancia. . Éste es un vector inmigrante que transmite enfermedades y que el ambiente le permite sobrevivir en Las Américas. Por otro lado, entre los aspectos negativos del tema se encuentra la poca documentación científica de la fiebre Chikungunya, además del gran impacto que provoca en nuestra salud debido al desconocimiento y el aumento de la vulnerabilidad del país en enfermedades no endémicas, lo que nos indica que podemos ser vulnerables a otras similares que se presenten en el futuro. Para prevenir y trabajar con enfermedades como éstas se recomienda mejor documentación, más investigación y la creación e implantación de programas de control y prevención efectivos para todo el mundo.

En el año 2015 para toda la isla de Puerto Rico se reportaron unos 1,043 de los cuáles 216 fueron confirmados como casos positivos. De éstos solo 1 persona falleció. Las regiones de salud más afectadas fueron San Juan y Bayamón (Departamento de Salud de Puerto Rico, Programa de Vigilancia de Dengue, Zika y Chikungunya de Puerto Rico, 2017).

Conclusiones

De acuerdo a los datos examinados podemos concluir lo siguiente:

El principal vector de las enfermedades Dengue, Chikungunya y Zika en Puerto Rico es el mosquito *Ae aegyptis*.

En Puerto Rico se han identificado los cuatro serotipos de dengue. Desde el más simple (D1) hasta el hemorrágico (D4).

Los años epidémicos de dengue en Puerto Rico fueron los siguientes: el 1994 para un total de 24,700, el 1998 para un total de casos de 17,000, el 2007 para un total de 10,508 y el año 2010 para un total de 26,766 casos.

En Puerto Rico el dengue es considerado un problema de salud pública debido a que está presente todo el año con variaciones en la intensidad. En años donde no ocurren epidemias se reportan entre 3,400 y 7,000 casos.

Según los datos de dengue compilados para el año 2003 se muestra claramente una tendencia al aumento de casos en los meses de septiembre y octubre que se inicia desde el mes de junio alcanzando su máximo en septiembre.

En Puerto Rico los brotes de dengue han estado asociados con años de calentamiento térmico siendo el 2005 y el 2007 los más representativos.

El virus del Zika en Puerto Rico llegó para el mes de noviembre de 2015 con el caso confirmado en la semana epidemiológica 1 para el 2016.

Para el año 2016 se reportaron unos 70,957 casos de los cuáles 38,461 fueron confirmados como casos positivos a Zika.

De estos 3,050 eran casos de mujeres embarazadas. De ellas 316 tuvieron que ser hospitalizadas y 5 fallecieron.

Se reportaron 68 casos de que sufrieron el síndrome Guillain Barré.

Las regiones de salud más afectadas por esta epidemia del Zika fueron Ponce, San Juan y Bayamón.

En el año 2015 para toda la isla de Puerto Rico se reportaron unos 1,043 casos de Chikungunya, de los cuáles 216 fueron confirmados como casos positivos. De éstos solo 1 persona falleció.

Las regiones de salud más afectadas fueron San Juan y Bayamón.

Referencias

Caylà, J. A., Domínguez, Á., Valín, E. R., de Ory, F., Vázquez, A., Fortuny, C., &

- Grupo de trabajo sobre Zika del Programa de Prevención, V. Y. C. de E. T. P. D. C. de E. Y. S. P. C. (2016). La infección por virus Zika: una nueva emergencia de salud pública con gran impacto mediático. *Gaceta Sanitaria*, 1–4. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.05.015>
- Cerda, J., Valdivia, G., Valenzuela, B., Teresa, M., & Venegas, J. (2008). Cambio climático y enfermedades infecciosas: un nuevo escenario epidemiológico. *Revista chilena de infectología*, 25(6), 447-452.
- Center for Disease Control and Prevention-CDC (2009) "Entomology and Ecology", Dengue Homepage. Recuperado el 13 de noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.cdc.gov/dengue/entomologyEcology/index.html>
- Correspondence Prolonged Shedding of Zika Virus Associated with Congenital Infection. (2016). Correspondence Prolonged Shedding of Zika Virus Associated with Congenital Infection, 1–3.
- Dick, G. W. A., Kitchen, S. F., & Haddock, A. J. (1952). Zika Virus (I). Isolations and serological specificity. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 46(5), 509–520. Disponible en: [http://doi.org/10.1016/0035-9203\(52\)90042-4](http://doi.org/10.1016/0035-9203(52)90042-4)
- Departamento de Salud de Puerto Rico, Programa de Vigilancia de Dengue, Zika y Chikungunya de Puerto Rico, (2017). Disponible en: <http://www.salud.gov.pr/Estadisticas-Registros-y-Publicaciones/Pages/VigilanciadeZika.aspx#arbov>
- Duffy, M. R., Chen, T.-H., Hancock, W. T., Powers, A. M., Kool, J. L., Lanciotti, R. S., et al. (2009). Zika Virus Outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia. *New England Journal of Medicine*, 360(24), 2536–2543. Disponible en: <http://doi.org/10.1056/NEJMoa0805715>
- Emergencies preparedness, response Zika virus infection – Brazil and Colombia. (2015, October 21). Emergencies preparedness, response Zika virus infection – Brazil and Colombia. Retrieved August 30, 2016, Disponible en: <http://www.who.int/csr/don/21-october-2015-zika/en/#>
- Emergencies preparedness, response Zika virus infection – United States of America - Puerto Rico. (2016, August 30). Emergencies preparedness, response Zika virus infection – United States of America - Puerto Rico.
- Grischott, F., Puhan, M., Hatz, C., & Schlagenhauf, P. (2016). Non-vector-borne transmission of Zika virus: A systematic review. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 14(4), 313–330. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.tmaid.2016.07.002>
- Haddock, A. D., Schuh, A. J., Yasuda, C. Y., Kasper, M. R., Heang, V., Huy, R., et al. (2012). Genetic Characterization of Zika Virus Strains: Geographic Expansion of the Asian Lineage. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 6(2), e1477–7. Disponible en: <http://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001477>
- Hamel, R., Liégeois, F., Wichit, S., Pompon, J., Diop, F., Talignani, L., et al. (2016). Zika virus: epidemiology, clinical features and host-virus interactions. *Microbes and Infection*, 18(7-8), 441–449. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.micinf.2016.03.009>
- loos, S., Mallet, H. P., Goffart, I. L., Gauthier, V., Cardoso, T., & Herida, M. (2014). Current Zika virus epidemiology and recent epidemics. *Medicine Et Maladies Infectieuses*, 44(7), 302–307. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.medmal.2014.04.008>
- Ize Lema Irina. (2007). Instituto Nacional de Ecología. Obtenido el 21 octubre 2014. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/367/cambioysalud.html>

- Jimenez, A., Shaz, B. H., & Bloch, E. M. (2016). Zika Virus and the Blood Supply: What Do We Know? *Transfusion Medicine Reviews*, 1–10. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.tmr.2016.08.001>
- JT, B., A, F., RE, K., M, L., PJ, P., & DJ, J. (2016, July 27). Update: Interim Guidance for Prevention of Sexual Transmission of Zika Virus — United States, July 2016. Disponible en: <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6529e2>
- Kaddumukasa, M. A., Mutebi, J. P., Lutwama, J. J., Masembe, C., & Akol, A. M. (2014). Mosquitoes of Zika Forest, Uganda: species composition and relative abundance. *Journal of Medical Entomology*, 51(1), 104–113. Disponible en: <http://doi.org/10.1603/ME12269>
- Liuzzi, G., Nicastri, E., Puro, V., Zumla, A., & Ippolito, G. (2016). Zika virus in saliva—New challenges for prevention of human to human transmission. *European Journal of Internal Medicine*, 33(C), e20–e21. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.ejim.2016.04.022>
- MacNamara, F. N. (1954). Zika virus : A report on three cases of human infection during an epidemic of jaundice in Nigeria. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 48(2), 139–145. Disponible en: [http://doi.org/10.1016/0035-9203\(54\)90006-1](http://doi.org/10.1016/0035-9203(54)90006-1)
- Malone, R. W., Homan, J., Callahan, M. V., Glasspool-Malone, J., Damodaran, L., Schneider, A. D. B., et al. (2016). Zika Virus: Medical Countermeasure Development Challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10(3), e0004530–26. Disponible en: <http://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004530>
- Méndez-Lázaro, P., Muller-Karger, F., Otis, D., McCarthy, M., & Peña-Orellana, M. (2014). Assessing Climate Variability Effects on Dengue Incidence in San Juan, Puerto Rico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(9), 9409–9428. doi:10.3390/ijerph110909409
- Musso, D., Nilles, E. J., & Cao-Lormeau, V. M. (2014). Rapid spread of emerging Zika virus in the Pacific area. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(10), O595–O596. Disponible en: <http://doi.org/10.1111/1469-0691.12707>
- Nagao Y, Thavara U, Chitnumsup P, Tawatsin A, Chansang C, Campbell-Lendrum D (2003): Climatic and social risk factors for Aedes infestation in rural Thailand. *Tropical Medicine & International Health*, 8: 650-659.
- Nishiura, H., Mizumoto, K., Rock, K. S., Yasuda, Y., Kinoshita, R., & Miyamatsu, Y. (2016). A theoretical estimate of the risk of microcephaly during pregnancy with Zika virus infection. *Epidemics*, 15, 66–70. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.epidem.2016.03.001>
- Olson, J. G., Ksiazek, T. G., Suhandiman, Triwibowo. (1981). Zika virus, a cause of fever in Central Java, Indonesia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 75(3), 389–393. Disponible en: [http://doi.org/10.1016/0035-9203\(81\)90100-0](http://doi.org/10.1016/0035-9203(81)90100-0)
- Paho.org. (2014). Chikungunya: un nuevo virus en la región de las Américas. Obtenido el 21 octubre 2014. Disponible en: http://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=1343:chikungunya-un-nuevo-virus-en-la-region-de-las-americas-
- Paho.org. (2014). Guía informativa sobre el chikungunya. Obtenido el 30 octubre 2014, Disponible en: http://www.paho.org/dor/images/stories/archivos/chikungunya/preguntas_chikungunya_mayo2014.pdf
- Plourde, A. R., & Bloch, E. M. (2016). A Literature Review of Zika Virus. *Emerging Infectious Diseases*, 22(7), 1185–1192. Disponible en: <http://doi.org/10.3201/eid2207.151990>

- Rabaan, A. A., Bazzi, A. M., Al-Ahmed, S. H., Al-Ghath, M. H., & Al-Tawfiq, J. A. (2016). Overview of Zika infection, epidemiology, transmission and control measures. *Journal of Infection and Public Health*, 1–9. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.05.007>
- Rasmussen, S. A., Jamieson, D. J., Honein, M. A., & Petersen, L. R. (2016). Zika Virus and Birth Defects — Reviewing the Evidence for Causality. *New England Journal of Medicine*, 374(20), 1981–1987. Disponible en: <http://doi.org/10.1056/NEJMSr1604338>
- Redesma, Andrew K. Githeko, Steve W. Lindsay Ulisses E. Confalonieri y Jonathan A. Paz (2000). El cambio climático y las enfermedades transmitidas por vectores: un análisis regional. Vol. 3(3), diciembre 2009 (Publicado en el Bulletin of the World Health Organization 2000, 78 (9): 1136-1147). Obtenido el 30 octubre de 2014. Disponible en: http://www.cebem.org/cmsfiles/articulos/REDES-MA_08_art03.pdf
- Roth, A., Mercier, A., Lepers, C., Hoy, D., Duituturaga, S., Benyon, E., et al. (2014). Concurrent outbreaks of dengue, chikungunya and Zika virus infections – an unprecedented epidemic wave of mosquito-borne viruses in the Pacific 2012–2014. *Eurosurveillance*, 19(41), 20929–8. Disponible en: <http://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2014.19.41.20929>.
- SciDev.Net América Latina y el Caribe. (2014). Nuevas claves en la transmisión de epidemias virales. Retrieved 30 October 2014. Disponible en: <http://www.scidev.net/america-latina/enfermedades/noticias/nuevas-claves-en-la-transmisi-n-de-epidemias-virales.html>
- Seguinot-Barbosa J. (2012), *Geografía Médica y de la Salud en el Contexto del Cambio Climático*, Editorial Académica Española, 50p., ISBN-978-3-659-04244-7.
- Sirohi, D., Chen, Z., Sun, L., Klose, T., Pierson, T. C., Rossmann, M. G., & Kuhn, R. J. (2016). The 3.8 Å resolution cryo-EM structure of Zika virus. *Science*, 352(6284), 467–470. Disponible en: <http://doi.org/10.1126/science.aaf5316>
- Soares de Oliveira-Szejnfeld, P., Levine, D., Melo, A. S. de O., Amorim, M. M. R., Batista, A. G. M., Chimelli, L., et al. (2016). Congenital Brain Abnormalities and Zika Virus: What the Radiologist Can Expect to See Prenatally and Postnatally. *Radiology*, 161584–16. Disponible en: <http://doi.org/10.1148/radiol.2016161584>
- Special Report Zika Virus and Birth Defects — Reviewing the Evidence for Causality. (2016). Special Report Zika Virus and Birth Defects — Reviewing the Evidence for Causality, 1–7.
- Tu-Xuan Nhan, D. M. (2015). Emergence of Zika Virus. *Clinical Microbiology: Open Access*, 04(05), 1–4. Disponible en: <http://doi.org/10.4172/2327-5073.1000222>
- Update: Ongoing Zika Virus Transmission — Puerto Rico, November 1, 2015–July 7, 2016. (2016). Update: Ongoing Zika Virus Transmission — Puerto Rico, November 1, 2015–July 7, 2016, 1–6.
- Ye, Q., Liu, Z.-Y., Han, J.-F., Jiang, T., Li, X.-F., & Qin, C.-F. (2016). Genomic characterization and phylogenetic analysis of Zika virus circulating in the Americas. *Emerging Infectious Diseases*, 43(C), 43–49. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.05.004>
- Who.int. (2014). OMS | Chikungunya. Obtenido el 21 octubre 2014. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/es/>

CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS FUTUROS DE LA EXPANSIÓN DEL DENGUE EN MÉXICO.

Carlos Contreras Servín
Alejandro Tovar García
Ma. Guadalupe Galindo Mendoza

Antecedentes

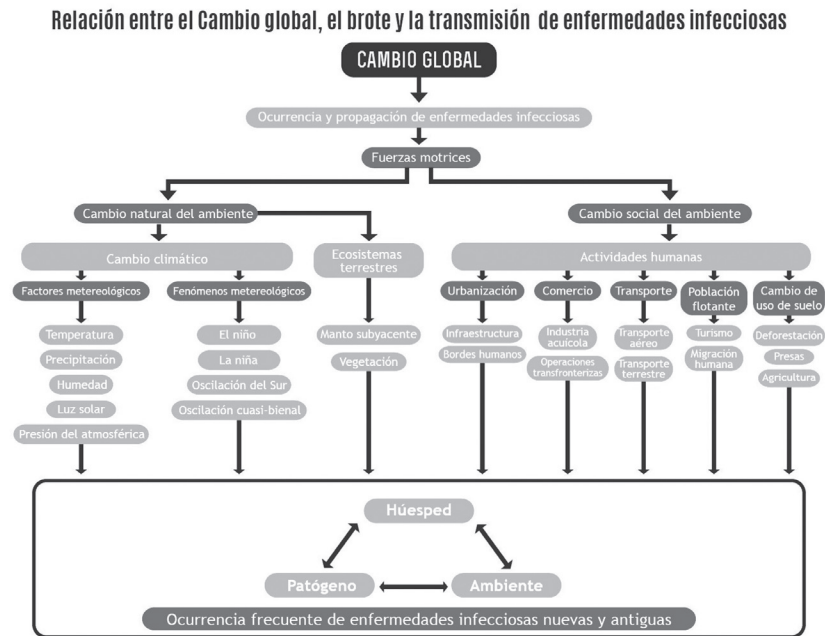
A escala global, los patrones estacionales de temperaturas y precipitaciones constituyen los factores principales para determinar la distribución de organismos en el espacio. Estudios recientes, demuestran que el cambio climático está modificando la distribución de las plagas y enfermedades tanto en el campo, como en la salud humana, y por lo mismo, es difícil prever todos los efectos de este cambio. Sin embargo, podemos decir que la sequía prolongada y el incremento constante de temperaturas, al igual que otros fenómenos derivados del calentamiento global, como ciclones y nortes más intensos, favorecerá de manera general la expansión y el establecimiento de epidemias en lugares en donde antes no se registraba su presencia. Sin embargo, solo hasta fechas recientes, se ha comenzado a relacionar los cambios periódicos y extraordinarios del clima y el modelo global de predicción del fenómeno de “El Niño” y su relación con una mayor expansión de plagas y enfermedades (Contreras y Galindo, 2014), esto se debe en gran parte a que los insectos llegan a adaptarse a combinaciones de las variables climáticas, aunque en el caso particular de los insectos, los brotes periódicos ocurren especialmente en áreas con cambios físicamente severos de las variables meteorológicas, lo cual se considera una de las causas del calentamiento climático, quedando demostrado que los brotes de insectos, tanto en zonas templadas como tropicales, han seguido a periodos de sequía, fuerte actividad de manchas solares o combinaciones de sequía y humedad excesiva (Legreve, A. y E. Duveiller, 2010). Los estudios recientes,

han demostrado cierta correlación entre la temperatura global y las nucleoproteínas, por ejemplo: el cambio global afectaría la evolución de arbovirus y los patrones de enfermedades emergentes (Gould et al., 2009).

Por otra parte, un número cada vez mayor de estudios sobre las enfermedades infecciosas emergentes señala a las alteraciones producidas en la cubierta vegetal y en la utilización de la tierra, entre ellas, los cambios de la cubierta forestal (en particular, la deforestación y la parcelación de los bosques) junto con la urbanización y el aumento de la actividad agrícola como principales factores contribuyentes a la aparición de enfermedades infecciosas. Efectivamente, el aumento actual coincide con el ritmo acelerado de deforestación tropical en las últimas décadas. Hoy en día, tanto la deforestación como las enfermedades infecciosas emergentes siguen asociándose en gran parte con las regiones tropicales pero con repercusiones que se extienden a nivel mundial. Ambas se entrelazan a su vez con cuestiones de desarrollo económico, utilización de las tierras y gobernanza (Wilcoxy y Ellis, 2006, p.12), exigiendo de este modo soluciones de carácter multidisciplinario, ver figura 1.

Por otra parte, los modelos de circulación general, pueden ser de utilidad para determinar la presencia, establecimiento y dispersión de vectores, a fin de simular escenarios futuros de las epidemias, aunque la mayoría de modelos de circulación general operan en grandes escalas de resolución. Sin embargo, persiste el reto de considerar la variabilidad del clima en la epidemiología de la enfermedad (Legreve

Figura 1



y Duveiller, 2010). Sin embargo, se ha comenzado a relacionar los cambios periódicos y extraordinarios del clima, para demostrar como el modelo global de predicción del fenómeno de El Niño coincide con un mayor número de vectores y enfermedades.

Origen y distribución de la enfermedad del Dengue

En el caso particular del mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), vector de los virus del dengue, tiene su origen en el cinturón tropical de África donde generalmente se encuentran las especies del subgénero *Stegomyia* (Salvattella, 1996). Esta especie se caracteriza por su preferencia por climas cálidos (de 15 a 40 °C) y con niveles de precipitación pluvial moderados y altos, donde se generan condiciones ambientales favorables para su reproducción (Caballero et al., 2006; Mora-Covarrubias et al., 2010). Por otra parte, el *Aedes aegypti*, es un mosquito cuyo origen se ubica en la región Etiópica, que nuclea la mayor cantidad de especies del subgénero *Stegomyia* Theobald, allí este mosquito es una especie silvestre, habitando libre del contacto con el hombre. Ancestralmente, desde esas áreas, inició una dispersión efectuada por el

hombre, que lo ha llevado a constituirse en un mosquito cosmopolita.

El dengue, determinado por un arbovirus asociado al ambiente urbano doméstico, a los hábitos de la población, a la carencia de servicios básicos como el suministro de agua, así como la falta de recolección de basura y desechos de la vivienda. El mosquito transmisor del dengue, *Aedes aegypti*, es un ejemplo de adaptación de una especie al ámbito humano, con criaderos, hábitats, fuente de alimentación y desplazamiento activos y pasivos ligados al entorno domiciliario. La importancia del conocimiento del mismo radica en que este padecimiento tiende a tornarse en cuadros severos con episodios hemorrágicos con choque, presentando una letalidad promedio del 5% en el ámbito mundial (Thirión, 2010).

Por lo tanto, la distribución de esta especie está impulsado en gran medida por las actividades humanas (por ejemplo, el almacenamiento de agua en el exterior) (Jansen y Beebe, 2010). Ancestralmente, desde esas áreas, inició una dispersión efectuada por el hombre, que lo ha llevado a constituirse en un mosquito cosmopolita. Su

presencia es o fue detectada en la mayor parte de las áreas tropicales o subtropicales, comprendidas entre los 45° de latitud norte y los 35° de latitud sur, en las zonas Isotermales intermedias a los 20° C. Estudios recientes sugieren que al cambiar el clima, aumenta la proliferación del mosquito *Aedes aegypti* (vector del dengue, chikungunya y zika), exponiendo unas 2 mil millones de personas adicionales a la transmisión del dengue en la década de 2080 (Hales et al., 2002).

El mosquito introducido en América, es una especie diseminada por el hombre por medio del transporte de sus adultos, huevos, larvas o ninfas en barcos, aviones y transportes terrestres. Sus hábitos son netamente antropófilos y domésticos, con radicación de criaderos en la vivienda o su peridomicilio (Consoli y De Oliveira, 1994). Por ende esta especie de mosquito se desarrolla en entornos urbanos que proporcionan con numerosos sitios de oviposición para poner sus huevos. Al igual que el *A. aegypti*, el *A. albopictus* también es trasmisor del dengue, ambas especies son nativas del Viejo Mundo y fueron introducidas en las Américas por acción del hombre. Actualmente *A. aegypti* se encuentra en todos los países de las Américas, excepto Bermuda, Canadá, Chile y Uruguay. Las primeras poblaciones de *A. albopictus* en las Américas se encontraron en 1985 en Texas, E. U. A., se presume que llegó por medio de envíos de neumáticos usados, importados del norte de Asia. Así mismo, *A. albopictus* se ha detectado recientemente en tres estados del norte de México (Savage y Smith, 1995; Patiño, 2001). Sin embargo, en América se ha producido un incremento progresivo de casos durante las tres últimas décadas (Marquetti et al., 1999; Vezzani et al., 2001; Kouri, 2006; Mora-Covarrubias et al., 2010).

Registro y establecimiento de la enfermedad del dengue en México

En México, los primeros brotes de dengue se registraron en 1941, cuando se notificaron 6,955 casos en toda la república. Posteriormente se registraron pocos casos, hasta su desaparición en 1963 gracias a la campaña de erradicación

del *Aedes* que mantuvo al dengue ausente durante 12 años. Sin embargo, en 1978 se reintrodujo en México vía Centroamérica a través de la frontera con Guatemala (Barba, 2014), donde aumentaron los casos a partir de 1980, lo que convirtió el dengue en uno de los problemas actuales más importantes de salud pública a nivel nacional (Torres et al., 2014). Posteriormente, en 1995 ocurre la primera epidemia de dengue hemorrágico. A partir de entonces, el número de casos de dengue ha aumentado y la incidencia pasó de 5,220 casos en 2003 a 40,559 en 2007. Aunque en la actualidad en México circulan los cuatro serotipos virales, el número de muertes por dengue se ha mantenido por debajo de 1% del total de casos de dengue hemorrágico. La OMS coloca a México como el país que ocupa el quinto lugar de incidencia en América Latina (Ramírez-Zepeda et al., 2009; Mora-Covarrubias et al., 2010).

El clima y su relación con el vector del dengue en México

Desde el punto de vista climático, variaciones sobre la precipitación que cae a lo largo del año o de varios años puede originar sequías, la importancia de este fenómeno se relaciona con el desarrollo y comportamiento de los vectores. Sin embargo, de todos los factores ambientales, el que ejerce un efecto mayor sobre el desarrollo de los insectos es, probablemente, la temperatura. Ello es debido principalmente a su importante incidencia sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquiloterms, es decir, adoptan la temperatura del ambiente (Pataki, 1972; Wallner, W.E. 1987). El incremento en la temperatura también favorece al aumento en las densidades de población de insectos. A mayor temperatura el ciclo de vida de los artrópodos se acorta, por lo que se pueden presentar mayor número de generaciones en un solo año. En términos fisiológicos, un insecto debe acumular cierta cantidad de calor para poder desarrollarse; este calor acumulado se mide en unidades que se denominan "grados-días" (Marco, 2001). El aumento de la temperatura en que se desarrolla una especie de insecto acelera su

tasa de desarrollo, y por consiguiente, aumenta el número de generaciones que tiene durante el año (Mejía, 2005). Desde luego, este comportamiento puede ser diferente en muchas especies, pero ocurre así de forma general (Brodsky y Naranjo, 1976). De cualquier manera, cuando una región se calienta a niveles extremos y en periodos prolongados, esto favorece la existencia y el desarrollo de determinadas especies, unas que aumentan significativamente sus poblaciones y otras que logran expandir su rango de presencia natural, colonizando nuevas regiones. Estas características climáticas pueden ser representadas gráficamente, por medio de un climograma. Observando las temperaturas medias mensuales y la amplitud térmica, se puede deducir las características estacionales de dicha área; analizando las precipitaciones, su monto anual y su distribución en el año.

En México el clima está determinado por varios factores, tales como la altitud sobre el nivel del mar, la latitud geográfica, las diversas condiciones atmosféricas y la distribución de tierra y agua. En consecuencia, el país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en húmedo, subhúmedo, seco y muy seco (INECC, 2012, ver figura 2.).

El clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, regiones que comprenden 28.3% del territorio nacional; se caracteriza por escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas promedio de 22°C a 26°C en algunas regiones, y en otras de 18°C a 22°C. El clima muy seco registra temperaturas promedio de 18°C a 22°C, con casos extremos de más de 26°C; presenta precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, y se encuentra en 20.8% del país (Ibíd., p.53, ver figura 2.)

El clima cálido se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero ocupa 4.7% del territorio nacional y se caracteriza por tener una

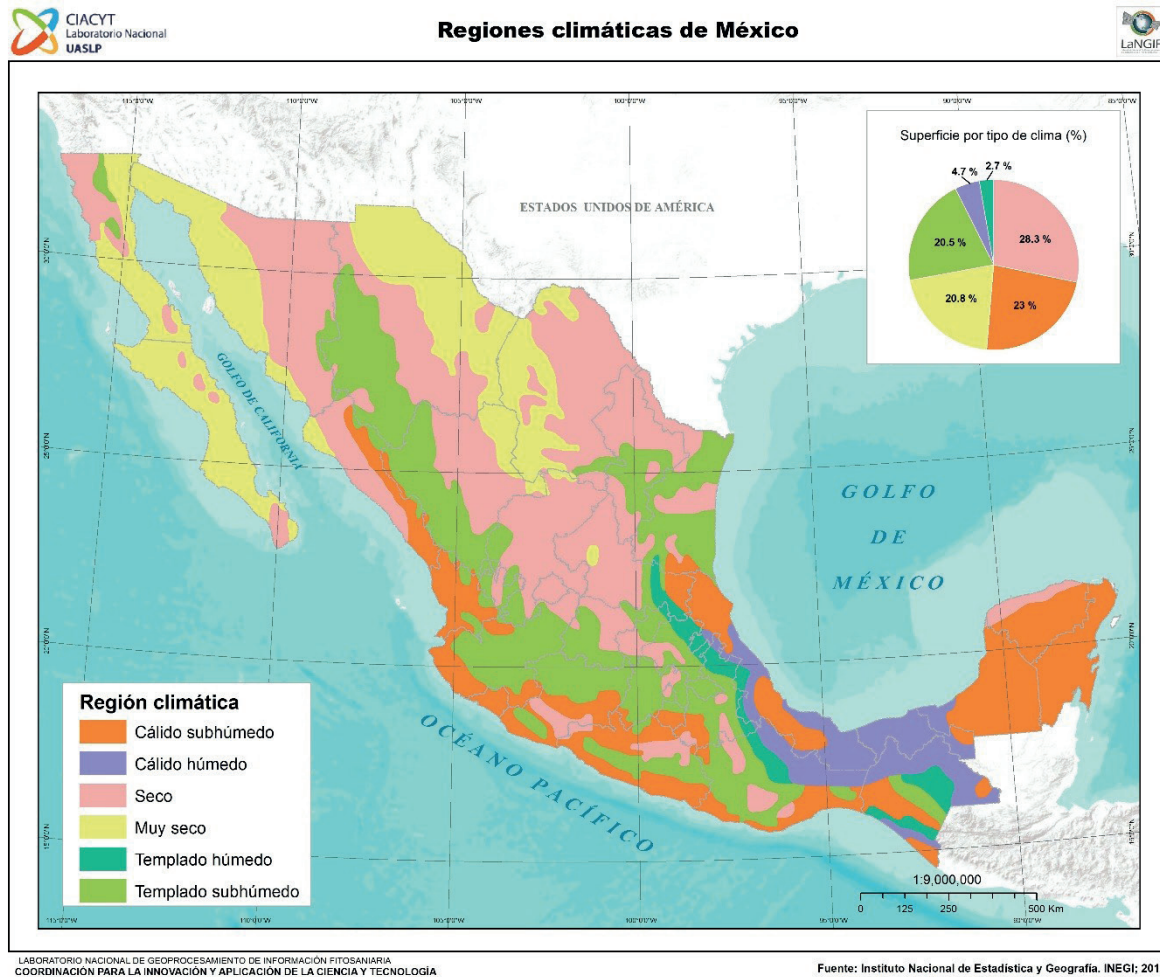
temperatura media anual entre 22°C y 26°C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales. El clima cálido subhúmedo se encuentra en 23% del país; en él se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22°C a 26°C, con regiones que superan esta última (Ibíd., p.53, ver figura 2.).

El clima templado se divide en húmedo y subhúmedo; en el primero se registran temperaturas entre 18°C y 22°C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende 2.7% del territorio nacional. El clima templado subhúmedo se encuentra en 20.5% del país; en su mayoría presenta temperaturas entre 10°C y 18°C y de 18°C a 22°C; sin embargo en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; se caracteriza por precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año (Ibíd., p.53., ver figura 2.).

Por otra parte, los cambios en la temperatura y la humedad a lo largo del año, se asocian a la reproducción de insectos vectores como los mosquitos. En este contexto, los factores meteorológicos y la variabilidad climatológica que se observan en México, afectan las enfermedades infecciosas a través de tres aspectos: patógeno, huésped y vía de transmisión (Kuhn et al., 2005). No obstante, es importante resaltar que la temperatura y la humedad pueden afectar directamente la reproducción de los patógenos y su tiempo de supervivencia en el medio ambiente (Zhang et al., 2008), motivo por el cual la enfermedad no se propaga de la misma forma en cada una de las regiones climáticas del país. Con todo, es la temperatura, es el factor principal en la enfermedad del dengue, ya que en primer lugar, el mosquito trasmisor del dengue tiene temperaturas umbrales para sobrevivir. Además, la temperatura puede afectar a la evolución de los virus y enfermedades asociadas, provocando brotes de nuevas enfermedades infecciosas (Wu et al., 2014, p. 192).

El efecto de la lluvia es también significativo; indirectamente modula el ciclo de vida de los insectos mediante la humedad. Un ambiente

Figura 2.



más húmedo es mucho más beneficioso para la reproducción de insectos, lo que determina la distribución geográfica y abundancia de insectos vectores estacionales. Estos factores meteorológicos (temperatura, lluvia y humedad) y su relación con el “calentamiento global y su impacto a nivel de país”, propician que las enfermedades transmitidas por vectores puedan fortalecer la capacidad de los mosquitos para establecerse en nuevas regiones y posteriormente expandirse a otras (Ibíd., p.192), por ese motivo, es importante observar, las relaciones que se dan, en el curso del tiempo, entre las manifestaciones sucesivas de un área de distribución y de las zonas de expansión que de ella derivan. En el marco de tales relaciones, los factores causales se unen e integran con un componente de causalidad, cuya importancia puede ser muy

variable, pero que nunca falta y nunca es irrelevante (Zunino, M. y Zullini, 2003., p. 217)

Metodología utilizada para determinar la influencia de los factores asociados a la variabilidad climática y la propagación del dengue

Con la finalidad de determinar la forma en que los factores del clima influyen sobre el establecimiento, dispersión y expansión de los vectores asociados a la propagación de la enfermedad del dengue, desde el punto metodológico, se siguieron los siguientes métodos: 1) creación de la base de datos de referencia, 2) georeferenciación de egresos hospitalarios de casos de dengue, 3) regionalización climática de la enfermedad del dengue, 4) relación con la “Oscilación del Sur (ENSO)”, 5) Impacto de la sequía en la

propagación del dengue y 6) correlación entre el cambio climático y el dengue.

Base de datos de referencia

Para la presente investigación se utilizó como primera fuente de información, los egresos hospitalarios de la Dirección General de Información en Salud <http://www.dgis.salud.gob.mx>, la cual, desde al año 2000 y hasta el 2014 ha puesto a disposición los egresos hospitalarios registrados en las unidades médicas de la Secretaría de Salud y los Servicios Estatales de Salud. Es importante mencionar que, se entiende por egreso hospitalario al evento de salida del paciente del servicio de hospitalización que implica la desocupación de una cama censable, incluye altas por curación, mejoría, traslado a otra unidad hospitalaria, defunción, alta voluntaria o fuga. Excluye movimientos entre diferentes servicios internamente del mismo hospital (SS, 2015).

Por otra parte, dentro de la página de la "Dirección General de Información en Salud", se pueden encontrar 15 archivos comprimidos, cada uno con la información correspondiente a un año de egresos hospitalarios. Cada archivo contiene una serie de bases de datos, la principal, y donde se encuentra la información a representar espacialmente lleva por nombre "SECTORIAL". Este archivo contiene 19 variables, de las cuales se utilizó la clave "CLUES (Clave Única de Establecimiento de Salud)", fecha y afectación.

Es importante mencionar que la base de datos contiene información sobre todas las enfermedades y problemas de salud considerados por el CIE-10 (Décima Revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud), sin embargo, para la presente investigación, se realizó una selección de los casos de dengue y dengue grave, los cuales tienen la clave A90X y A91X respectivamente en la columna AFECPRIN4.

Georeferenciación de egresos hospitalarios de casos de dengue

Una vez que se seleccionó la información de interés, el siguiente paso fue representarla es-

pacialmente. Para esto, se utilizó la información de la columna CLUES la cual contiene la clave única de la unidad médica que brindó el servicio. Con base en los Catálogos CLUES se identificó y se relacionó la unidad médica con las coordenadas geográficas de la misma, en este punto, es importante mencionar que los SIG representan una plataforma ideal para el tratamiento de la información epidemiológica, ya que permiten almacenar, capturar, analizar y representar dentro de una misma interfase y de manera integrada, la información espacialmente referenciada de las variables utilizadas. Posteriormente, con base en las coordenadas capturadas en los catálogos CLUES y por medio de la herramienta "Display XY Data" del software ArcGis 10.2, se representó espacialmente a cada uno de los establecimientos de salud con registros de egresos hospitalarios por dengue clásico y hemorrágico.

Regionalización climática de la enfermedad del dengue

Para la representación espacial sobre la influencia del clima en vectores, se trabajó con la cartografía de climas de México desarrollada por el INEGI. La imagen fue georeferenciada utilizando el software "ArcMap 10.2", a continuación, por medio de la herramienta "EDITOR" se llevó a cabo un "corte" del archivo shapefile de estados del "Marco Geoestadístico" versión 5.0, utilizando como base los límites de cada región climática. A continuación, se relacionaron las regiones climáticas con los egresos hospitalarios por dengue y dengue hemorrágico, para esto se utilizó la herramienta "Spatial Join" del mismo software. Una vez que, se identificó la relación espacial de los egresos hospitalarios con el clima, se estimó el porcentaje con respecto al total de casos de dengue. Posteriormente, se representó de forma gráfica las características de cada tipo de clima en relación a su temperatura y precipitación media anual de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (1988). Además, se superpusieron los puntos que representan el porcentaje de egresos en cada tipo de clima.

El fenómeno de la Oscilación del Sur (ENSO) y el dengue

La Oscilación del Sur (ENSO) es una fluctuación irregular interanual entre estados calientes oceánicos, conocidos como “El Niño”, y fríos, conocidos como “La Niña”. Para relacionar lo anterior, con la variabilidad y el cambio climático, se puede decir que fenómeno de “El Niño” impacta el clima en México provocando mayor precipitación en invierno y escasez de lluvia en verano. Los inviernos con Niño, por su parte, resultan más fríos en casi todo el país, mientras que los veranos con Niño son más secos. Así, la presencia de El Niño en el territorio mexicano está íntimamente ligada con la disponibilidad de agua. La escasez de lluvia en ciertos años es quizá la señal más evidente de un Niño fuerte, y son los costos de la sequía los que más se resienten en México (<http://smn.cna.gob.mx/>). Dentro de la investigación, por medio de hojas de calculo en el software excel se capturaron los datos del Índice de Niño Oceánico (ONI) del National Weather Service Climate Prediction Center disponibles en el siguiente link <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (NOAA, 2016). Después se realizaron gráficas seleccionando de manera mensual los egresos hospitalarios por dengue y el Índice de “Niño Océánico”.

Impacto de la sequía en la propagación del dengue

La información relacionada a la intensidad de la sequía en México fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional quien desde el año 2002 ha trabajado en cooperación con expertos en sequía de México, Estados Unidos y Canadá para describir las condiciones de sequía en América del Norte utilizando como metodología base el análisis de diversos índices o indicadores de sequía propuesta en 1999 por el Monitor de Sequía de los Estados Unidos (MSM, 2017).

La información cartográfica está disponible a partir del año 2003, no obstante esto, solo a partir del 2007 está disponible en formato shp, antes de este año solo se dispone de imágenes jpg, las cuales se georeferenciaron utilizando el software ArcMap 10.2. Por medio de una solicitud al correo electrónico sequia_smn@conagua.gob.mx el Servicio Meteorológico Nacional brinda acceso al directorio ftp en donde almacena los archivos shapefile desde al año 2007 y que está en continua actualización.

Cada mapa del Monitor de la sequía representa las zonas afectadas de acuerdo a las categorías de sequía descritas en la figura 3.

Figura 3.

Monitor de Sequía	Intensidad	Clasificación	Descripción
Monitor de sequía de América del Norte (NADM). Es el resultado de la cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá, tiene como objetivo descubrir las condiciones de sequía en América del Norte. Se basa en éxito del Monitor de Sequía de los Estados Unidos (USDM) que utiliza una metodología basada en el análisis de diversos índices o indicadores de sequía propuesta en 1999-		Anormalmente Seco (D0)	Se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía. Al inicio de un periodo de sequía debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final del periodo de sequía puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
		Sequía moderado (D1)	Se presentan algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios, bajos niveles en los ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
		Sequía severa (D2)	Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
		Sequía extrema (D3)	Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso de agua debido a su escasez.
		Sequía excepcional (D4)	Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

Con la información disponible sobre el fenómeno de la sequía se correlacionaron los meses y años con el mayor o menor número de egresos hospitalarios de dengue.

Correlación entre el cambio climático y la expansión del dengue

Es importante mencionar que debido a la complejidad y cantidad de las variables climáticas, los modelos de cambio climático no corresponden a predicciones, si no, más bien a proyecciones climáticas. Otra característica de los modelos desarrollados hasta el momento es que arrojan resultados que coinciden de buena manera en la proyección de los cambios de temperatura global, pero difieren en la definición de los patrones climáticos. El comportamiento regional climático es particularmente complicado y existen apenas algunas herramientas computacionales para su estudio. Podemos resumir que los modelos climáticos son sistemas no lineales que no “predicen” y es necesario recurrir a la construcción de escenarios para su estudio. Algunos modelos de cambio climático aplicados a México arrojan resultados considerables, por ejemplo el estudio del año 2000, según el modelo Canadian Climate Center o “CCC” (Conde, et al., 2004), enfocado a la sequía meteorológica plantea escenarios climáticos de la forma en que el territorio nacional se puede ver afectado (Hernández et al., 2000)., estas condiciones sobre el clima, fueron se correlacionaron con la mayor o menor presencia futura del dengue y su vector el *Aedes aegypti*, para determinar cuál puede ser los escenarios de la expansión de la enfermedad. Este modelo representa las áreas con cambio en aptitudes con base en el escenario climático actual relacionadas a las condiciones climáticas que prevalecen durante fuertes eventos de El Niño. Un evento fuerte de El Niño puede acarrear aumentos importantes en las lluvias de invierno, y decrementos considerables en las lluvias de verano (Conde, et al., 2004).

Otro modelo utilizado fue el “Modelo climático GFDL – R30” es un modelo de circulación

general acoplado (atmósfera-océano). Sus cuatro componentes principales son la circulación espectral, atmosférica, oceanica y procesos relativamente simples en la superficie terrestre y de hielo en el océano (NOAA, 2017). Este mapa representa las áreas afectadas por un aumento o disminución en la severidad de la sequía meteorológica. Es resultado de la sobreposición de los mapas del escenario actual de Severidad de sequía y el modelo CCCM del Índice de Severidad de la sequía meteorológica (Hernández & Valdez, 2004).

Resultados y Discusión

Análisis de la base de datos

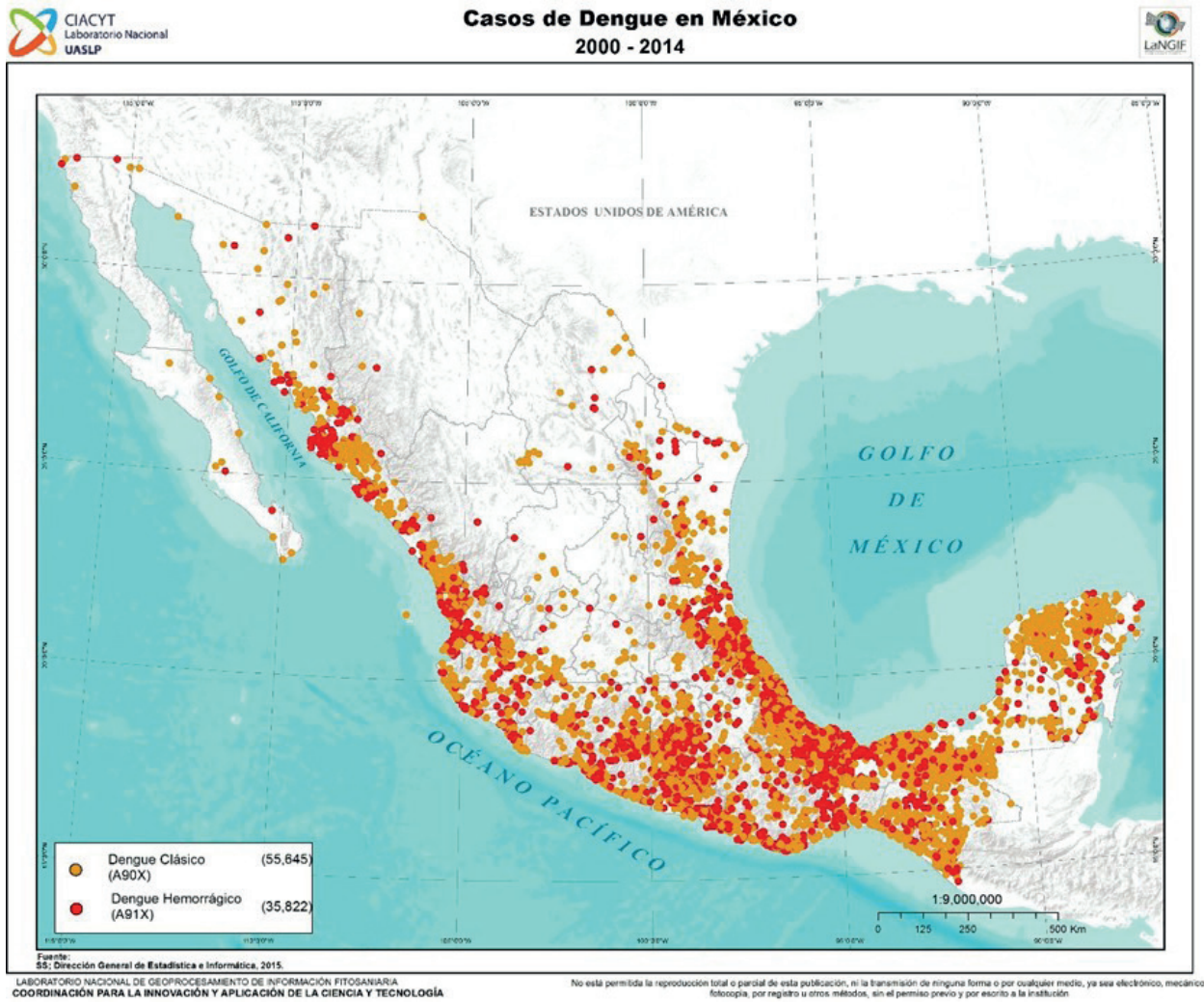
Con los registros de egresos hospitalarios de la Dirección General de Información en Salud para el periodo de 2000 al 2014, se tienen registrados un total de 91,467 casos de dengue en México en dicho periodo, como se puede apreciar en el cuadro 2. Del total de casos (91,467), el 60.8% (55,645) corresponde a dengue clásico y el 39.16% (35,822) a dengue hemorrágico, ver figura 4. El año de 2013 fue la época en que más casos se registraron, con un total de 18,716 seguido del año de 2012 y 2009 con 15,268 y 9,185 respectivamente. De manera contraria, en el año 2000 solo se registraron 216 casos y 404 en el 2001 (ver cuadro 2).

Los grupos de edades más afectados, en el periodo 2009-2014, son en primer lugar el grupo con edades de 15 a 19 años y en segundo término el grupo de entre 10 y 14 años. Las entidades federativas que registraron la mayor incidencia en el periodo fueron: en 2009 Colima, con una incidencia de 727 por cada 100 mil habitantes (hab); en 2010 Baja California Sur, con una inci-

Cuadro 2. Registro de casos de dengue. 2000-2014

Año	Casos	Año	Casos	Año	Casos
2000	216	2005	5,207	2010	4,857
2001	404	2006	4,336	2011	3,904
2002	4,714	2007	8,469	2012	15,268
2003	2,789	2008	5,521	2013	18,716
2004	1,570	2009	9,185	2014	6,585

Figura 4.



dencia de 278 por cada 100 mil hab; en 2011 la mayor incidencia se presentó en Yucatán, con 397 casos por cada 100 mil hab, y en 2012 nuevamente Yucatán, con 170 casos por cada 100 mil hab (SS, 2009a, 2010a, 2011, 2012), en 2013 Nayarit, con una incidencia de 886 casos por cada 100 mil hab; y por último, en 2014 Baja California Sur, con una incidencia de 896 por cada 100 mil hab.

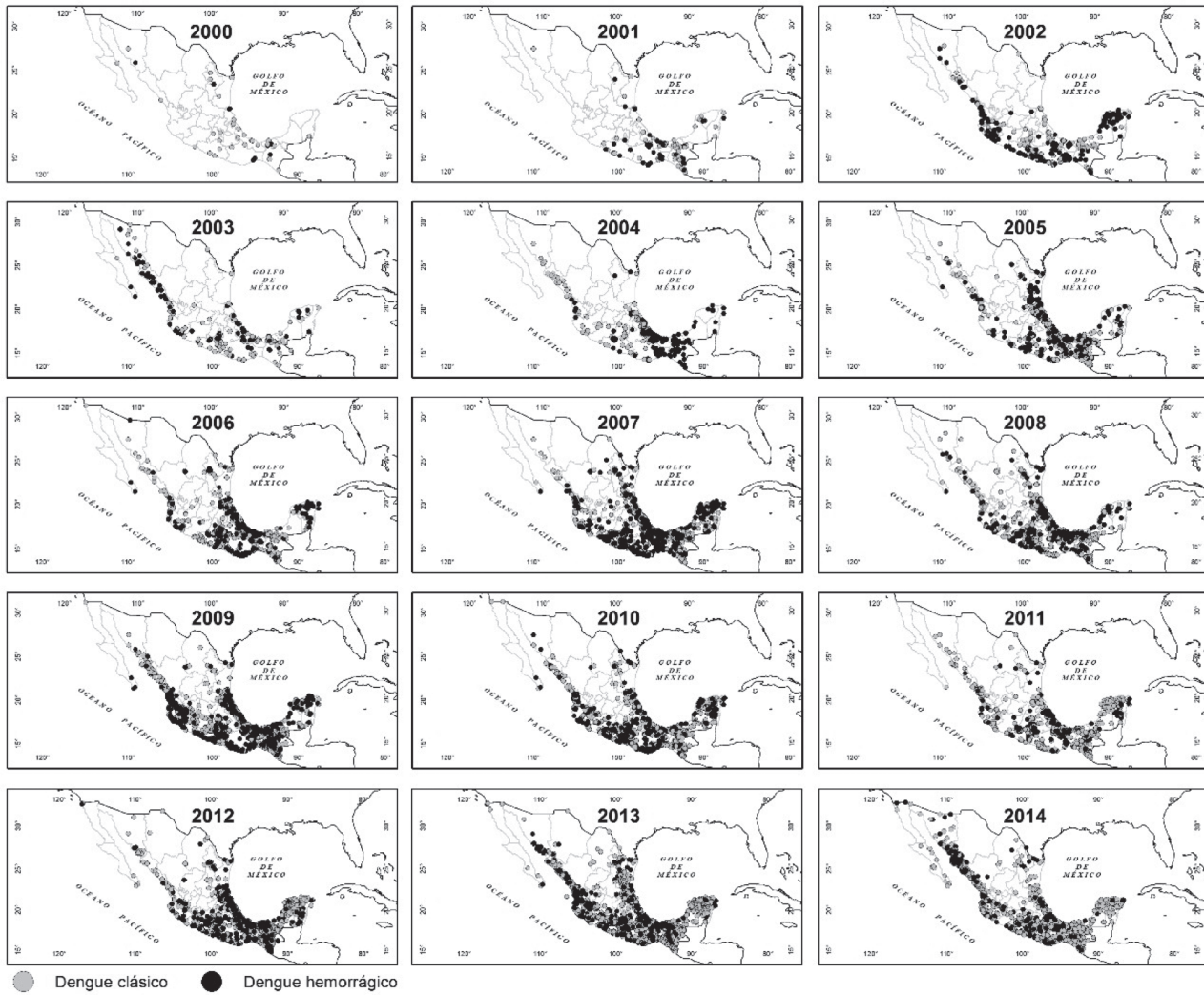
Georeferenciación de la enfermedad del dengue

Al considerar el total de casos para el periodo de 2000-2014 (figura 5), el estado de Veracruz ha sido el estado que más casos registra, con un total de 17,258 mientras que Guerrero, Oaxaca,

Chiapas, Tamaulipas y Tabasco continúan en la lista, oscilando entre los 8,835 y 7,119 registros. Mientras que Zacatecas, Tlaxcala, Chihuahua, Aguascalientes y Querétaro son los estados que menos casos registran, no sobrepasando los 9 registros, ver figura 5.

Al contabilizar el comportamiento mensual de casos de dengue, se tiene que los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, se registraron 65,202 casos para el periodo de 2000 a 2004, lo que representa el 71.07% del total. Octubre es el mes en el que con más frecuencia se reportan casos por dengue, un total de 21,160 (23.06%) durante los 14 años. De hecho, octubre del 2013 fue el mes en que más casos se han

Figura 5. Casos de dengue reportados en el periodo de 2000 a 2014



registrado con un total de 3,781. Por otro lado, febrero, marzo y abril fueron los meses en que menos casos se presentaron, con 5,078 (5.53%) entre los tres meses.

Regionalización climática de la enfermedad del dengue

De acuerdo a la clasificación de climas en México y su relación con los casos de dengue, es en las regiones cálidas donde mayor presencia de dengue existe. En el clima cálido húmedo se reportaron 19,612 casos en el periodo 2000-2014, mientras que para el mismo periodo, el clima cálido subhúmedo reporta 51,612 casos, de manera conjunta estos dos grupos de climas representan 78.88 % del total de casos en el

país. Las regiones climáticas en donde menor cantidad de casos se han reportado, son: clima templado subhúmedo, es la tercera región climática por el número de registros por dengue con el 4.65% (4,199 casos), seguido por el clima muy seco cálido con el 3.81% (3,447 casos), los otros climas reportan porcentajes inferiores al 3% (5 tipos de climas) y el 1% (9 tipos de climas), ver cuadro 3 y figuras 6.

Como ejemplo de la distribución mensual de los registros de dengue por tipo de clima, se escogieron los meses de enero y octubre de 2010 y 2013 por ser periodos representativos de los periodos extremos de temperatura y humedad del periodo analizado, como se puede observar en la figura 7, la concentración de los casos por dengue

Cuadro 3. Relación del clima y los registros de casos de dengue en el medio rural y urbano

Clima	Casos	Casos %	Urbano	Urbano %	Rural	Rural %
Cálido subhúmedo	51,612	57.1612	37,034	41.0158	14,578	16,1454
Cálido húmedo	19,612	21.7206	12,625	13.9824	6,987	7.7382
Templado subhúmedo	4,199	4.6505	3,703	4.1011	496	0.5493
Muy seco cálido	3,447	3.8176	3,243	3.5917	204	0.2259
Semicálido subhúmedo	2,561	2.8364	2,269	2,5130	292	0.3234
Semiseco muy cálido	2,031	2.2492	1,308	1.4486	723	0.8007
Seco cálido	1,940	2.1486	1,675	1.8551	265	0.2935
Semicálido húmedo	1,879	2.0810	1,240	1.3733	639	0.7077
Semiseco cálido	1,763	1.9526	1,072	1.1873	691	0.7653
Semiseco semicálido	379	0.4197	290	0.3212	89	0.0986
Seco muy cálido	331	0.3666	141	0.1562	190	0.2104
Muy seco semicálido	256	0.2835	244	0.2702	12	0.0133
Seco semicálido	110	0.1218	51	0.1565	59	0.0653
Templado húmedo	91	0.1008	16	0.0177	75	0.0831
Semiseco templado	48	0.0532	41	0.0454	7	0.0078
Seco templado	26	0.0288	26	0.0288	0	0.0000
Semifrío subhúmedo	4	0.0044	2	0.0022	2	0.0022
Muy seco templado	3	0.0033	3	0.0033	0	0.0000
	90,292	100	64,983	71.97	25,309	28.03

Figura 6

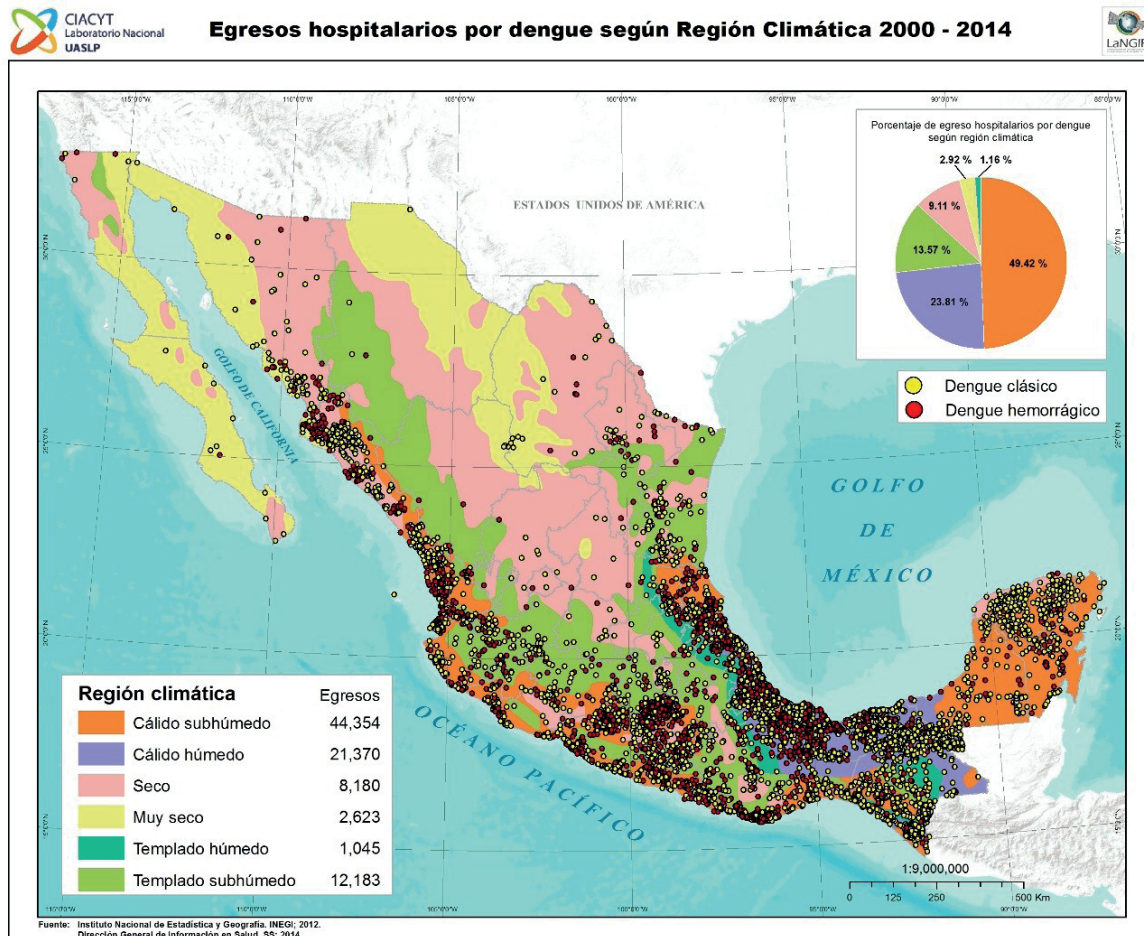
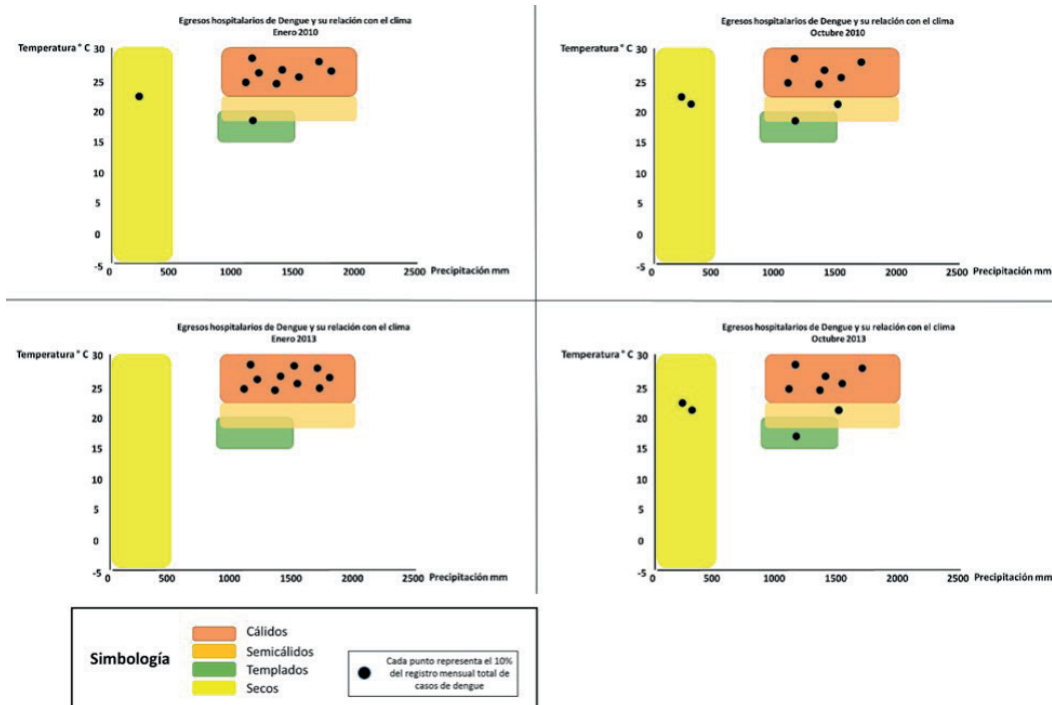


Figura 7. Egresos hospitalarios de Dengue, meses de enero y octubre de los años de 2010 y 2013



por tipo de clima y mes, la mayor concentración, se presentó en los grupos de climas cálidos, semi-cálidos, templados y secos, sin embargo como ya se ha mencionado anteriormente, el mayor número de casos, se registró en climas cálidos. De hecho, en enero del 2013, el 100% de los casos se presentó en climas cálidos. En comparación con esto, en enero del 2010, 80% de los casos se presentó en climas cálidos, 10% en regiones secas y 5% en zonas templadas y semicálidas.

Relación de la enfermedad del dengue con el fenómeno de la sequía

Desde el año 2003, fecha en que se comenzó a publicar los resultados del Monitor de Sequía en México y hasta el 2014, se han presentado 86,413 casos de dengue en el país. En el periodo de 2003-2014, el 71.56% de los casos se han presentado en áreas sin afectación por algún tipo de sequía, por sequedad anormal (D0) se han registrado el 15.72% de los casos y el porcentaje restante se ha presentado en sequías moderadas (8.54%), severa (2.74%), extrema (1.14%) y excepcionales (0.08%), ver figura 9. Al analizar el comportamiento año por año, se puede decir que en los años

2004 y 2009, los casos por dengue fueron más frecuentes en las áreas reportadas como anormalmente secas. Para el año de 2004, el total de casos en sequedad anormal fue de 844, en sequía moderada 288 y 437 en áreas no afectadas por sequía. En el año de 2009 el 72.08% de casos de dengue se presentó en áreas afectadas por algún tipo de sequía, principalmente en sequía moderada donde se registraron 3,101 casos. 1,850 en áreas anormalmente secas, 957 en sequía severa, así como 596 en sequía extrema y 59 en sequía excepcional, mientras que 2,541 casos se registraron en áreas sin sequía, ver figura 8.

Relación de la Oscilación del Sur (ENSO) con la enfermedad del dengue

Desde el año 2000 al 2014 el 62.37% de los casos por dengue se han presentado durante el fenómeno del ENSO en estado neutral, mientras que durante el fenómeno de "El Niño", se han registrado 18,792 casos (20.32%) y 15,998 (17.30%) en etapa de "La Niña", ver figura 9.

Durante periodos de "El Niño", se han registrado cuatro brotes de dengue. El primero durante el

Figura 8. Relación de la enfermedad del dengue con el fenómeno de la sequía. 2002-2014

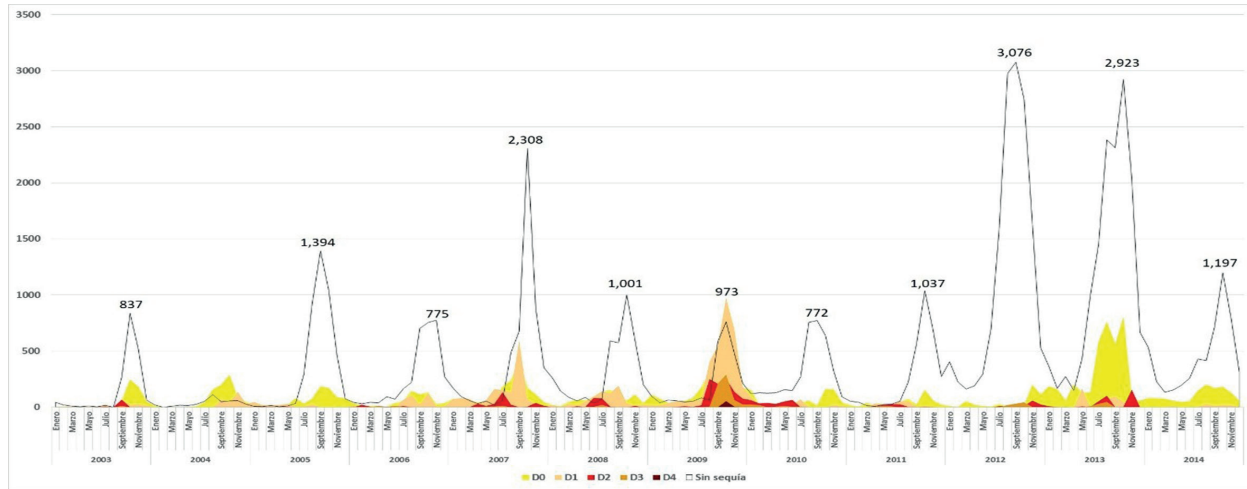
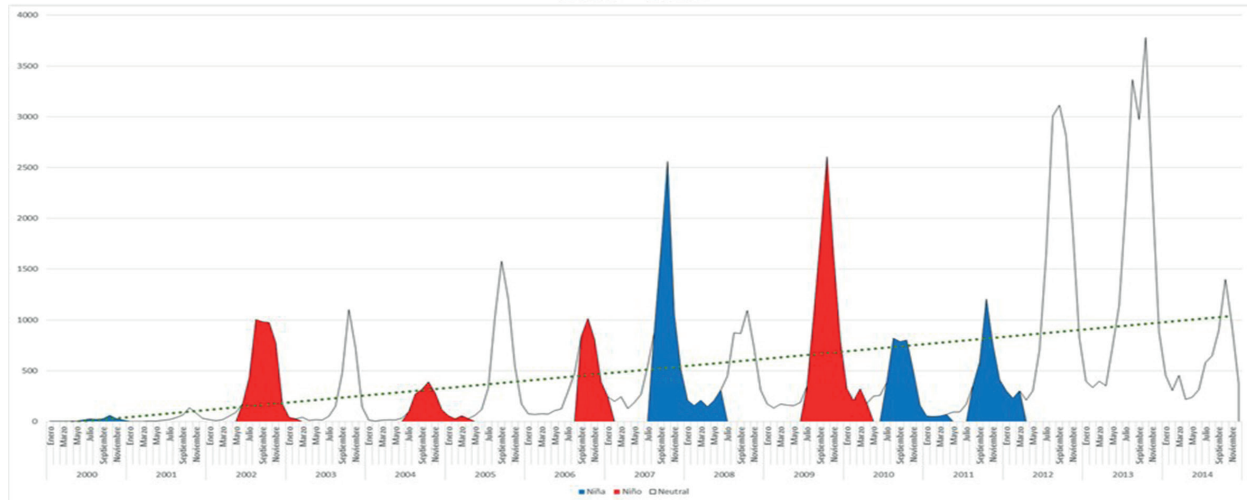


Figura 9

Casos de dengue en relación con el ENSO 2000 – 2014



año 2002, el cual llegó a tener un máximo de 1,000 casos reportados durante el mes de junio. Después, en el año 2004 y principios del año 2005, el máximo no superó los 400 reportes. Desde mayo del 2009 y hasta mayo del 2010, periodo en donde se presentó el fenómeno de “El Niño”, se presentó el mayor brote de casos por dengue, particularmente con el mes de octubre de 2009, registrándose 1,795 casos.

En el caso de la etapa de “La Niña”, ha estado relacionado con cuatro brotes. El primero a finales del año 2000, en el que el máximo de casos registrados fue en el mes de octubre con 61 casos. Un periodo largo en etapa de “La Niña”, sucedió

por un lapso de 12 meses, desde julio de 2007 a julio de 2008, en el cual se suscitaron un total de 8,442 reportes por dengue, siendo octubre de 2007 el mes en donde mayores casos se reportaron con 2,561. En la figura 10, se observa como en un estado del litoral de Océano Pacífico, como es el caso del estado de Colima, la relación de los casos de dengue con el ENSO, es mayor que si toma en cuenta la totalidad de registros a nivel nacional, por lo que se puede decir que este fenómeno afecta más los estados de la costa, que los estados localizados en el interior del país.

La sequía estacional y de largo plazo, se explica en gran medida a partir del número de ciclones

que se presentan en un año determinado, ya que por ejemplo, en otoño la mayor parte de las lluvias correspondientes a las regiones costeras del Golfo de México y del Pacífico, son una consecuencia directa e indirecta de los ciclones tropicales que se mueven cerca de las costas mexicanas. El registro de casos de dengue, a nivel nacional tiene un coeficiente de correlación 0.53, durante el periodo de 2005 a 2014 (ver figura 11), esto se debe a que la mayor humedad asociada a la lluvia, propicia mejores condiciones de reproducción del vector del dengue, particularmente de *Aedes aegypti*.

Figura 10. Relación del ENSO con el registro de casos de dengue a nivel nacional y su comparación regional con el estado de Colima.

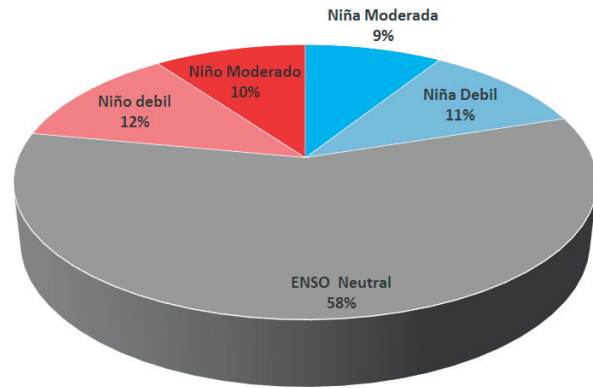
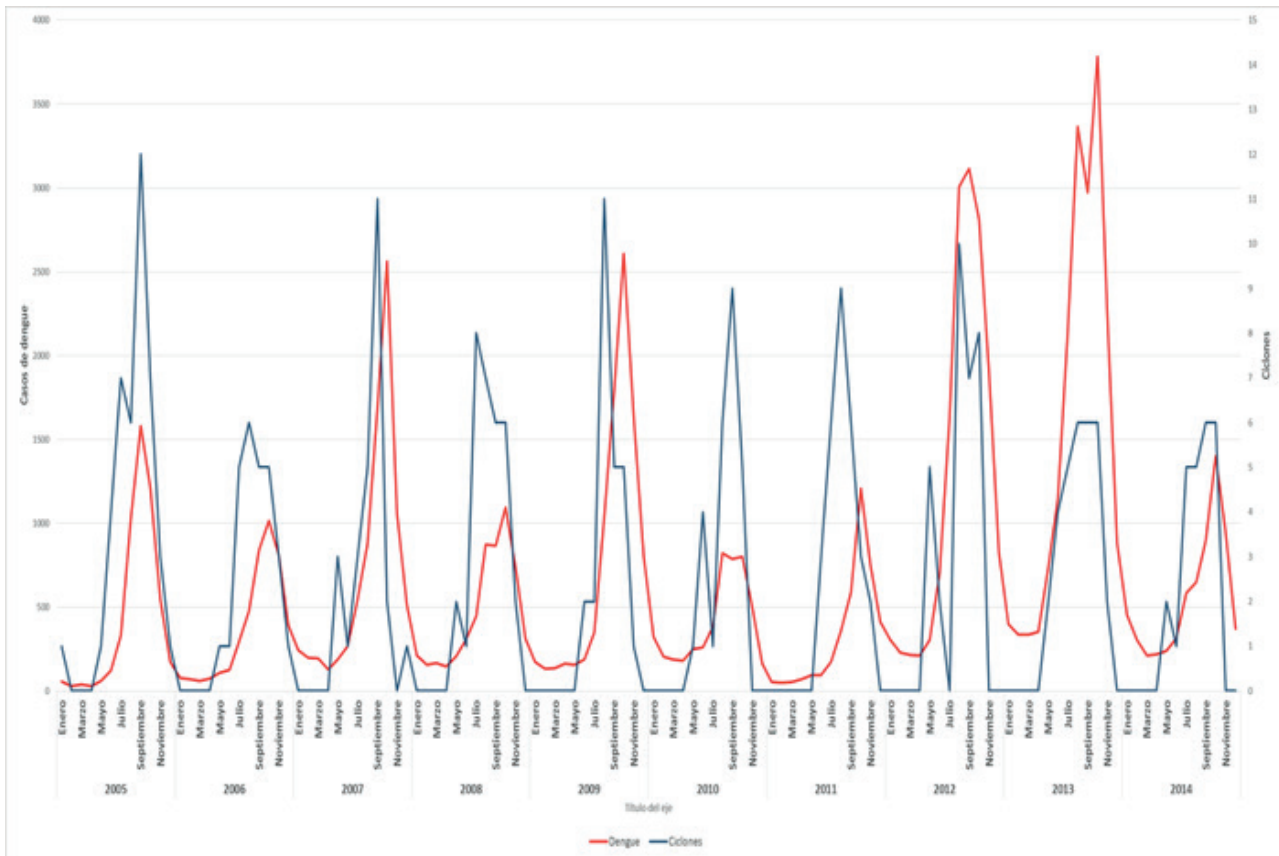


Figura 11. Relación de casos confirmados de dengue con la presencia de ciclones en costas de México. 2005-2014. Coeficiente de correlación 0.53



El Cambio climático y los escenarios futuros de la enfermedad del dengue en México

Las regiones con cambio negativo se encuentran en la Península de Yucatán, porciones al centro de los estados de Guerrero, Oaxaca y San Luis Potosí, además de una amplia región en el occidente de México. Por otro lado, las zonas con cambio positivo se encuentran dispersas, al norte de Nuevo León, sur de Chihuahua, litoral del Océano Pacífico y al centro del país, en los estados de Querétaro, Hidalgo y Puebla. En resto del país no se considera que haya algún tipo de cambio.

De los casos registrados por dengue el 23.41% (21,013) coincide en zonas con tipo de cambio negativo en zonas urbanas y 8.5% (7,637) en localidades rurales. En zonas con tipo de cambio positivo en localidades urbanas el porcentaje de casos es de 6.54% (5,878) y 1.39% (1,252) en localidades ru-

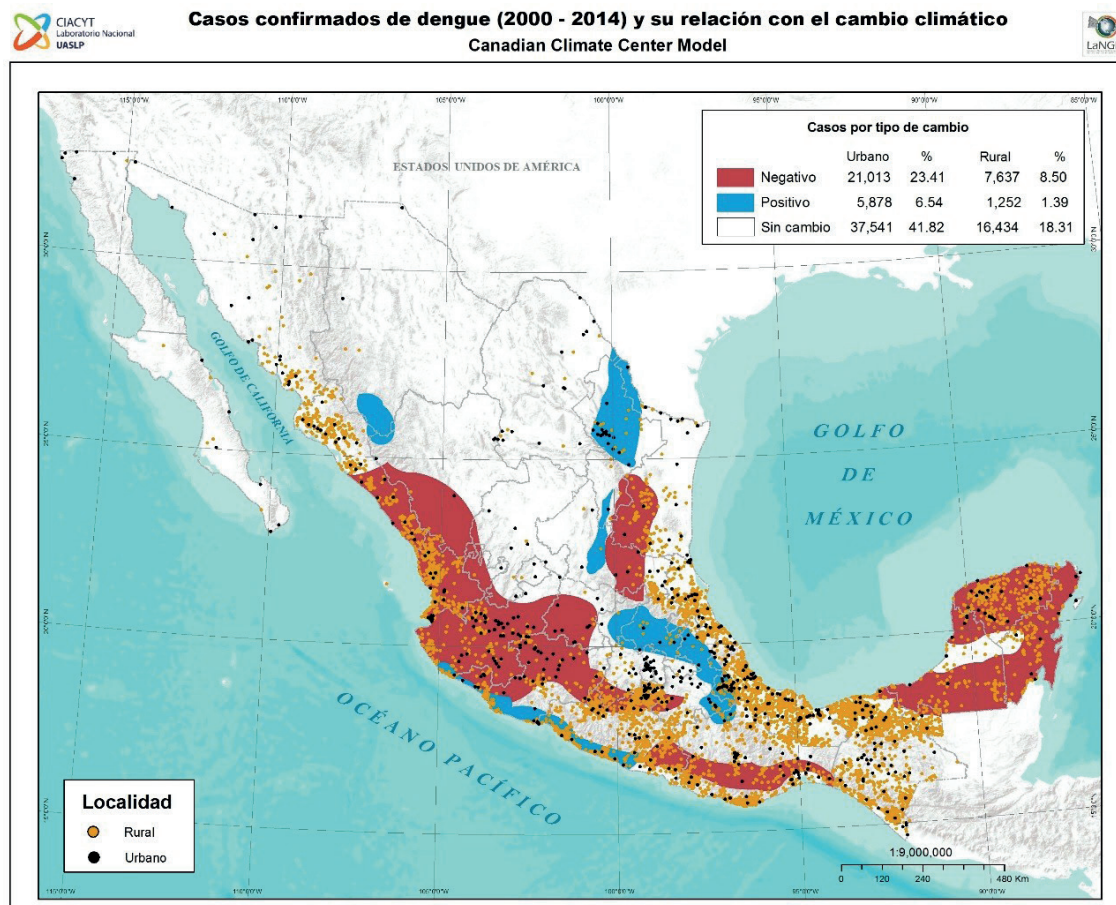
rales. Por otro lado 53,975 registros coinciden con zonas sin tipo de cambio. Figura 12.

Discusión

Los escenarios de cambio climático por efecto del forzamiento radiativo, como los presentados por el IPCC AR 4 (2007) o el ensamble preparado con seis realizaciones del modelo de clima regional del Simulador de la Tierra (Pérez-Pérez et al., 2010) sugieren que el incremento en la temperatura continuará, con un aumento de 2 a 4°C hacia finales del siglo XXI, principalmente hacia el norte del país. Estos resultados son consistentes con los presentados en la Tercera (INE -Semarnat, 2007) y Cuarta (INE -Semarnat, 2009), ambas "Comunicaciones Nacionales", así como con otros estudios más recientes (INE, 2012b; Magaña et al., 2012).

El aumento de temperatura y humedad en la atmósfera por efecto del cambio climático, fa-

Figura 12



vorecen un incremento en los casos de dengue. La tendencia positiva en la temperatura y humedad del aire de los últimos diez años parecen estar relacionadas con el crecimiento del número de casos de dengue (Semarnat & INECC, 2012).

Diversos estudios muestran que el dengue se propaga en condiciones de climas húmedos y cálidos (Kovats, 2000). Dado que la tendencia del clima en México es el incremento en las temperaturas y la humedad atmosférica, el potencial de ocurrencia de epidemias de dengue aumenta. En los años recientes, el número de casos de dengue creció rápidamente sobre todo en zonas bajas (menos de 1500 msnm) y cercanas al mar. Las características climáticas en México permiten el establecimiento y dispersión de la enfermedad del dengue, principalmente en zonas de climas tropicales. Los brotes de dengue, aunque no de manera constante, muestran una tendencia al alza, con grandes incrementos en los años de 2012 y 2013.

Los casos registrados se presentan normalmente en el sur del país, zonas cercanas al Océano Pacífico y Golfo de México, en el clima cálido subhúmedo, el cual se puede definir como el clima idóneo por excelencia para la presencia del dengue, en el que se concentra más del 50% de los casos registrados. Aunque en años más recientes, desde 2007, se han presentado abundantes casos en el centro del país, desde Aguascalientes hasta Coahuila y Chihuahua.

La sequía forma parte natural de la variabilidad natural del clima y es recurrente aunque sin un ciclo definido. La magnitud de sus impactos depende de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y de la sociedad a esta condición. La sequía de larga duración es un fenómeno con patrones espaciales relativamente definidos, pues cuando ocurre en el centro-norte del país, el sur tiende a ser más lluvioso, y viceversa (Méndez y Magaña, 2010). Por ello la coincidencia de sequía en el norte con las inundaciones en el sur, como en Tabasco.

De manera general se han presentado una mayor cantidad de casos de dengue en zonas no afectadas por algún tipo de sequía, sin embargo, cerca del 30% de casos es una cifra a considerar. Además, han sucedido casos, como en 2009 donde la mayoría de los reportes por dengue se presentaron en zonas afectadas por algún tipo de sequía lo que nos lleva a pensar acerca de la variabilidad climática que influye en la distribución temporal de la enfermedad y que ante escenarios de cambio climático podría verse afectadas con el aumento y la disminución de lluvias en diversas regiones del país.

El estudio realizado por Ferreira (2014) en donde lleva a cabo una interpolación con base a datos relacionados entre el Índice de Oscilación del Sur y el número de casos por fiebre del dengue en América, da como resultado que el fenómeno ENSO tiene una mayor influencia en la presencia de casos de dengue en las zonas cercanas a los trópicos y que disminuye hacia los polos. En lo que respecta a México, la mayor relación se presenta en la Península de Yucatán disminuyendo de manera gradual por cuatro intervalos hacia Estados Unidos. La correlación entre el Índice de Oscilación del Sur y los casos por dengue en México se puede considerar como significativa al observar que hay una tendencia al crecimiento y que frecuentes brotes han sucedido durante el lapso de El Niño o la Niña.

Los esfuerzos del sector salud para controlar la propagación de esta enfermedad van encaminados a desarrollar acciones preventivas con monitoreo mediante ovitrampas e información entre la población (Cofepris, 2012). Sin embargo, se reconoce que es necesario considerar las condiciones climáticas y sus cambios para tener una prevención más eficiente, y para ello, la "Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris)", desarrolla estudios de relaciones clima-salud que permitan establecer el valor umbral de la condición ambiental que favorece los brotes de dengue, reconociendo también que las condiciones de vulnerabilidad de la población han aumentado en los últimos

años. El objetivo es contar con un “Sistema de Alerta Temprana” ante condiciones favorables para la propagación del dengue, esta acción, puede permitir el monitoreo de las regiones potencialmente afectadas por dengue y las acciones de prevención que ya se llevan a cabo. No obstante esto, los trabajos encaminados a entender las relaciones clima-salud, indican que se podrá apoyar la labor de las instituciones del sector con información climática, para establecer si las condiciones de temperatura o humedad favorecerán un tipo especial de propagación de enfermedad o condición de confort (INE, 2009).

Conclusiones

Como resultado de este trabajo de investigación, se pudieron establecer los principales factores relacionados con el clima, que influyen en la proliferación, distribución y transmisión de la enfermedad del dengue, debido a que las modificaciones climáticas, pueden afectar la proliferación, distribución y transmisión de la enfermedad. En México, desde el año 2000, los casos de dengue han ido en aumento, concentrándose principalmente en los climas cálidos, aunque a partir del año de 2005, la distribución de la enfermedad se ha expandido hacia el norte del territorio nacional, particularmente, en climas secos (Bs), algo inusual históricamente. Lo anterior puede ser explicado con base a la variabilidad en los regímenes de precipitación y temperatura, los cuales producen un cambio atípico, en el comportamiento de los climas en el país.

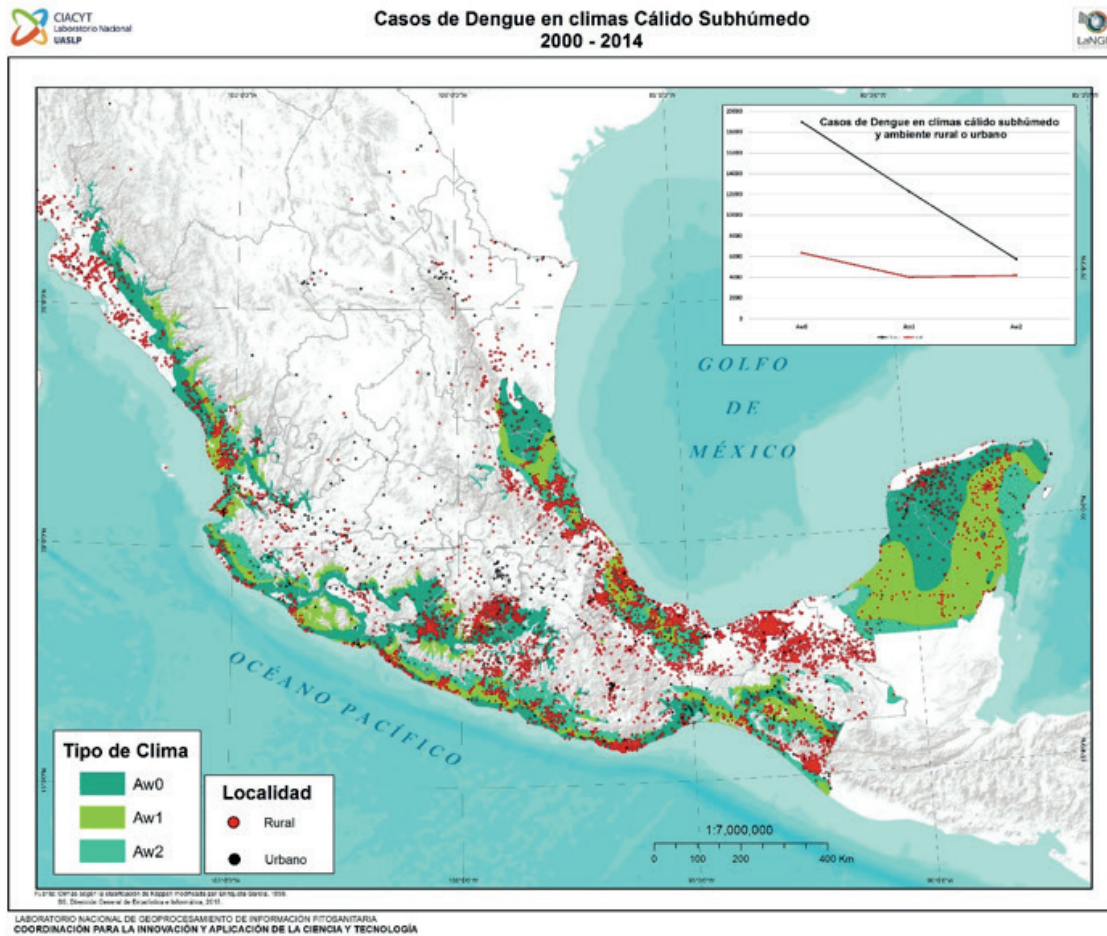
Dentro del comportamiento mensual y su relación con el reporte de casos de dengue, en el mes de octubre, se observa que el número de casos registrados aumenta, en comparación con el mes de enero, esto se puede asociar a las lluvias que propician una mayor humedad; es decir, al haber una mayor precipitación y una temperatura mayor, los casos de dengue aumentan su expansión territorial y abarcan más grupos de climas, mientras que cuando disminuyen las lluvias y la temperatura, los casos de dengue se concentran en los climas cálidos.

La región climática cálido subhúmedo (Aw) es la área, en donde se registra la mayor cantidad de casos por dengue. Esta región climática, por si sola concentra más del 50% de los casos registrados en el periodo 2000-2014. Su distribución cubre casi en su totalidad a la Península de Yucatán, las regiones cercanas al Golfo de México, principalmente el estado de Veracruz. Además de las zonas cercanas al Océano Pacífico desde el litoral del estado de Chiapas hasta el sur del estado de Sonora. Es importante señalar que el clima cálido subhúmedo, se puede subdividir en tres subgrupos: Aw0, en donde se han registrado 25,342 casos, Aw1 con 16,327 casos y el grupo Aw2 con 9,943 casos registrados en el periodo de 2000 al 2014, ver figura 13.

Los casos de dengue registrados, como ya se ha mencionado, se presentan normalmente en el sur del país y zonas cercanas al Océano Pacífico y Golfo de México; sin embargo, desde el año de 2007, se han presentado abundantes casos en el centro del país, desde Aguascalientes hasta Coahuila y Chihuahua. De manera general se han presentado una mayor cantidad de casos de dengue en zonas no afectadas por algún tipo de sequía, sin embargo, cerca del 30% de casos, si tienen una relación con la sequía. Además, han sucedido casos, como el año de 2009, donde la mayoría de los reportes por dengue se presentaron en zonas afectadas por algún tipo de sequía, lo que nos lleva a pensar acerca de la variabilidad climática que influye en la distribución temporal de la enfermedad y que ante escenarios de cambio climático podría verse aún más modificada con el aumento y disminución de lluvias en diversas regiones del país. El ENSO afecta la actividad ciclónica, propiciando un mayor o menor número de huracanes en el país, el estudio presente, se pudo constatar que el registro nacional de casos de dengue tiene un coeficiente de correlación 0.53, siendo mayor este índice con los estados de la costa, igual situación ocurre con el ENSO.

Por otra parte, es difícil prever la manera en que cambio climático en México afectara la distribu-

Figura 13



ción regional del dengue, se puede decir, que los fenómenos derivados del calentamiento global, como sequías, ciclones, precipitaciones y temperaturas de mayor intensidad, favorecerán en un aumento en la incidencia e incremento de la enfermedad en diferentes regiones del país, principalmente las zonas cálidas subhúmedas y en segundo lugar las semiáridas.

Bibliografía

Brodsky, A. B. y C. Naranjo (1976). Introducción a la fisiología de insectos. Serie 111.968, No. 1. Facultad de Biología. Universidad de Oriente (Santiago de Cuba).

Conde, C., Ferrer, R., Gay, C., & Araujo, R. (2004). Impactos del cambio climático en la agricultura de México. En J. Martínez, A. Fernández, & P. Osnaya, Cambio climático: una visión desde México (pág. 525). México, DF: Institu-

to Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Contreras Servín, C. and Galindo Mendoza, G. (2014) Climate Change and Its Influence on Agricultural Pest in Mexico. Atmospheric and Climate Sciences, 4, 931-940.

García, E. (1988). Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta Edición. UNAM. México.

Hales S et al (2002) Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. Lancet 360:830–834

Hernández, M., & Valdez, G. (2004). Sequía meteorológica. En J. Martínez, A. Fernández, & P. Osnaya, Cambio climático: una visión desde

- México (pág. 525). México, DF: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012 México: Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
- Jansen, C.C.; Beebe, N. W. 2010. El vector del dengue *Aedes aegypti*: ¿qué viene después? *Los microbios Infect.* 2010 Apr; 12 (4): 272-9.
- Kourí, G. (2006). "El dengue, un problema creciente de salud en las Américas", en: *Revista Panamericana de Salud Pública* 19, pp. 143-5.
- Legreve, A. y E. Duveiller (2010). Preventing potential diseases and pest epidemics under a changing climate. En M. P. Reynolds (Ed.), *Climate Change and Crop Production* (pp. 50–70). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Marco, V. (2001). Modelación de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo integrado de Plagas mediante el método de grados-días. *Aracnet (Bol. S.E.A.)*, 7 (28), 147-150.
- Marquetti, M., González, D., Aguilera, L., & Navarro, A. (1999). Abundancia proporcional de culídeos en el ecosistema urbano de Ciudad de La Habana. *Rev Cubana Med Trop*, 181-184.
- Mejía, M. (2005). Calentamiento global y la distribución de plagas. *Boletín de la NAPPO* (Ontario, Canada).
- Mora-Covarrubias, A.; Jiménez-Vega, F.; Treviño-Aguilar, S. M. (2010). Distribución geoespacial y detección del virus del dengue en mosquitos *Aedes (Stegomyia) aegypti* de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública México*. 2010, vol.52, n.2, pp. 127-133.
- MSAL. (2010). Directrices para la prevención y control del *Aedes aegypti*. Argentina.
- MSM. (2017, 01). Monitor de Sequía en México. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/>
- NOAA. (07 de 2016). National Oceanic and Atmospheric Administration. Obtenido de National Weather Service Climate Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- NOAA. (01 de 2017). A Global Change Master Directory Portal of Global Observing Systems Information Center. Obtenido de <http://gcmd.nasa.gov/>
- Organización Mundial de la Salud (2014). Enfermedades transmitidas por vectores. Nota descriptiva No. 387. pp. 1-3.
- Organización Panamericana de la Salud (2011). Preparación y respuesta ante la eventual introducción del virus chikungunya en las Américas. Washington, D.C.: OPS
- Pataki, E. (1972). Conceptos fundamentales de ecología. Ed. CENIC, La Habana.
- Patiño B., R. M. 2001. Bionomía de *Aedes aegypti* L., vector del dengue, en el sur del estado de Jalisco, México. Tesis de Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Monterrey, N.L.
- Ramírez-Zepeda, M., Velasco-Mondragón, H., Ramos, C., Peñuelas, J., Maradiaga-Ceceña, M., Murillo-Llanes, J., . . . Chaín-Castro, R. (2009). Caracterización clínica y epidemiológica de los casos de dengue: experiencia del Hospital General de Culiacán, Sinaloa, México. *Rev Panam Salud Pública*, 16-23.

- Salvatella, R. (1996). *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* (diptera, culicidae) y su papel como vectores en las Américas. La situación de Uruguay. *Rev Med Uruguay*, 28-36.
- Savege, H. y Smith G. (1995). *Aedes Albopictus* y *Aedes aegypti* en las Americas: Implicaciones para la transmisión de arbovirus e identificación de hembras adultas dañadas. *Bol. Oficina. Sanit. Panam.*, 118 (6): 473-476
- Semarnat, & INECC. (2012). México. Quinta comunicación nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. México: Grupo Communicare, S.C.
- SS. (2015). Dirección General de Información en Salud. Recuperado el 01 de 2016, de www.dgis.salud.gob.mx
- Thirión, J. (2010) El mosquito *Aedes aegypti* y el dengue en México. *Bayern Environmental Science*. México. 169 pp.
- Torres, I., Cortés, D., y Becker, I. (2014). Dengue en México: análisis en dos décadas. *Gaceta Médica de México*, 150, 122-127.
- Vezzani, D., Velazquez, S.M., Soto, S., Schweigmann, N., (2001). Environmental characteristics of the cemeteries of Buenos Aires City (Argentina) and infestation levels of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 96, 467-471
- Wilcox, B. A., & Ellis, B. (2006). Los bosques y la aparición de nuevas enfermedades infecciosas en los seres humanos. *Unasylva* (FAO).
- Wu, X., Tian, H., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2014). Impact of global change on transmission of human infectious diseases. *Science China Earth Sciences*, 57(2), 189-203.
- Zunino, M. y Zullini, A. (2003) *Biogeografía la dimensión espacial de la evolución*. México, Fondo de Cultura Económica.

CUARTA PARTE

LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN EL CONTROL DE VECTORES DE ENFERMEDADES EMERGENTES

R. Patricia Penilla Navarro
Américo D. Rodríguez

Antecedentes

Aunque el dengue dejó de ser considerado emergente hace muchos años, son las enfermedades transmitidas por el virus del chikungunya y del Zika las consideradas emergentes, por haber surgido por primera vez en el continente Americano. La característica que comparten estas tres enfermedades es que son transmitidas por un mismo agente o vector, el *Aedes aegypti* Linneo (1762). La vigilancia de *Ae. aegypti* ha sido un componente muy importante en el control del dengue durante décadas en México, ahora aunado como vector de las enfermedades emergentes chikungunya y Zika en nuestro continente se ha hecho más ineludible su control. Conviviendo con *Ae. aegypti* se encuentra también *Ae. albopictus* Skuse (1895) que desde 1985 fue identificado en el Norte de México en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Ibáñez-Bernal y Martínez-Campos, 1994; Rodríguez-Tovar y Ortega-Martínez, 1994), para 1997 se reportó en el Sur de Veracruz (Secretaría de Salud, 2000) y en 2002 en Tapachula, Chiapas (Casas-Martínez y Torres-Estrada, 2003), aunque a la fecha su incriminación como vector de chikungunya y virus del Zika no se ha determinado en México, pero sí en Asia, La India, Europa y África (Stock, 2009; Smith et al., 2016; Grard et al., 2014).

Mientras que el dengue y el Zika son causados por un flavivirus (virus ARN monocatenario positivo) de la familia Flaviviridae, chikungunya es causado por un virus ARN del género *Alfavirus*, familia *Togaviridae*, las tres enfermedades producen síntomas muy similares. El cuadro clínico de las tres enfermedades y sus características se presentan en la tabla 1.

En diciembre 2013 se detectó por primera vez la transmisión autóctona del virus chikungunya en la Región de las Américas (CONAVE, 2014). Las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el 2014 fueron dirigidas a reducir la densidad del vector, procurando la aceptación y colaboración de la población local; contar con un programa de control efectivo y operativo para el dengue que proporcione las bases para una operación adecuada frente al virus chikungunya; intensificar la vigilancia epidemiológica y control para el manejo del dengue como parte de la Estrategia de Gestión Integral; incorporar al esquema de manejo integrado de vectores (MIV) un programa de control de calidad independiente que debe contar con la participación y colaboración intersectorial, en todos los niveles del gobierno y de los organismos de salud, educación, medio ambiente, desarrollo social y turismo, y buscar la participación de toda la comunidad (OPS, 2016). Aunque la incidencia de casos confirmados de chikungunya y Zika no haya sobrepasado a los casos de dengue en los últimos dos años, el sentir de la población en México cuando empezó sufriendo los síntomas de las dos enfermedades fue como el de una epidemia. Los casos de dengue no grave, dengue con signos de alarma y dengue grave así como la enfermedad por virus chikungunya disminuyeron de 2015 a 2016 (tabla 2). Sin embargo la infección por virus Zika se incrementó durante el 2016 (tabla 2). El primer caso autóctono de la enfermedad por el virus Zika en las Américas se dio en la Isla Pascua en febrero de 2014, para mayo de 2015 Brasil reportó transmisión en 14 estados, en octubre del mismo año se reportaron nueve casos en Bolivia

Tabla 1. Características de las enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti*. Un paciente puede llegar a padecer dos infecciones.

	Dengue no grave	Dengue con signos de alarma	Dengue grave	Chikungunya	Zika
Cuadro Clínico	Enfermedad febril aguda con dos o más de las siguientes manifestaciones: • Fiebre alta de 40°C, • Cefalea, • Dolor retro-ocular, • Mialgias, • Artralgias, • Exantema, • Manifestaciones hemorrágicas, • Leucopenia; • Serología de apoyo positiva, o bien • Ocurrencia en localidad y tiempo donde se tengan otros casos confirmados de fiebre por dengue.	Características de dengue no grave + Signos de alarma. • Dolor abdominal intenso. • Vómito persistente o incoercible (mayor de 5). • Evidencia clínica de acumulación de líquidos. • Hemorragia activa en mucosas (p. ej. tubo digestivo, hematuria). • Alteraciones neurológicas o del alerta (letargia, inquietud). • Hepatomegalia > 2 cm (insuficiencia hepática). • Elevación del hematocrito coexistente con disminución en la cuenta de plaquetas.	Características de dengue con signos de alarma + • Extravasación de plasma, • Acumulación de líquidos, • Dificultad respiratoria, • Hemorragias graves o falla orgánica.	Fiebre alta de 40°C • Dolores severos en las articulaciones, • Dolores musculares, • Dolores de cabeza, • Náusea, • Fatiga • Exantema.	• Fiebre, • Mialgias / Altralgias, • Edema en extremidades, • Rash maculopapular, • Dolor retro-ocular, • Conjuntivitis y • Linfadenopatías.
Manifestación después de picadura	4-10 días	4-10 días	4-10 días	3-7 días	3-12 días, 60-80% son asintomáticos.
Duración de la enfermedad	2-7 días comúnmente, hasta 12 días	2-7 días comúnmente, hasta 12 días	2-7 días comúnmente, hasta 12 días	2-12 días	2-7 días generalmente.
Intensidad de dolor entre las enfermedades	***	****	*****	***** Localizado en articulaciones y tendones. Algunos casos incapacitante	****
Recuperación	Totalmente	La mayoría totalmente	La mayoría totalmente	La mayoría totalmente, algunos casos dolor de articulaciones persiste crónicamente	La mayoría totalmente
Complicaciones graves	25% de los casos en el mundo se manifiesta clínicamente	0.43% se diagnostican como dengue grave en la Región de las Américas.	Alto número de complicaciones	Bajo número frecuentemente en niños, adultos mayores y embarazadas.	Poco frecuentes, microcefalia asociada en mujeres embarazadas, síndrome de Guillain-Barré, síndrome neurológico y anomalías congénitas
Muerte	No	No	El 11.84% de los casos mueren en la Región de las Américas.	Algunas ocasiones	No se reportan comúnmente casos fatales.
Vacuna	CYD-TDV de Sanofi Pasteur	No		No	No
Tratamiento	Educar al paciente para que no se automedique. • Iniciar la hidratación oral con vida suero oral. • Iniciar el control térmico con medias físicas. • En caso necesario, administrar paracetamol. • No emplear ácido acetil salicílico, metamizol ni antiinflamatorios no esteroideos. • Evitar la administración intramuscular de medicamentos. • Evitar el uso de esteroides, inmunoglobulinas y antivirales, que pueden complicar el cuadro clínico.			Alivio de síntomas	Antiinflamatorios no esteroideos y analgésicos no salicílicos (Paracetamol), reposo, ingesta de abundantes líquidos, administración de antihistamínicos para controlar el prurito asociado con el exantema

Tabla 2. Incidencia de las enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti* durante 2015 y 2016 en México.

	Dengue no grave	Dengue con signos de alarma y Dengue grave	Chikungunya	Zika
2015	21,201	5,464	11,577	15
2016	14,112	3,683	757	7,560

Fuente: SINAVE/DGE/Salud 2017.

(OPS, 2016). En México, para noviembre 2015 se reportó el primer caso importado en Querétaro y dos autóctonos (Nuevo León y Chiapas) con un cierre de 15 casos en el año (SINAVE/DGE/SS, 2016). El total de casos confirmados de la enfermedad por virus Zika de 2015 a 2016 fue de 8,573 en todo el país y el mayor número de casos se dio en Veracruz con 1,967. En la semana 32 de 2017 se han confirmado 805 casos en todo el país con el mayor número de casos en Nayarit (171) (SINAVE/DGE/SS, 2017).

La Secretaría de Salud recomendó las siguientes acciones inmediatas para controlar las infecciones por virus Zika:

Promover medidas de saneamiento básico (LAVA, TAPA, VOLTEA Y TIRA).

- Protección personal: usar manga larga, pantalón y repelente.
- Promover acciones de educación para la salud y participación de la comunidad para el control de este padecimiento.
- Información de zika disponible en el micrositio de vectores.
- Mantener puertas y ventanas cerradas o con protección con mosquiteros.
- Utilizar pabellones para dormir.
- En caso de presentar síntomas acudir a la Unidad de Salud.
- No automedicarse.

Actualmente en nuestro país existen Avisos Epidemiológicos de prevención para evitar la entrada de la fiebre amarilla, otra enfermedad virulenta causada por un arbovirus del género *Flavivirus*, transmitida por el mismo vector *Ae. aegypti* (CONAVE, 2017). Desde la época prehispánica la fiebre amarilla fue un importante problema de salud en que el virus era transmitido por vectores silvestres y que se exacerbó con la introducción del *Ae. aegypti* en el siglo XV, causando epidemias importantes en gran parte de nuestro país. La Campaña de Erradicación de la Fiebre Amarilla en México logró contener y eliminar la circulación del virus registrándose el último caso el 7 de febrero de 1923 en Pánuco,

Veracruz (CONAVE, 2017). La OPS-OMS (2017) precisa que la vigilancia epidemiológica de la fiebre amarilla debe estar dirigida a la detección oportuna de la circulación del virus para orientar la implementación de acciones adecuadas de control que eviten nuevos casos, impidan la progresión de brotes y eliminen el riesgo de la reurbanización de la enfermedad, así como brindar tratamiento adecuado y oportuno de los casos. Aunque los síntomas son fiebre, dolores musculares (sobre todo de espalda), cefaleas, pérdida de apetito y náuseas o vómitos, un pequeño porcentaje de pacientes entran en una segunda fase, más tóxica donde son frecuentes la ictericia, el color oscuro de la orina y el dolor abdominal con vómitos, la mitad de estos pacientes muere en un lapso de 7 a 10 días. A diferencia de las otras tres enfermedades transmitidas por este vector, la fiebre amarilla puede prevenirse con una vacuna muy eficaz, segura y asequible. Una sola dosis es suficiente para conferir inmunidad y protección de por vida, sin necesidad de dosis de recuerdo. La vacuna ofrece una inmunidad efectiva al 99% de las personas vacunadas en un plazo de 30 días (OMS, 2016).

Los vectores

Aedes aegypti es considerado uno de los vectores de mayor importancia en salud pública a nivel mundial debido a que tiene la capacidad de transmitir varias enfermedades ocasionadas por diferentes arbovirus. Ha sido el vector principal de la fiebre amarilla, de los cuatro serotipos del virus dengue DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4, del chikungunya, y del Zika (OMS, 2017 y 2017, febrero). Es un mosquito de origen africano y originalmente selvático cuya capacidad de adaptación a los entornos domésticos y urbanos, junto a su fuerte antropofilia y antropofagia, le han facilitado la expansión geográfica con una amplia distribución mundial (OMS, 2017). Los estadios inmaduros del mosquito se crían en diversos contenedores con agua que pueden ser desde muy pequeños como una corcholata hasta de una pileta para almacenar agua con profundidad de hasta 2 m con paredes de 1.20 m, los cuales pueden encontrarse en ambientes

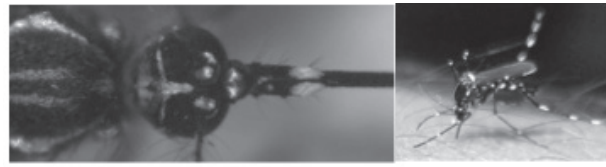
peri-domésticos así como intra-domésticos. A este mosquito se le conocía como uno más de los mosquitos de huecos de árboles (tree holes mosquitoes), y aunque ya está demasiado adaptado a los ambientes domésticos, tiene el potencial de colonizar nuevos tipos de criaderos u ocupar los criaderos silvestres, de tal forma que en el contexto del control vectorial, cuando las campañas de control larvario y eliminación de criaderos son exitosas en términos de cobertura y participación comunitaria, la presencia aunque a densidades bajas de este vector en su fase adulta, se debe a lo que ha dado en llamarse "criaderos crípticos" (aquellos inalcanzables para su control). Este tipo de criaderos tienen relevante importancia en el contexto del desarrollo de resistencia a insecticidas a nivel larvario, siendo responsables quizá de la preservación de genes susceptibles. El mosquito hembra puede producir hasta 400 huevos durante su vida, y esos huevos resisten condiciones ambientales secas más de un año, lo que se convierte en una de las más importantes estrategias del mosquito para que la especie sobreviva (Uribarren, 2017). Una característica de esta especie es que se alimenta más de una vez entre cada ovipostura, aumentando las probabilidades de que ingiera y transmita el virus (James and Harwood, 1969).

Aedes aegypti presenta dimorfismo sexual, y en la práctica, el macho puede distinguirse de la hembra por las antenas plumosas, palpos más largos y terminalia, un apéndice en forma de ganchos.

A *Ae. albopictus* se le conoce como el vector secundario del dengue, ya que no se ha incriminado para transmitir otros tipos de virus. La fase adulta de los dos vectores es fácilmente reconocida, pues presentan características morfológicas diferentes: en *Ae. aegypti* las escamas de la región dorsal del tórax (mesonoto) dan la apariencia de una lira, mientras que para *Ae. albopictus* están organizadas en una línea recta (fig. 1).

Ae. albopictus es una especie adaptativa e invasiva coexistiendo con o desplazando a *Ae.*

Figura 1. Dorso del tórax de *Ae. aegypti* (izquierda) y *Ae. albopictus* (derecha), fotografías tomadas por el Dr. Cuauthemoc Villarreal Treviño y Dr. Américo D. Rodríguez, respectivamente, INSP.



aegypti (Paupy et al., 2009), capacidad que ha incrementado debido a la deforestación, cambio climático y el incremento en el comercio global (Delatte et al., 2008). Ambas especies recientemente se han encontrado compartiendo criaderos artificiales en Tapachula (datos no publicados de nuestro laboratorio), aunque *Ae. albopictus* no demostró ser tan doméstico como *Ae. aegypti*, ya que este último fue recolectado en mayor proporción (74.5%), se ha sugerido que se encuentra en el proceso de domiciliación. *Ae. albopictus* presenta una amplia gama de hábitats naturales para oviponer incluyendo huecos de árboles, depósitos de rocas, cáscaras de coco, axilas de hojas y muñones de bambú (Hawley, 1988; Bhaskar et al., 2011).

El control

A cualquier método utilizado para bajar las poblaciones de insectos vectores y consecutivamente bajar la incidencia de la enfermedad que transmiten se le llama control. Por lo tanto, el control de vectores tiene el objetivo de disminuir la abundancia de las poblaciones de insectos y de reducir el contacto humano-vector y puede ser preventivo o reactivo, cuando ya existe la transmisión de virus.

Para que las estrategias de control tengan éxito se debe de tomar en cuenta las características fisiológicas de la especie a controlar, incluyendo el estado de desarrollo en que se encuentra, y el comportamiento que desarrolla la especie, ya que depende de eso el llevar a cabo la elección del insecticida ideal y el método para su control. En mosquitos endofílicos (reposan en interiores después de alimentarse) se utiliza rociado intradomiciliario, y para controlar especies exofágicas

(se alimentan en el exterior de viviendas) se utilizan rociados en nebulización.

Desde 1947, en un esfuerzo para prevenir la fiebre amarilla urbana, que también es transmitida por *Ae. aegypti*, la Agencia Sanitaria Panamericana (PASB, por sus siglas en inglés) promovió campañas intensivas estableciendo acuerdos de apoyo cooperativo, proporcionando personal y material para la ejecución del programa de erradicación de *Ae. aegypti* (Brathwaite et al., 2012). Para 1962, 18 países del continente y un número de islas del Caribe lograron la erradicación (PAHO, 1997), pero no fue erradicado de Cuba, Estados Unidos, Venezuela y muchas otros países del Caribe, donde ocurrieron epidemias durante ese periodo (Brathwaite et al., 2012). Desafortunadamente la campaña se discontinuó oficialmente a partir de 1970, y rápidamente empezó a re-infestar países de donde había sido erradicado a tal grado que en 1997, la distribución geográfica de *Ae. aegypti* fue más amplia que su distribución antes del programa de erradicación (Badi et al., 2007). La caída del programa de erradicación fue debida principalmente a la pérdida de la importancia política en la mayoría de los países que habían logrado la erradicación, por lo que la vigilancia epidemiológica declinó gradualmente de tal manera que las re-infestaciones pequeñas no pudieron ser ya detectadas y la estructura centralizada del programa resultó en una respuesta lenta a las re-infestaciones (PAHO, 1997). Adicionalmente, la insuficiencia de la sanidad ambiental en los centros urbanos que crecían velozmente y la rápida expansión de viajes domésticos e internacionales favorecieron la dispersión pasiva de los mosquitos.

Hay muchas razones por las que el dengue y otras arbovirosis transmitidas por *Ae. aegypti* en las Américas se expandan, una muy importante es que las extensas infestaciones del vector ocurren debido a que los métodos tradicionales de control ya no son tan eficaces contra el *Ae. aegypti*, debido mayormente a la resistencia a insecticidas. Sin embargo, el control del dengue,

chikungunya y zika se basan principalmente en el control del vector, con el propósito de reducir la densidad de las poblaciones del mosquito a un nivel en el cual no ocurra la transmisión epidémica del virus. Dicho control se puede llevar aplicando medidas químicas, biológicas o ambientales. Las medidas de control mayormente empleadas por los programas, sobre todo en México, incluyen principalmente la reducción de fuentes (criaderos) mediante campañas de promoción para su eliminación, la aplicación de larvicidas químicos y biológicos en criaderos no desechables, y el uso de insecticidas adulticidas en aplicación espacial a ultra-bajo volumen (UBV) y en rociado residual intradomiciliario (CENAPRECE, 2016). En este contexto, el uso de insecticidas sigue siendo justificado, aun con la presencia de resistencia en muchas de las especies de interés en salud pública (Hemingway et al., 1997, Dzul et al., 2007, Aponte et al., 2013).

Además del diferente impacto que puedan tener en la transmisión de las enfermedades, los diferentes métodos de control también van a tener un impacto en la rapidez con que se desarrolle la resistencia a los insecticidas. El principal impacto del uso de insecticidas es cuando se mantiene el uso indiscriminado de un solo ingrediente activo por períodos de tiempo muy prologado (Rodríguez et al., 2006). Aunado a esto, si las aplicaciones abarcan áreas completas donde no queda ningún área sin tratar (refugios), rápidamente se estará impactando en la presencia de genes susceptibles que pudieran diluir la resistencia por selección de individuos resistentes (Georghiou and Taylor, 1986). Lo anterior, sumado al método de aplicación como factor operacional que afecta el desarrollo de la resistencia (Georghiou and Taylor, 1986), ha sido quizá la razón principal para el desarrollo tan rápido de la resistencia a los piretroides en *Ae. aegypti* en México y en otras partes del mundo.

Se han reportado casos de resistencia a niveles casi fijos en las poblaciones de *Ae. aegypti* en México por diversos autores (Ponce et al., 2009, Aponte et al., 2013).

El plan de prevención y control en Brasil, donde se han reportado el mayor número de casos de zika en América, así como de microcefalia en niños por transmisión del virus Zika durante su desarrollo embrionario o fetal, contempla una minuciosa base de datos sobre las infecciones, el contar con una prueba diagnóstica confiable, el control del vector (utilizando insecticida, Wolbachia, mosquitos transgénicos, larvicidas, mejoramiento de la vivienda, etc), definir un protocolo de manejo de la infección, especialmente durante el embarazo, investigación sobre vacunas y replanteamiento de las prioridades en el sistema de salud (Barreto et al., 2016).

Vigilancia entomológica

En el contexto de la epidemia por el virus del Zika, la OMS (2016) hace una revisión sucinta sobre la vigilancia entomológica para especies de Aedes, sobre la cual, se basa en buena medida esta sección.

La vigilancia entomológica en mosquitos tiene diferentes propósitos, entre los que destacan el muestreo de mosquitos adultos en el contexto del monitoreo de la transmisión, así como para medir el impacto de las intervenciones de control en los programas. También se hace vigilancia para ver cambios en la dispersión de las poblaciones de una especie o bien de especies (distribución geográfica), para medir cambios poblacionales en las especies de mosquitos (que también mide el impacto de una intervención como por ejemplo el control químico), y también, en el contexto del monitoreo de la resistencia a insecticidas. La vigilancia entomológica finalmente servirá para la toma de decisiones en el control vectorial.

Existen diferentes métodos de muestreo para realizar la vigilancia entomológica y el uso de cada uno de ellos requiere conocer los objetivos de la vigilancia, los recursos y en algunos casos el grado de infestación de las poblaciones de mosquitos.

Muestreo de huevos

Las ovitrampas pueden estimar indirectamente infestaciones de Aedes adultos mediante su

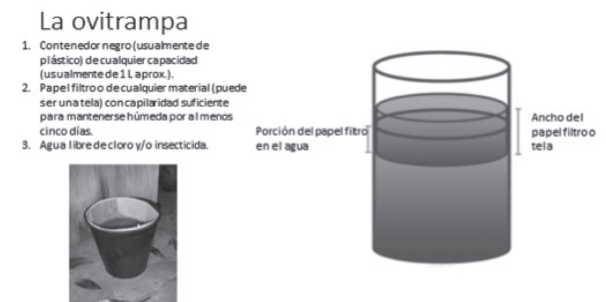
positividad, la tasa de oviposición y número de huevos por manzana. Mientras que la colección de larvas requiere de personal más capacitado para buscar todos los lugares de reproducción posibles, el uso de ovitrampas requiere sólo personal con el mínimo conocimiento sobre el mejor lugar para colocar la ovitrampa y cómo colocar el papel filtro en ella. El uso de ovitrampas es también recomendado cuando las densidades son muy bajas, es decir, cuando el índice de Breteau es menor a 5. Además, el uso de ovitrampas podría ser percibido como menos “invasivo” de la privacidad de los hogares. Las ovitrampas se pueden fabricar a partir de recipientes de PET desechados de 2 L de capacidad, cortándolos a la mitad y pintándolos con pintura negra (fig. 2).

Muestreo de larvas y pupas

El método de recolección de larvas puede proporcionar una amplia gama de índices tales como: 1) el índice de la casa (el porcentaje de casas infestadas con larvas o pupas), 2) el índice de contenedores (el porcentaje de contenedores de agua infestados con larvas o pupas), y 3) el índice de Breteau (el número de contenedores positivos por 100 casas inspeccionadas). Sin embargo, donde quiera que las exploraciones de larvas indiquen infestaciones bajas (cuando el índice de Breteau <5), las ovitrampas pueden usarse como un método de vigilancia complementario.

El muestro de larvas es el más utilizado por razones de practicidad y reproducibilidad. No obs-

Figura 2. Ovitrapa y colocación del papel filtro o peyllón para la obtención de huevos embrionados de Ae. aegypti aptos para su posterior crianza en un insectario.



tante, es importante señalar que los índices larvarios son indicadores pobres de la producción de adultos (Service, 1993; Tun-Lin et al., 1996).

Muestreo de mosquitos adultos

Este tipo de muestreo puede proporcionar información muy valiosa cuando se trata de evaluar intervenciones con adulticidas. No obstante, además de ser más laboriosos y costosos, los resultados son menos reproducibles que al muestrear inmaduros.

Dentro de éste tipo de muestreo se incluyen diferentes tipos de colecta, tal como se describen a continuación.

Colectas en sitios de reposo. Dado que algunos mosquitos como el *Aedes aegypti* suelen reposar dentro de las viviendas en sitios oscuros como debajo de las camas, dentro de closets, detrás de muebles, etc., cuando se colecta mediante éste método se hace uso de aspiradores manuales o bien de aquellos operados por baterías. El uso de aspiradores tipo mochila operados por baterías de 6 o 12 volts, han demostrado ser un método confiable para el muestreo de mosquitos adultos en interiores y alrededores de las casas. Cuando los niveles de infestación de adultos son bajos, el solo uso de casas positivas a adultos como indicador, puede ser usado algunas veces.

Colectas mediante trampas pegajosas. Esta técnica implica tanto el uso de trampas de oviposición (ovitrapas) como de trampas de reposo, las cuales (ambas) pueden ser cebadas mediante atrayentes. Las trampas de reposo pueden ser colocadas en sitios donde es probable que los mosquitos "transiten" de adentro hacia afuera de la casa, o bien en sitios donde los mosquitos suelen reposar ya sea dentro o fuera de las casas. Este tipo de trampas por lo regular son algún tipo de contenedor o caja, de color negro y la superficie pegajosa suele estar en el interior de las mismas. Por otro lado, esta técnica en ovitrapas suele incluir algún substrato pegajoso, ya sea en una pequeña madera dentro de la ovitrapa, o bien impregnando la pared interior de la ovitrapa con el material pegajo-

so. Es importante señalar que si bien para fines de estimación de mosquitos adultos por casa, ambos métodos (ovitrapas y trampas de reposo) son igualmente aceptables, los dos tipos de muestreo están colectando fracciones de la población de mosquitos en estadios fisiológicos diferentes. Mientras que la ovitrapa colecta hembras grávidas, las trampas de reposo colectan hembras por o después de alimentarse.

Ventajas y desventajas de cada tipo de muestreo para el monitoreo de la resistencia

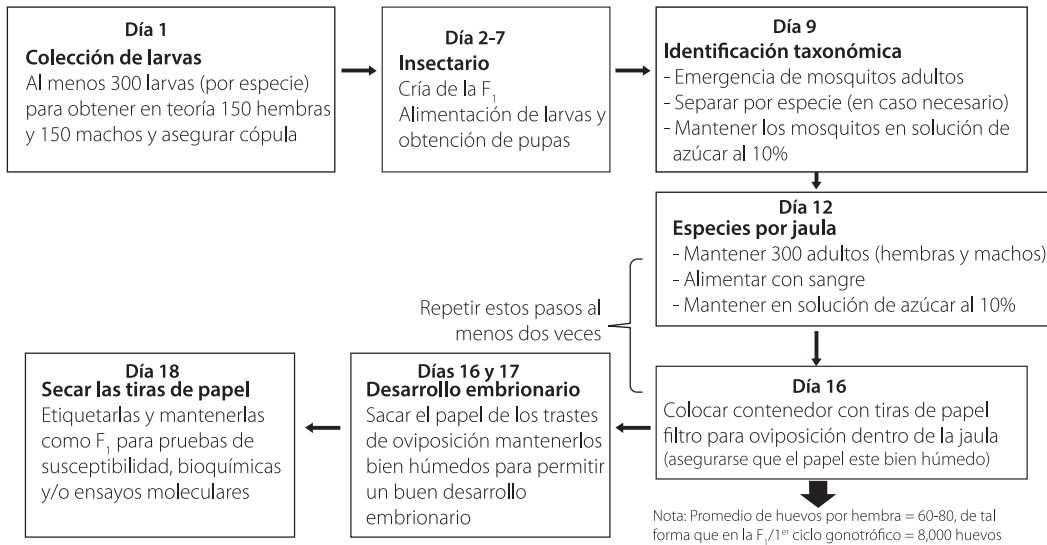
Algunos programas de control de vectores utilizan colecciones de larvas para calcular los índices entomológicos, por lo que en el contexto de la vigilancia de la resistencia a los insecticidas, este método de recolección puede utilizarse para obtener el material biológico necesario para las pruebas de susceptibilidad. Además, es el método de colecta recomendado por la OMS para el monitoreo de resistencia a insecticidas (WHO/ZIKV/CV/16.1 y 16.2). La tabla 3 concentra comparativamente las ventajas y desventajas de cada método para la vigilancia entomológica.

Existen dos opciones para obtener los mosquitos adultos para los bioensayos cuando se usa recolecta de larvas: 1) recolección de un gran número de larvas y pupas, suficiente para tener el número requerido de mosquitos adultos dependiendo del número de insecticidas que van a ser probados al mismo tiempo y; 2) recolección de una gran cantidad de larvas de cada instar, suficiente para tener el mínimo requerido de mosquitos adultos para considerar un F0 y luego continuar la cría hasta producir un F1 (como se sugiere en la fig. 3).

Por otro lado, cuando se utilizan ovitrapas, será necesario colocar suficientes para recoger los huevos necesarios para producir al menos 300 larvas por sitio de recolecta.

Para optimizar tiempos cuando se trata de huevos colectados de ovitrapas, se debe asegurar que los huevos hayan embrionado en la misma o darles un tratamiento de humedad pos-

Figura 3. Guía rápida para la recolección de larvas para pruebas de susceptibilidad.



terior a su colecta, para lo cual debe de cuidarse la absorción de agua o capilaridad del pabellón o papel filtro usado en la ovitrampa. En un experimento realizado en la zona urbana de Tapachula, Chiapas, a temperatura de 34-36°C y humedad relativa de 20-22%, se demostró que el pellón no mantiene la humedad suficiente para embriionar los huevos, a diferencia del papel filtro, que a pesar de las altas temperaturas conservó la humedad necesaria para el desarrollo embrionario (datos no publicados). Para que la humedad ascienda por todo el pellón, se debe colocar de tal forma que la tira (de las dimensiones recomendadas por la Secretaría de Salud) se sumerja 6 cm en el agua de la ovitrampa. En este mismo experimento, se encontró que en promedio el agua en las ovitrampas se evapora de 0.6 a 1 ml por día. De manera práctica, y de acuerdo a la guía metodológica de ovitrampas de la Secretaría de Salud recomienda utilizar tiras de pellón de un ancho de 12 x 34 cm y que se sumerja un 50% en agua (fig. 2), con la finalidad de mantener húmedo el pellón por al menos 7 días (tiempo en que estará de atrayente en la ovitrampa y se recogen las tiras). Posteriormente el papel filtro o pellón con los huevos retirado de la ovitrampa se debe de mantener dentro de una cámara húmeda entre 48 y 56 h para asegurar el completo proceso de embriación, con un tiempo no mayor de cinco

horas en el traslado de las mismas, ya que después de este tiempo los huevos se deshidratan (datos no publicados).

Al final, en cuanto al diagnóstico de la resistencia a los insecticidas, es importante considerar el número de mosquitos requeridos por concentración por prueba (fig. 4).

Que hacer después del muestreo para medir resistencia

Cría y manejo de mosquitos en insectario

En un insectario son necesarias al menos dos áreas: una para la cría de la etapa larvaria en charolas y otra para la etapa adulta en jaulas (fig.5). Las condiciones en el insectario deben

Figura 4. Número de mosquitos adultos requeridos para los diferentes tipos de pruebas para detectar la resistencia a los insecticidas.

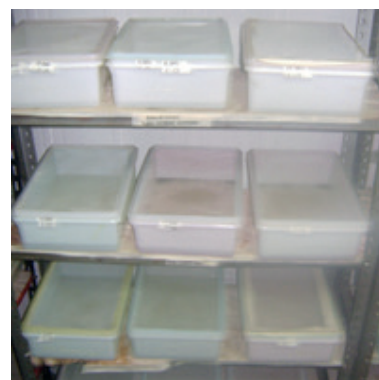
Material biológico necesario para:	
Bioensayos de susceptibilidad:	
	300 mosquitos hembra x concentración más 100 para control/concentración = 400 por insecticida (considerando usar solo la concentración diagnóstico)
	Para estudios de línea base (al menos 5 concentraciones): 400x5=2000 mosquitos hembra
Ensayos bioquímicos	150 hembras y 150 machos
Ensayos moleculares	100 hembras (machos solo si los objetivos del estudio lo requieren)

mantener fotoperiodos de luz:oscuridad de 12:12 h, preferentemente automatizado; con temperaturas del agua para las larvas idealmente de 27°C y en el cuarto de cría de mosquitos adultos de 25°C; una humedad relativa de 70% en promedio. Los mosquitos adultos se pueden mantener en jaulas de 30 cm por lado para 500 ejemplares, la proporción hembras y machos en partes iguales y mantenidos juntos al menos por dos días para asegurar su copulación. Una solución azucarada al 10% en algodón debe de ser proporcionada cada tercer día en la parte superior de la jaula (fig. 5).

Entre los dos y tres días de edad, los mosquitos hembras deben de ser alimentados con sangre para obtener la producción de huevos, ya sea de una fuente directa como un conejo o de sangre obtenida de una casa comercial. En el caso de este último se debe de contar con un sistema de alimentación artificial donde se mantenga la sangre a la temperatura óptima para atraer a los mosquitos. A las 72 horas después de la alimentación con sangre las hembras empiezan a ovipositar en recipientes con agua colocados dentro de las jaulas, una vez puestos los huevos en el agua, se completa el desarrollo embrionario en 48 h o más, dependiendo de las condiciones físicas del ambiente. Posteriormente la larva emerge del huevo, en el caso de huevos traídos de campo, éstos deben de haber estado bien embrionados antes de secarse, para que pueda eclosionar y obtenerse una buena cantidad de ellos, y preferentemente no haberse pasado más de seis meses guardados en papel filtro, pellón o papel revolución, después de su obtención de ovitrampas en el campo.

Generalmente el tiempo de desarrollo de la etapa de larva es de una semana (Hien, 1975) o más, dependiendo de los factores fisiológicos como temperatura, disponibilidad de alimento, tipo de contenedor y sus características genéticas (Crovello and Hacker, 1972; Focks et al., 1981; Fouque and Carinci, 1996). El primer estadio larval se identifica principalmente por

Figura 5. Cuartos separados para cría de larvas (izquierda) donde se observan las charolas conteniendo las larvas y tapadas con tela mosquitera; cría de mosquitos adultos (centro) donde se observan jaulas de 30 cm de cada lado con una tela suficientemente larga provista de agujero para la introducción de tubos de captura y recipientes pequeños de agua para la ovispostura; provisión en algodones de agua azucarada al 10% para la alimentación de adultos (foto tomada del Manual de Insectario del CRISP/INSP, López et al, enviado).



el diente de eclosión presente en la parte dorsal de su cabeza y el sifón, ambos blandos y transparentes. En el segundo estadio, el sifón y la cápsula cefálica se endurecen y oscurecen adquiriendo el tamaño final de su desarrollo larval, y la larva puede medir de 1 a 5 mm de longitud (Bates, 1949). Durante el tercer y cuarto estadio el tórax y el abdomen aumentan de tamaño en cada fase y la diferencia es que en el tercer estadio la cabeza presenta rudimentos de las trompetas ventiladoras y su cabeza no se oscurece por completo.

El ciclo larval en esta especie es de 5-8 días, dependiendo de las condiciones físicas y alimentarias y posteriormente pasa a ser pupa. El alimento para larvas debe de esterilizarse y de mantenerse en el refrigerador después de haberse pasado por un tamiz de 30 mallas, lo cual produce un grano no muy fino y permite que la larva se alimente tanto en la superficie como en el fondo. Las charolas para las larvas deben de medir preferentemente 22.5 x 35.5 x 5 cm con 600 ml de agua para 500 larvas. Se proporcionan 0.4 g de alimento por charola el primer y tercer día de edad de las larvas, y 0.8 g a partir del cuarto día hasta que pupen.

En el insectario del Centro Regional de Investigación en Salud Pública/Instituto Nacional de Salud Pública (CRISP/INSP), ubicado en Tapachula Chiapas, se mantienen colonias no solo de aedinos sino también de anofelinos, y el alimento utilizado para las larvas son croquetas de ratón para laboratorio, las cuales se trituran en una licuadora, se tamizan y se esterilizan en una autoclave a 121 °C durante 15.20 m.

El tiempo de duración en el estado de pupa es de 2-3 días, y al final de la metamorfosis la parte dorsal del cefalotórax se rompe y emerge el mosquito adulto. Las pupas deben de separarse diariamente para llevar un control de la edad del mosquito, usando goteros de plástico de 5 ml para colocarlos en recipientes dentro de las jaulas para que emerjan dentro de las 48-72 h.

La resistencia a insecticidas: Cómo se genera, cómo se reproduce, cómo se mide, cómo se maneja

La resistencia se define como "característica hereditaria que imparte una tolerancia incrementada a los plaguicidas o grupos de plaguicidas, de tal forma que los individuos resistentes sobreviven a concentraciones de los compuestos que normalmente serían letales para la especie" (WHO, 1992). En la práctica se dice que una población de insectos es resistente sólo cuando la resistencia ha alcanzado niveles que ocasionan fallas en el control con la dosis o concentración recomendada del insecticida. De tal forma que la resistencia es un proceso evolutivo producto de una presión de selección, siendo la resistencia un rasgo que a un individuo que lo posee le permite sobrevivir a las aplicaciones del tóxico.

La resistencia entonces se mantiene y aumenta a medida que se siguen aplicando los insecticidas de manera indiscriminada y sin considerar los factores biológicos y operacionales asociados con dicho proceso de selección.

La resistencia puede llegar a niveles no tan solo de una frecuencia muy elevada en las poblaciones de mosquitos, sino que también que se presente resistencia cruzada o resistencia múltiple. La resistencia cruzada es cuando un mecanismo de resistencia confiere resistencia a dos insecticidas de grupos diferentes, por ejemplo, la resistencia al derribo (KDR) confiere resistencia a DDT y piretroides por igual. Por otro lado, la resistencia múltiple consiste cuando un insecto presenta varios mecanismos de resistencia que le confieren resistencia a diferentes grupos de insecticidas.

La resistencia se desarrolla por la presión de los insecticidas que puede darse tanto a nivel de su uso en salud pública (la forma más directa en vectores urbanos principalmente), como también por el uso de insecticidas agrícolas (en vectores de zonas rurales casi exclusivamente). De tal forma que cuando poblaciones de vectores son presionadas multidireccionalmente,

el desarrollo de la resistencia tenderá a ser más rápido. Para corroborar si las fallas en el control de la enfermedad son ocasionadas por la resistencia a los insecticidas y descartar fallas operativas en la aplicación de los insecticidas, se requiere contar con información basal sobre el estado de susceptibilidad/resistencia a los mismos. Además, para proponer un cambio a otro producto, o bien implementar un programa de manejo de resistencia a insecticidas, es imprescindible conocer también a que otros productos son susceptibles o resistentes las poblaciones de *Aedes* spp, así como qué mecanismos de resistencia están involucrados o en proceso de desarrollo en dichas poblaciones de mosquitos. En ese sentido, se requiere medir la resistencia mediante bioensayos de susceptibilidad, pruebas bioquímicas para determinar mecanismos metabólicos involucrados y mediante pruebas moleculares para determinar si existe resistencia por alteración en el sitio de acción de los piretroides.

Los bioensayos son la forma más directa para medir resistencia a insecticidas, ya que si un individuo o población expuesta a una concentración discriminante muere, es susceptible y si sobrevive, es resistente, a este insecticida en particular. No obstante, no proporciona información sobre qué mecanismo o mecanismos están ocasionando esa resistencia, aunque mediante el uso de algunos sinergistas o inhibidores de enzimas incorporados al bioensayo, se puede determinar si la resistencia es metabólica y qué enzimas son las responsables. Sin embargo, ese individuo o individuos tratados en un bioensayo, solo podrán proporcionar información sobre el insecticida usado en el bioensayo así como a que enzima si se usa un sinergista.

Las pruebas bioquímicas por otro lado, permiten obtener información sobre diversos mecanismos potenciales ocasionando resistencia a nivel individual, ya que se trabaja con alícuotas de un homogenizado obtenido por mosquito. Las pruebas bioquímicas disponibles son capaces de detectar niveles o actividad enzimática ele-

vados de esterasas generales, monooxigenasas, glutatión s-transferasas así como porcentajes de la acetilcolinesterasa inhibidos por el propoxur. Las pruebas moleculares disponibles hasta ahora, solo permiten determinar la frecuencia y tipo de mutación involucrada con alteraciones en el sitio de acción de piretroides y DDT, la cual se conoce como resistencia al derribo o KDR. Esta información también se obtiene a nivel de mosquito individual.

Existen en la actualidad dos tipos de bioensayos más comúnmente usados para diagnosticar resistencia en mosquitos adultos: los bioensayos de la OMS y los bioensayos del CDC. En el caso de bioensayos con larvas, únicamente se utiliza el protocolo propuesto por la OMS.

Una ventaja de los bioensayos del CDC es que no requieren de equipos especializados ya que solo se usan botellas Wheaton de 500 ml, las cuales se pueden impregnar fácilmente con cualquier insecticida a las concentraciones que se requieran. Mientras que los bioensayos de la OMS requieren de los tubos especiales de la OMS, así como de papeles impregnados, los cuales también deben ser requisitados a través de la OMS. Sin embargo, esto a su vez le confiere una ventaja a los bioensayos de la OMS, ya que al ser preparados en un solo lugar los papeles impregnados, los posibles errores por la impregnación son minimizados, lo cual también hace que los resultados obtenidos en diferentes puntos geográficos y por diferentes grupos de trabajo, sean comparables.

Los bioensayos pueden usarse para diagnosticar el estado de resistencia usando una concentración discriminante previamente establecida y normalmente avalada por un comité de expertos de la OMS o bien por el CDC. La concentración discriminante de acuerdo a la OMS es establecida como el doble de aquella que ejerce el 100% (o bien la CL 99.9) de mortalidad en una población normal susceptible. Por otro lado, el CDC propone una concentración discriminante como aquella concentración que ejerce un de-

rribo (interpretado como mortalidad para efectos prácticos) del 100% de una población susceptible a un tiempo (diagnóstico) determinado (normalmente 30 min).

Los bioensayos sirven también para establecer una línea base y comparar las respuestas entre dos poblaciones de la misma especie, determinar concentraciones letales (CL) 50, 90, 99, etc., así como para determinar una concentración discriminante. Para establecer las CLs en un bioensayo, se requiere realizar un análisis Probit.

Las técnicas de la OMS para larvas y para mosquitos adultos, así como la técnica del CDC, están detalladas en los manuales de la OMS (WHO, 2016) y del CDC (CDC, 2010). Por otro lado, una revisión de las técnicas de la OMS y del CDC, concluyó que ambas técnicas pueden no ser intercambiables (Aïsou et al., 2013). También concluyen que mientras la concentración diagnóstico de la OMS no es muy sensible para detectar cambios a niveles muy bajos o muy altos de resistencia, el tiempo de derribo de la técnica del CDC es un pobre estimador de mortalidad a las 24 horas (Owusu et al., 2015).

La resistencia a insecticidas es un problema que se incrementa en muchos vectores de enfermedades. Para el control del paludismo, desde hace muchos años la gran mayoría de programas en el mundo han cambiado del rociado intra-domiciliar al uso de mosquiteros impregnados o mosquiteros tratados de larga duración (long-lasting treated nets, LLTN), los cuales son tratados principalmente con piretroides debido a las características irritantes de éstos insecticidas, lo cual ocasiona un efecto repelente en los mosquitos. En el caso del control de vectores de arbovirosis (*Ae. aegypti* principalmente), en la mayoría de los países los piretroides también han sido los más usados en los últimos años. En México, se han usado como adulticidas espaciales en exteriores el DDT desde 1950 hasta 1999, el cual se compartió con el uso del malatión de 1981 a 1989, y luego con el uso del clorpirifos de 1996 a 1999. A partir de 1999 el DDT se vio sustituido por los piretroides,

primero por la permetrina en una mezcla con esbiol y butóxido de piperonilo durante diez años, que a partir de 2009 se cambió por otro piretroide de la d-fenotrina, de la cual se han ido adicionando diferentes formulados. En el 2009 volvió a autorizarse el uso del clorpirifos, mientras que el organofosforado malatión fue también reautorizado para usarse a partir de 2012. La bifentrina fue otro piretroide autorizado a usarse a partir de 2014. Los insecticidas que empezaron a usarse a partir de 1999 siguen estando autorizados para su uso en los diferentes estados de la República Mexicana (información tomada de la página web de Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades, CENAPRECE).

El conocimiento de los mecanismos básicos responsables de esta resistencia a los insecticidas más comúnmente usados, están bien establecidos (Hemingway and Ranson, 2000). De los diferentes tipos de mecanismos de resistencia que se pueden encontrar descritos en la literatura, son dos los principales en insectos: incremento en el grado de detoxificación por metabolismo del insecticida que está a menudo asociada con cambios en la actividad de las monooxigenasas (Berge et al., 1998), o cambios de sensibilidad en el sitio de acción, debida a mutaciones en los canales de sodio (Ranson et al., 2000; Martínez-Torres et al., 1998). Los primeros reportes de resistencia a piretroides en *Ae. aegypti* fueron debido a la reacción cruzada causada por el DDT implicando el mecanismo de kdr (knock down resistance) (Hemingway et al., 1989). A principios de la década pasada se detectaron varias mutaciones que confieren esta resistencia cruzada en *Ae. aegypti* de varias partes del mundo, que no se correlacionaron con las típicamente reportadas en las especies de insectos más comúnmente estudiados (Brenques et al., 2002).

Los primeros indicios de resistencia al DDT en especies del género *Aedes* (*Aedes taeniorhynchus* Wiedemann y *Aedes sollicitans* Walker) se dieron en el año 1947, un año posterior a la introducción de este insecticida en el control de vectores (Brown, 1986).

En *Ae. aegypti*, la resistencia al DDT se dio por primera vez en la República Dominicana y Trinidad en el año 1954 (Brown, 1958 y sus referencias). Por otro lado, los primeros casos de resistencia a OP y CARB en *Ae. aegypti* se reportaron en 1960 en Puerto Rico (Fox et al., 1960).

La resistencia cruzada, fue documentada por primera vez entre el DDT y PYR en una cepa de *Ae. aegypti* procedente de Bangkok (Chadwick et al., 1977).

En general, la resistencia a los cuatro grupos principales de insecticidas (OC, CARBs, PYRs y OPs) en *Ae. aegypti* se encuentra ampliamente distribuida (Ranson et al., 2010).

En México, Flores et al (2006) encontraron diferentes mecanismos de resistencia (α y β esterasas y P450) en *Ae. aegypti* colectados en cinco localidades del estado de Quintana Roo (Benito Juárez, Cozumel, Isla Mujeres, Lázaro Cárdenas y Solidaridad) que confieren resistencia a insecticidas organofosforados, carbamatos y a ciertos piretroides; pero no encontraron los mecanismos de la acetilcolinesterasa alterada (iAChE) o las glutatión S-transferasas (GSTs) en esas poblaciones de mosquitos. Posteriormente, Saavedra et al (2007) encontraron que la resistencia al PYR permetrina en Isla Mujeres Quintana-Roo, está asociada a la mutación del alelo Ile1011Val en *Ae. aegypti*, esta mutación también fue encontrada aunada a la mutación Val1016Iso en poblaciones de *Ae. aegypti* en las localidades Puerto Chiapas, Pijijiapan, Huehuetan, Huixtla, Motozintla y Escuintla del estado de Chiapas.

El grado de resistencia en una población de insectos vectores va a depender de diversos factores, que incluyen biológicos, genéticos, y operativos (Gehorgiou and Taylor, 1986). De lo operativos destacan tanto el volumen y la frecuencia de las aplicaciones de los insecticidas, los cuales pueden afectar en mayor o menor grado de acuerdo a las características inherentes de las especies de insectos involucradas (Hemingway and Ranson, 2000). La práctica

del uso de insecticidas hasta que se desarrolle la resistencia se ha tornado un factor limitante y está acabando con el número de insecticidas disponibles para el control de vectores. Las rotaciones, mosaicos y mezclas de insecticidas, han sido propuestos como herramientas del manejo de resistencia (Curtis, 1985; Curtis et al., 1993; Roush, 1989; Penilla et al., 1998; Rodríguez et al., 2006). Se han propuesto modelos matemáticos para estimar la optimización para usar estas herramientas (Tabashnik, 1989). Estos modelos se han llegado a probar solo raramente en condiciones de campo para insectos vectores, debido a las dificultades de la práctica y a estimación de cambios en las frecuencias de genes de resistencia en grandes muestras de insectos (Hemingway et al., 1997). Sin embargo, con el advenimiento de diferentes técnicas químicas y moleculares para la estimación de la frecuencia de genes de resistencia, la detección de resistencia a insecticidas en el campo y su monitoreo se ha tornado más factible. De estas estrategias propuestas, en México se evaluaron las rotaciones y el rociado en mosaico en el vector de paludismo *Anopheles albimanus*, donde después de cinco años demostraron que la tasa de resistencia y los mecanismos involucrados, se desarrollaron más rápidamente en las áreas tratadas con un mismo insecticida durante los cinco años del estudio, en comparación con las áreas donde se rotaron anualmente los insecticidas o donde se aplicó un rociado en mosaico de dos insecticidas de diferentes grupos toxicológicos (Rodríguez et al., 2006).

Dado el panorama de resistencia en el vector del dengue, chikungunya y zika en México, se requiere de un esquema de uso de insecticidas que incorpore los principios básicos del manejo de resistencia. Sin embargo, hasta la fecha dichas estrategias como las rotaciones, no han sido evaluadas. En la actualidad, ya existe una iniciativa con financiamiento para evaluar el manejo de resistencia para preservar la susceptibilidad a piretroides que aún queda en *Ae. aegypti*. Este estudio se realizará en Tapachula, Chiapas, como proyecto colaborativo entre el Instituto

Nacional de Salud Pública y la Universidad Estatal de Colorado, con financiamiento de los Institutos Nacionales de Salud de los EEUU.

Conclusiones

El control de vectores de enfermedades no ha variado mucho en los últimos años. Particularmente en el control de *Ae. aegypti*, se sigue usando la nebulización espacial y la aplicación de larvicidas como herramientas de contención en situaciones de brote. No obstante, la reincorporación de insecticidas no piretroides, ha sido una contribución positiva dado el panorama de resistencia.

La vigilancia entomológica es de suma importancia para el control de vectores, y en el contexto de la resistencia, el método recomendado por la OMS para obtener el material biológico es la colecta de larvas. Sin embargo, la practicidad del uso de ovitrampas está bien documentado como herramienta para el monitoreo de otros parámetros importantes en el control de vectores. Por lo tanto, el seguimiento de algunas recomendaciones para mejorar la calidad de los huevos en las colectas con ovitrampas, puede hacer la diferencia entre una buena o pobre estimación de la resistencia a insecticidas.

De los métodos para medir resistencia a insecticidas, los bioensayos son el método más directo. No obstante, tanto el método de la OMS como el del CDC tienen sus ventajas y desventajas. Así mismo, se tiene documentado que ambos métodos no son intercambiables ni comparables hasta ahora. La elección del bioensayo para el monitoreo de resistencia, va a depender de en gran medida de la facilidad para su implementación, lo cual incluye la adquisición de los materiales y equipos.

Dado que los factores genéticos y biológicos/ecológicos que afectan el desarrollo de resistencia a insecticidas no son controlables, los factores operacionales como el tipo o de aplicación, selección de insecticida, umbral de aplicación y el área de aplicación, principalmente, pueden ser determinantes y deben ser considerados en un programa de manejo de resistencia a insecticidas.

Bibliografía

- Aïzoun N., Ossè, R., Azondekon, R., Alia, R., Ousou, O., Gnanguenon, V., Aikpon, R., Padonou, G. G., & Akogbéto, M. (2013). Comparison of the standard WHO susceptibility tests and the CDC bottle bioassay for the determination of insecticide susceptibility in malaria vectors and their correlation with biochemical and molecular biology assays in Benin, West Africa. *Parasites & Vectors*, 6, 147.
- Aponte, H. A., Penilla, R. P., Dzul-Manzanilla, F., Che-Mendoza, A., López, A. D., Solis, F., Manrique-Saide, P., Ranson, H., Lenhart, A., McCall, P. J. & Rodríguez, A. D. (2013). The pyrethroid resistance status and mechanisms in *Aedes aegypti* from the Guerrero state, Mexico. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107, 226-234.
- Badii, M. H., Landeros, J., Cerna, E. & Abreu, J. L. (2007). Ecología e historia del dengue en las Américas. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 2(2), 248-273. ISSN 1870-557X.
- De Araujo, T. V., Rodrigues, L. C., de Alencar Ximenes, R. A., de Barros Miranda-Filho, D., Montarroyos, U. R., de Melo, A. P., . . . Turchi, C. M. (2016). Association between Zika virus infection and microcephaly in Brazil: preliminary report of a case-control study. *Lancet Infectious Diseases*, 16 (12), 1356–1363.
- Bates, M. (1949). *The Natural History of Mosquitoes*. New York: The Macmillan Company. DOI:10.1002/sce.3730340339
- Bergé, J., Feyereisen, R., & Amichot, M. (1998). Cytochrome P450 monooxygenases and insecticide resistance in insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 353, 1701-1705. DOI: 10.1098/rstb.1998.0321
- Bhaskar, B., Harikumar, P.S., Jayakrishnan, T. & George, B. (2011). Characteristics of *Aedes (stegomyia) albopictus* skuse (diptera : culicidae) breeding sites. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine of Public Health*, 42 (5), 1077-1082.

- Brathwaite, D. O., San Martin, J. L., Montoya, R. H., del Diego, J., Zambrano, B., & Dayan, G. H. (2012). The history of dengue outbreaks in the Americas. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 87, 584–593.
- Brengues, C., Hawkes, N. J., Chandre, F., McCaroll, L., Duchon, S., Guillet, P., . . . Hemingway, J. (2003). Pyrethroid and DDT cross resistance in *Aedes aegypti* is correlated with novel mutations in the voltage-gated sodium channel gene. *Medical Veterinary and Entomology*, 17, 87–94.
- Brown, A. W. A. (1958). The insecticide-resistance problem: A review of developments in 1956 and 1957. *Bulletin of the World Health Organization*, 18 (3), 309–321.
- Brown, A. W. A. (1986). Insecticide resistance in mosquitoes: a pragmatic review. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1986 (2), 123–140.
- Casas-Martínez, M. & Torres-Estrada, J. L. (2003). First Evidence of *Aedes albopictus* (Skuse) in Southern Chiapas, México. *Emerging Infectious Disease Letters*, 9 (5), 606-607.
- CDC. Centers for Disease Control and Prevention (2010). Guideline for Evaluating Insecticide Resistance in arthropods vectors using the CDC bottle bioassay. Atlanta, GA. Disponible en: https://www.cdc.gov/malaria/resources/pdf/fsp/ir_manual/ir_cdc_bioassay_en.pdf
- CENAPRECE. Centro Nacional de Programas Prevención y Control de Enfermedades (2016). Disponible en: <http://www.cenaprece.salud.gob.mx/programas/interior/vectores/dengue.html>
- Chadwick, P. R., Invest, J. F., & Bowron, M. J. (1977). An example of cross-resistance to pyrethroids in DDT-resistant *Aedes aegypti*. *Pesticide Science*, 8, 618–624.
- CONAVE. Comité Nacional de Vigilancia Epidemiológica (2014, junio). Aviso Epidemiológico. Situación Epidemiológica de Virus Chikungunya en América. Disponible en: <http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/dgae/chikungunya/index.html>
- CONAVE. Comité Nacional de Vigilancia Epidemiológica. (2017, enero). Aviso Epidemiológico. Situación Epidemiológica de Fiebre Amarilla. Disponible en: http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/avisos/2017/fiebreamarilla/AE_fiebreamarilla_20170126.pdf
- Crovello, T. J. & Hacker, C. S. (1972). Evolutionary strategies in life table characteristics among feral and urban strains of *Aedes aegypti* (L.). *Evolution*, 26, 185-196.
- Curtis, C. F. (1985). Theoretical models of the use of insecticides mixtures for the management of resistance. *Bulletin of Entomological Research*, 75, 259-265.
- Curtis, C. F., Hill, N., & Kasim, S. H. (1993). Are there effect resistance management strategies for vectors of human disease?. *Biological Journal of the Linnean Society*, 48, 3-18.
- Delatte, H., Paupy, C., Dehecq, J. S., Thiria, J., Failoux, A. B., & Fontenille, D. (2008). *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue viruses in Reunion Island: biology and control. *Parasite*, 15, 3-13 (in French).
- Dzul, F. A., Penilla, R. P., & Rodríguez, A. D. (2007). Susceptibilidad y mecanismos de resistencia a insecticidas en *Anopheles albimanus* del sur de la Península de Yucatán, México. *Salud Pública de México*, 49, 302-311.
- Flores, A. E., Grajales, J. S., Salas, I. F., Garcia, G. P., Becerra, M. H. L., Lozano, S., . . . Beaty, B. (2006). Mechanisms of insecticide resistance in field populations of *Aedes aegypti* (L.) from Quintana Roo, Southern Mexico. *Journal of the*

- American Mosquito Control Association, 22 (4), 672-677.
- Focks, D. A., Sackett, S. R., Bailey, D. L. & Dame, D. A. (1981). Observation on container breeding mosquitoes in New Orleans, Louisiana, with an estimation of the population density of *Aedes aegypti* (L.). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 30, 1329-1335.
- Fouque, F., Carinci, R. (1996). *Aedes aegypti* in French Guiana: some aspects of history, general ecology and vertical transmission of dengue virus. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 89 (2), 115-119.
- Fox, I., Boike, A. H., & Garcia-Moll, I. (1960). Notes on rock hole breeding and resistance of *Aedes aegypti* in Puerto Rico. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 9, 425-429.
- Georghiou, G. P. & Taylor, C. H. E. (1986). Factors influencing the evolution of resistance. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Academy Press, Washington, D. C. 157-169.
- Grard, G., Caron, M., Mombo, I. M., Nkoghe, D., Ondo, S. M., Jiolle, D., . . . Leroy, E. M. (2014). Zika virus in Gabon (Central Africa) – 2007: A new threat from *Aedes albopictus*?. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 8 (2), e2681. doi:10.1371/journal.pntd.0002681.
- Hawley, W. A. I. (1988). Biology of *Aedes albopictus*. *Journal of the American Mosquito Control Association Suppl*, 1, 1-39.
- Hemingway, J., Boddington, R. G., Harris, J., & Dunbar, S. J. (1989). Mechanisms of insecticide resistance in *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) from Puerto Rico. *Bulletin of Entomological Research*, 79, 123-130.
- Hemingway, J., Penilla, R. P., Rodriguez, A. D., James, B. M., Edge, W., Rogers, H. & Rodriguez, M. H. (1997). Resistance management strategies in malaria vector mosquito control. A large-scale field trial in southern Mexico. *Pesticide Science*, 51, 375-382.
- Hemingway, J. & Ranson, H. (2000). Insecticide resistance in insect vectors of human disease. *Annual Review of Entomology*, 45, 371-391. doi: 10.1146/annurev.ento.45.1.371
- Hien, Do. Si. (1975). Biology of *Aedes aegypti* (L., 1762) and *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) (Diptera: Culicidae). II Effect of environmental conditions on the hatching of larvae. *Acta Parasitologica Polonica*, 23 (45), 537-552.
- Ibáñez-Bernal, S. & Martínez-Campos, C. (1994) *Aedes albopictus* in México. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 10, 231-2.
- OMS. Organización Mundial de la Salud (2017). Enfermedades transmitidas por vectores. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/index2.html>
- OMS. Organización Mundial de la Salud (2017, febrero). Enfermedad por el virus de Zika y sus complicaciones. Disponible en: <http://www.who.int/emergencias/zika-virus/es/>
- OMS. Organización Mundial de la Salud. (2016, junio) Fiebre Amarilla. Nota informativa. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs100/es/>
- OPS. Organización Panamericana de la Salud. Hoja informativa Chikungunya. (2016, diciembre).
- OPS-OMS. Organización Panamericana de la Salud- Organización Mundial de la Salud. (2017, marzo). Actualización Epidemiológica Fiebre Amarilla. Resumen de la situación en Las Américas. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&Itemid=270&gid=38468&lang=es

- PAHO. Pan American Health Organization. (1997). The feasibility of eradicating *Aedes aegypti* in the Americas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 1, 381–388.
- Owusu, H. F., Jancaryova, D., Malone, D., & Muller, P. (2015). Comparability between insecticide resistance bioassays for mosquito vectors: time to review current methodology?. *Parasites & Vectors*, 8, 357 DOI 10.1186/s13071-015-0971-6
- Martinez-Torres, D., Chandre, F., Williamson, M. S., Darriet, F., Berge. J. B., Devonshire, A. L., . . . Pauron, D. (1998) Molecular characterization of pyrethroid knockdown resistance (kdr) in the major malaria vector *Anopheles gambiae* s.s. *Insect Molecular Biology*, 7, 179-184.
- Paupy, C., Delatte, H., Corbel, V., & Fontenille, D. (2009). *Aedes albopictus*, an arbovirus vector, from darkness to light. *Microbes and Infection*, 11, 1177–1185. doi: 10.1016/j.micinf.2009.05.005.
- Penilla, R. P., Rodríguez, A. D., Hemingway, J., Torres, J. L., Arredondo-Jiménez, J. I. & Rodríguez, M. H. (1998). Resistance management strategies in malaria vector mosquito control. Baseline data for a large-scale field trial against *Anopheles albimanus* in Mexico. *Medical Veterinary and Entomology*, 12: 217-233.,
- Ponce-García, G. P., Flores, A. E., Fernández-Salas, I., Saavedra-Rodríguez, K., Reyes-Solis, G., Lozano-Fuentes,
- gambiae* associated with resistance to DDT and pyrethroids. *Insect Molecular Biology*, 9,491–7.
- Ranson, H., Burhani, J., Lumjuan, N., & Black, W. C. (2010). Insecticide resistance in dengue vectors. *TropiKANet Journal*. 1 (1). ISSN 2078-8606.
- Rodríguez, A. D., Penilla, R. P., Rodríguez, M. H., Hemingway, J., & Trejo, A. (2006). Insecticide resistance management in a multiresistant malaria vector scenario. A Mexican trial shows sustainability. *Public Health Journal*, 18, 24-29.
- Rodríguez-Tovar, M. L., & Ortega-Martínez, M. G. (1994). *Aedes albopictus* in Muzquiz City, Coahuila, México. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 10, 587.
- Roush, R. T. (1989). Designing resistance management programs: How can you choose?. *Pesticide Science*, 26, 423–441.
- Saavedra-Rodríguez, K., Urdaneta-Marquez, L., Rajatileka, S., Moulton, M., Flores, A. E., Fernandez-Salas, I., . . . Black, W. C. (2007). A mutation in the voltage-gated sodium channel gene associated with pyrethroid resistance in Latin American *Aedes aegypti*. *Insect Molecular Biology*: 16(6): 785- 798.
- Secretaría de Salud. (2000). Disponible en: http://www.ssaver.gob.mx/Servicios_de_Salud/BoletinEpidem/Boletines/2000-6/page17.html
- Service, M.W. (1993). *Mosquito Ecology: Field Sampling Methods*. Second edition. London, Chapman & Hall, 988p.
- SINAVE/DGE/SS: Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedad por virus Zika. Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, Dirección General de Epidemiología. (2016). Disponible en:

http://www.saludcolima.gob.mx/zika/epidemiologia/boletin2016_semana52.pdf

SINAVE/DGE/SS: Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedad por virus Zika. Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, Dirección General de Epidemiología. (2017). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250316/Cuadro_Casos_ZIKA_y_Emb_SE32_2017.pdf

Smith, L. B., Kasai, S., & Scott, J. G. (2016). Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Important mosquito vectors of human diseases. Review. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 133, 1-12. doi: 10.1016/j.pestbp.2016.03.005.

Stock, I. (2009). Chikungunya fever-- expanded distribution of re-emerging tropical infectious disease. *Medizinische Monatsschrift Fur Pharmazeuten*, 32, 17-26 (in German).

Tabashnik, B. E. (1989). Managing resistance with multiple pesticide tactics: Theory, evidence and recommendations. *Journal of Economic Entomology*, 82(5): 1263-1269.

Tun-Lin, W., Kay, B. H., Barnes, A., & Forsyth, S. (1996). Critical examination of *Aedes aegypti* indices: correlations with abundance. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 54, 543-547.

Uribarren, T. (2017, mayo). Dengue, y otras infecciones no hemorrágicas: fiebre chikungunya, Zika, fiebre del Nilo Occidental y otros arbovirus. Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/virologia/dengue.html>

WHO. World Health Organization. (1992). Vector resistance to pesticides; 15th Report by the Expert Committee on vector biology and control. WHO Techn. Rep. Ser. 818: 62.

WHO. World Health Organization (2016). Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes – 2nd ed. ISBN 978 92 4 151157 5. WHO Press, World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland.

WHO. World Health Organization. (2016). Monitoring and managing insecticide resistance in *Aedes* mosquito populations. Interim guidance for entomologists (WHO/ZIKV/VC/16.1). Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204588/2/WHO_ZIKV_VC_16.1_eng.pdf?ua=1

WHO. World Health Organization. 2016. Entomological surveillance for *Aedes* spp. in the context of Zika virus. Interim guidance for entomologists (WHO/ZIKV/VC/16.2). Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204624/1/WHO_ZIKV_VC_

DESARROLLO DE MAPAS DE IDONEIDAD DEL HÁBITAT DE TRIATOMINOS, VECTORES DE LA ENFERMEDAD DE CHAGAS, EN MÉXICO USANDO SIG Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Hugo Medina Garza
Carlos Contreras Servín
Ma. Guadalupe Galindo Mendoza,
Beatriz E. Arreola Martínez
Alejandro Tovar García

Antecedentes

La transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas es generalizada en América, desde Argentina y Chile hasta el norte de México y el sur de Estados Unidos (Coura y Dias 2009). La enfermedad de Chagas o Tripanosomiasis americana representa el principal problema de salud pública en América Latina.

El Chagas es una enfermedad causada por un parásito llamado *Trypanosoma cruzi*, que puede vivir en la sangre y tejidos de personas y animales y en el tubo digestivo de insectos (chinchas). Como este insecto se alimenta de la sangre de personas y animales, al picar transmite la enfermedad. La chinche puede encontrarse en las casas, gallineros, corrales y depósitos. Durante el día se esconde en los agujeros de las paredes, techo, debajo de los colchones o entre las cosas amontonadas o colgadas en la pared. De noche sale a alimentarse. Este insecto transmite el Chagas porque mientras pica, para alimentarse, defeca y cuando la persona se rasca arrastra los parásitos de la materia fecal hacia el lugar de la picadura introduciendo los parásitos en su cuerpo. Aunque también existen otros mecanismos de adquirir la enfermedad como la transfusión sanguínea, considerada actualmente como la causa más importante en áreas urbanas.

La Tripanosomiasis americana se encuentra en aquellas zonas del país donde hay chinchas aunque los movimientos migratorios han generado un aumento de infectados en lugares donde no se encuentra el insecto. En México se estima en 1.1 millones de personas que tienen Chagas, de acuerdo a cifras oficiales (WHO), aunque existen

otras estimaciones: 1 – 6 millones (Hotez, et. al. 2013). Es una de las endemias más expandidas de América Latina. Las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud señalan que en todo el mundo, pero principalmente en América Latina, unos 10 millones de personas se encuentran enfermas.

Esta enfermedad, más que ninguna otra, está íntimamente ligada con el desarrollo económico y social, asociada a la pobreza y las malas condiciones de la vivienda, y es considerada como una “enfermedad desatendida u olvidada”. A partir de 1993 la OMS la consideró como la enfermedad parasitaria más grave en América y es parte de la lista de las catorce enfermedades “descuidadas o negligidas”; asimismo, se encuentra ampliamente distribuida en las áreas rurales de Latinoamérica y en zonas marginadas de las grandes ciudades principalmente, y debido a los movimientos migratorios se reconoce como un problema de salud global importante.

La enfermedad de Chagas es un claro ejemplo de cómo la ausencia o limitación de los determinantes de la atención de la salud, repercuten en la calidad de vida de las poblaciones humanas en condiciones de riesgo, generado por la presencia del vector y la falta de estrategias para su control (Pérez et. al., 2010). En los servicios de salud, la enfermedad de Chagas es vista como una enfermedad indeseable, cuyo control y vigilancia no es un problema, por lo que se termina realizando una exclusión por omisión.

En total, 31 especies de Triatomos se encuentran en México (Ramsey et al 2015) y todos se han

encontrado infectados naturalmente con *T. cruzi*, excepto las cuatro especies más raras: *Belminus costaricensis*, *Triatoma bassolsae*, *Triatoma boliviari* y *Triatoma gomeznunezi* (Ryckman 1962, Zárate y Zárate 1985, Tay et al 1992, Vidal et al 2000, Magallon et al 2001, Ibarra-Cerdeña et al 2009).

La mayoría de los insectos presentes en México son generalistas, viven en nidos de mamíferos terrestres, arbóreos y de cavernas, y casi todos persisten fácilmente en hábitats modificados con mamíferos domesticados y seres humanos (Martínez-Ibarra et al 2010, Medina-Torres et al 2010, Ramsey et al 2012, Torres-Montero et al 2012). 19 especies han sido encontradas invadiendo las casas de los humanos y solo 12 especies se han encontrado ocasionalmente en asociación con seres humanos, siendo principalmente de hábitos silvestres.

Las estrategias de control de enfermedades transmitidas por vectores se centran en la reducción o eliminación de vectores en áreas de exposición humana. Sin embargo, todas las especies epidemiológicamente relevantes en México han sido recolectadas durante todo el año en paisajes antropogénicos (Ramsey et al 2012) y la alimentación y el contacto humano ocurren tanto en el hábitat doméstico como en hábitats no domésticos (Cohen et al 2006, Stevens et al 2014).

El factor geográfico es una importante variable explicativa dentro del análisis epidemiológico porque permite localizar, identificar y dar seguimiento a las condiciones ambientales en las que se desarrollan los vectores.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sensores Remotos (SR) son herramientas para estudiar la distribución actual y predecir áreas de riesgo de presencia de insectos vectores de enfermedades; así mismo, se constituyen en excelentes aliados para la focalización de acciones de prevención y control. Aunque el uso de estas herramientas en investigación de enfermedades transmitidas por vectores se ha incrementado en los últimos años, su aplicación en

los programas oficiales de control ha sido limitada (Parra-Henao, 2010). Estas técnicas tienen un gran potencial para contribuir a la investigación y a los estudios operativos en epidemiología y ciencias de la salud, por su capacidad de manejar la dimensión espacial e integrar datos provenientes de diversas fuentes de manera que se puedan explicar nuevos patrones y relaciones espaciales (Parra-Henao, 2010).

Con el fin de poder controlar eficazmente a estas especies, se requiere de una mejor comprensión de la naturaleza de la relación ambiente-especie.

Un enfoque para la cuantificación de tales relaciones ambiente-especie implica el uso de modelos de idoneidad del hábitat o basados en el nicho mediante el cual se identifican las condiciones ambientales adecuadas para el mantenimiento de la población de una especie (Peterson 2003). Este enfoque combina datos de localización de especies con un conjunto de capas SIG (por ejemplo, climáticas, topográficas y de cobertura de suelo) para crear modelos ecológicos de requerimientos de la especie. Junto con estos modelos, los SIG pueden proyectar el modelo ecológico en un espacio geográfico y mapa de idoneidad del hábitat en regiones nativas y exóticas (Peterson 2003).

Un paso necesario para comprender la enfermedad de Chagas en México y estratificar el riesgo de transmisión es el desarrollo de una comprensión detallada de la distribución de triatomíneos en todo el país. Para ello, el modelado de nichos ecológicos a escalas gruesas, basado en el concepto de nicho Grinelliano (Soberón 2007), intenta descubrir el conjunto de condiciones ambientales bajo las cuales una especie puede mantener poblaciones en ausencia de inmigración (Soberón y Peterson 2005). Los modelos de nichos pueden identificar áreas adecuadas donde cada especie puede mantener poblaciones, aunque solo estén disponibles datos de ocurrencia parcial o cuando las áreas de distribución principales de las especies permanezcan sin muestrear (Soberón y Peterson 2005). De-

bido a que la transmisión de una enfermedad zoonótica depende de procesos que actúan a múltiples escalas, los enfoques de modelado de nichos incorporan información diferente para diferentes taxones (Peterson 2006, Ibarra-Cerdeña et al 2009, Costa y Peterson 2012). Se han desarrollado y explorado predicciones basadas en modelos de nicho de áreas de exposición para muchas enfermedades zoonóticas (Peterson et al 2005, Moo-Llanes et al 2013), incluyendo reservorios de mamíferos en México (Peterson et al 2002) y de vectores de *T. cruzi* de Brasil, México y Estados Unidos (Costa et al 2002, Beard et al 2003, López-Cárdenas et al 2005, Sandoval-Ruiz et al 2008, 2012, Batista y Gurgel-Goncaves et al 2009, Ibarra-Cerdeña et al 2009, Benitez- Alva et al 2012 , Gurgel-Goncalves et al 2012).

La regresión ordinaria múltiple y los modelos lineales generalizados (GLM) son muy populares y son usualmente utilizados para el modelado de nicho de especies (CITAS). El enfoque tradicional usando GLM ha sido utilizado para pruebas e hipótesis. Una estrategia alternativa para la selección del modelo y la inferencia se basa en enfoques teóricos de información y usa métricas como el criterio de información de Akaike (AIC). Este enfoque ofrece varias ventajas para el modelado de la distribución de especies, incluyendo la capacidad para comparar modelos no anidados, determinar la importancia relativa de la variable, y realizar múltiples modelos de inferencia. Además, muchos investigadores encuentran su simplicidad y no necesitan asignar un valor arbitrario o convencional de p (Graeves et al 2006).

La regresión logística tradicional requiere buena calidad de datos de presencia/ausencia con el fin de generar una superficie de probabilidad de idoneidad de hábitat (Manel et al 1999, Guisan y Zimmerman 2000). En la práctica, los datos precisos sobre ausencias son difíciles de obtener ya que la mayoría de las bases de datos registran donde se colectó la especie pero no donde no existía la especie, los datos de ausencia pueden ser cuestionados incluso en campo porque pue-

de ser determinado rápidamente si una planta se encuentra en una parcela, pero la determinación de ausencia requiere un análisis mucho más profundo, que suele ser impráctica para un estudio de amplia escala. Una solución es generar datos de "pseudo-ausencia" mediante la selección de puntos al azar en el espacio geográfico. Este enfoque tiene el riesgo de crear sitios de ausencia donde una especie está actualmente pero es desconocida su presencia. Se requiere un mejor método para modelar idoneidad del hábitat usando modelos lineales generalizados dada la falta de disponibilidad de datos de ausencia verdaderos.

En este estudio, hemos empleado la selección de la teoría de la información y en etapas para generar modelos logísticos para predecir la ocurrencia de triatominos. El objetivo fue evaluar la elección del modelado así como producir un modelo que podría predecir la idoneidad de triatominos en rangos nativos e invadidos. Gran parte de los datos disponibles sobre la ocurrencia de especies consiste en solamente en datos de presencia. Con el fin de disminuir este sesgo de muestreo, hemos propuesto un enfoque específicamente para compartimentar la idoneidad del hábitat usando umbral de valor logit y estadísticas de cuantiles.

Métodos

Especie de estudio

En México la diversidad de vectores de la enfermedad de Chagas es muy abundante. El país presenta gran variedad de hábitats que proporcionan las condiciones naturales para la transmisión, aunado a muchas regiones rurales con un bajo estatus socioeconómico (Cruz-Reyes y Pickering-López, 2004).

En la República Mexicana se han identificado 31 especies de triatominos transmisores, 23 son endémicas; actualmente se han identificado 18 especies de importancia epidemiológica por su capacidad vectorial y distribución; cada especie tiene características particulares respecto a su comportamiento biológico y ca-

pacidad vectorial, lo cual determina su importancia en la cadena de transmisión del agente al hombre (SSA, 2012).

Debido a la importancia que tienen los triatominos en la transmisión de la enfermedad de Chagas, es necesario determinar las áreas de mayor riesgo a la presencia de este vector, por lo que el objetivo de la presente investigación fue predecir la distribución potencial de este insecto en función de la idoneidad del hábitat.

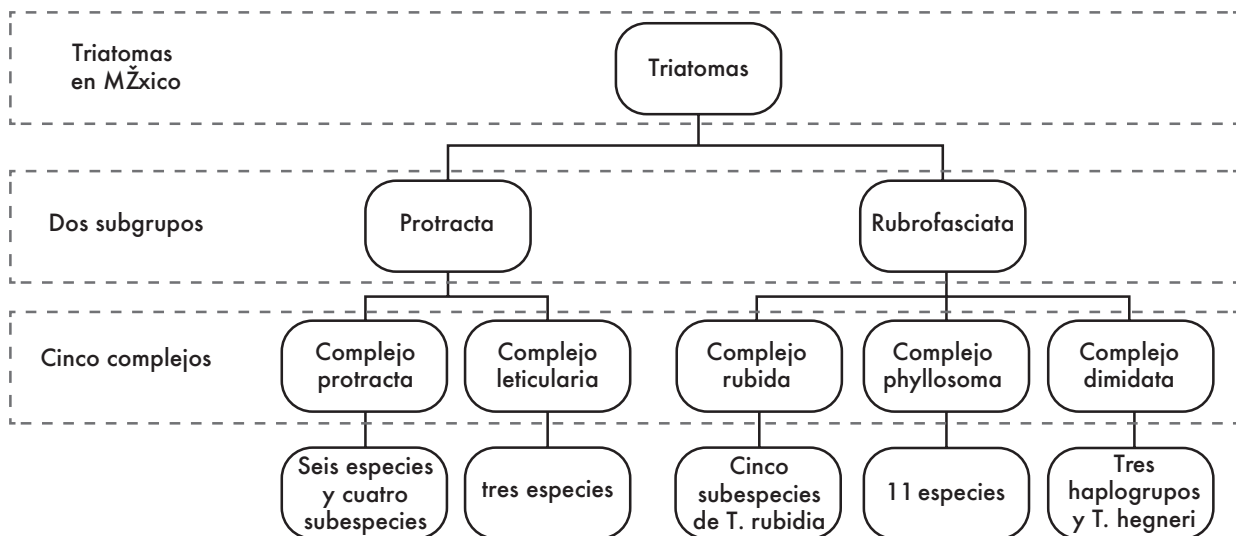
Datos de especies

Los modelos de idoneidad del hábitat se basaron en 2227 registros de especies de triatominos referenciados obtenidos del Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae:Hemiptera) and vector transmission of Chagas disease (Ramsey et al 2015). De la base de datos original se excluyeron los registros que se encontraban fuera de las fronteras del país. La ubicación de los especímenes se muestra en la Figura 2. Debido a que no se cuentan con datos de ausencia se generaron datos de “pseudo-ausencia” mediante la selección de puntos al azar en el espacio geográfico en el área de distribución natural. Todos los puntos de presencia se georeferenciaron para el modelado.

Las especies mexicanas de Triatomas pertenecen a dos subgrupos: protracta y rubrofasciata (Lent y Wygodzinski 1979). El primero incluye el complejo protracta, con seis especies y cuatro subespecies de T. protracta en México y el complejo lecticularia (principalmente T. lecticularia, con un registro para T. incrassata y dos para T. indictiva en México) (Ryckman 1962, Galvao et al 2003, Kjos et al 2009). El subgrupo rubrofasciata incluye el complejo rubida (con cinco subespecies de T. rubida) del norte de México y el sur de Estados Unidos (Pfeiller et al 2006), el complejo phyllosoma que se encuentra solo en México (11 especies incluyendo T. recurva) y complejo dimidiata (tres haplogrupos [hg] de T. dimidiata y T. hegneri) (Ibarra-Cerdeña et al 2009) (Figura 1).

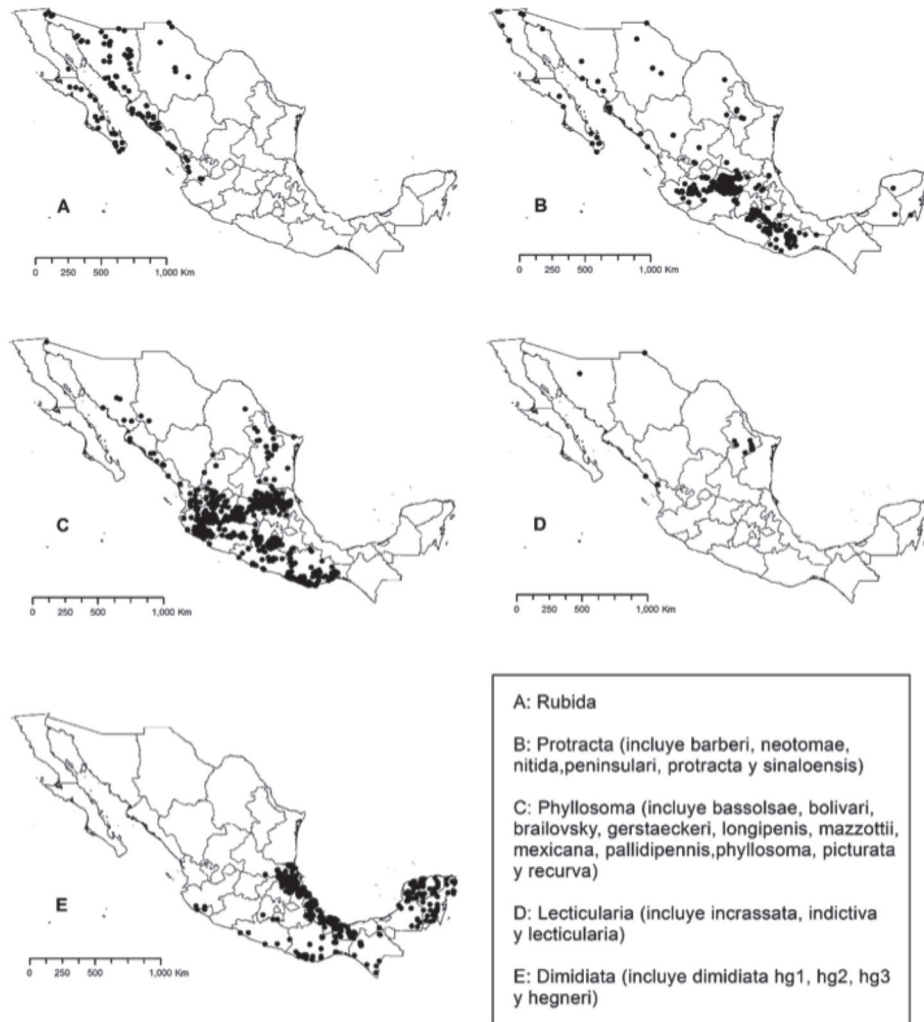
La base de datos original (con 2227 registros) se dividió en cinco complejos de especies¹: Rubida, Protracta (incluye barberi, neotomae, nítida, peninsulari, protracta y sinaloensis), Phyllosoma (incluye bassolsae, bolivari, brailovski, gerstaeckeri, longipenis, mazzottii, mexicana, pallidepennis, phyllosoma, picturata y recurva), Leticularia (incluye incrassata, indictiva, y lecticularia) y Dimidiata (incluye dimidiata hg1, hg2, hg3 y hegneri). En la Figura 2 se puede observar

Figura 1. Agrupación de las especies de triatomas que se usaron para el análisis



¹ En biología, un complejo de especies es un grupo de especies estrechamente relacionadas, donde la línea de demarcación precisa entre ellas es a menudo poco clara o críptica debido a su evolutivamente reciente formación, por lo que generalmente sigue siendo incompleto el aislamiento reproductivo

Figura 2. Distribución de registros de especímenes de triatomos en México.



la ubicación geográfica de cada uno de estos complejos de especies.

Se usó además la base de datos de infecciones de *T. cruzi* en reservorios, triatomos y casos humanos de todo el país a partir de datos del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (InDRE), Centro Nacional de Programas Preventivos y de Control de Enfermedades y datos inéditos de la Dra. Janine Ramsey, todos ellos obtenidos de doi:10.5061/dryad.rq120

Selección de variables del hábitat

Muchos factores potenciales predictivos fueron diferentes mediciones de una misma característica ecológica o fueron calculados usando

los mismos datos, presentando así problemas de colinealidad (Legendere y Legendere 1998). Por esta razón, ocho factores ambientales biológicamente relevantes fueron considerados para la inclusión en el análisis (Tabla 1). Ellos incluían elevación (ELEV), precipitación media anual (PRECI), temperatura máxima del mes más cálido (BIO5), temperatura mínima del mes más frío (BIO6), precipitación del mes más húmedo (BIO13), precipitación del mes más seco (BIO14), proporción de áreas dedicadas a cualquiera de los usos de suelo agrícolas o urbanos (AGURB) y el porcentaje de cobertura forestal (FOR). Todos los datos tuvieron el mismo nivel de resolución de 30" X 30" (alrededor de 0.9 X 0.9 km en el caso de México).

Tabla 1. Conocimiento previo de las variables predictoras y sus abreviaturas en el modelo

Abreviatura	Variable predictorora	Fuente	Resolución	Descripción
ELEV	Altitud	CGIAR SRTM	30"	La elevación puede influir por estar asociada a condiciones de insecto
BIO12	Precipitación anual	WORLDCLIM	30"	Triatomos son muy sensibles a precipitaciones altas
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	WORLDCLIM	30"	Esta variable influye en la fluctuación del vector
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	WORLDCLIM	30"	Esta variable influye en la fluctuación del vector
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	WORLDCLIM	30"	Esta variable influye en la fluctuación del vector
BIO14	Precipitación del mes más seco	WORLDCLIM	30"	Esta variable influye en la fluctuación del vector
AGURB	Áreas agrícolas y urbanas	GLC 2000	30"	Las actividades humanas limitan la abundancia y brotes des esta especie
FOR	Áreas de vegetación natural	GLC 2000	30"	Las zonas de plantas perennes favorecen la presencia del triatomo al ser una especie silvestre

La altitud fue seleccionada como una variable debido a su influencia en las condiciones climáticas de los triatomos que dan lugar a cambios en la temperatura y precipitación y porque este insecto puede vivir en altitudes de 0 a 1750 msnm. La precipitación tiene el impacto potencial en la abundancia poblacional de estos vectores; de acuerdo a CITAS (XXXX), la incidencia de este insecto parece ser mayor en los meses más secos o después de una prolongada sequía. La temperatura mínima es un factor esencial en la fluctuación poblacional del insecto. Los términos de interacción incluyen (ELEV * MINTEMP) y (ELEV * PRECI) ya que pueden ser importantes para el triatomo en áreas altas, secas y frías (CITAS). Las tres coberturas fueron obtenidas de Worldclim 1.4 (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>). La perturbación humana es muy importante para la abundancia y brotes de esta especie, por lo que el porcentaje de agricultura y uso de la tierra urbana y la cobertura forestal (obtenido del GLC 2000 y reclasificado en ArcMap) fue usado para el modelado. Esta última variable se usó por la interac-

ción que puede darse con los humanos al convertirse en fuentes de alimento para este vector al invadir su espacio.

Análisis estadísticos

Regresión logística binomial

Usamos modelos lineales generalizados para predecir la distribución potencial de los triatomos en base a puntos de presencia y datos de "pseudo-ausencia" en su área de distribución natural. A medida que la variable respuesta fue binaria, la forma más apropiada de regresión lineal múltiple fue de regresión logística binomial (Guisan y Zimmermann 2000). La probabilidad de la ocurrencia de especies se calcula como sigue:

$$probabilidad = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}}$$

Donde β_0 a β_k son los coeficientes, X_1 a X_k son las variables independientes. El análisis de regresión logística se corrió en el paquete estadístico R. inicialmente ocho variables (ELEV, BIO5, BIO6, BIO12, BIO13, BIO14, AGURB y FOR) y sus térmi-

nos de segundo orden se incluyeron en un modelo básico. Se agregaron paso a paso variables de interacción para generar modelos más complejos usando la regresión logística. Las variables de interacción adicionales incluían BIO5*-BIO12, BIO6*BIO12 y BIO5*ELEV, BIO6*ELEV, BIO12*ELEV.

Criterio de información de Akaike (AIC)

La selección del modelo de regresión logística se basa en el criterio de información de Akaike (AIC). El AIC representa la relación entre la máxima verosimilitud y la información de Kullback-Leibler. Se basa en el principio de parsimonia (incluyendo una penalización por el número de parámetros) y los intentos de seleccionar un modelo de aproximación de bueno (Anderson et al 2000; Burnham y Anderson 2002). El AIC se define como:

$$AIC = -2\log_e (L(\hat{\theta}|\text{data})) + 2K$$

Donde $-2\log_e (L(\hat{\theta}|\text{data}))$ es el valor de probabilidad log-maximizado en los parámetros desconocidos () dados los datos y el modelo, y K es el número de parámetros estimados incluidos en el modelo (número de variables + el intercepto).

Los modelos se pueden clasificar del mejor al peor con el Delta AIC (Delta i), que es una medida de cada modelo en relación al mejor modelo, y se calcula:

$$\Delta AIC = \Delta_i = AIC_i - \min AIC$$

Donde AIC_i es el valor de AIC para el modelo i y $\min AIC$ el valor de AIC del mejor modelo. Corrimos cada modelo y calculamos en AIC y el Delta i en el paquete estadístico R. los pesos Akaike (w_i) proporcionan otra medida de la fuerza de evidencia para cada modelo y representan la probabilidad de que el modelo i es el mejor modelo de Kullback-Leibler en todo el conjunto de los modelos candidatos en R:

$$w_i = \frac{w_i}{\sum w_i}$$

Un promedio ponderado se calculó para el coeficiente de cada parámetro ()

La evaluación de la importancia relativa de las variables de predicción se puede hacer mediante la suma de los pesos de akaike para todos los modelos que contienen una variable de predicción dando lugar a un solo modelo seleccionado (Burnham y Anderson, 2001).

Cálculo del valor logit

Después de haber obtenido el modelo promedio ponderado y sus coeficientes de regresión (Tabla 3) las ecuaciones de regresión resultantes se aplicaron a las muestras nativas, incluyendo los puntos de presencia y de "pseudo-ausencia" para producir la salida del valor logit. La función final tomó la siguiente forma:

$$\text{logit} = \beta_0 + \beta_1 * \text{PRECI} + \beta_2 * \text{MINTEMP} + \beta_3 * \text{ELEV} + \beta_4 * \text{FOR} + \beta_5 * \text{AGURB} + \beta_6 * (\text{MINTEMP} * \text{PRECI}) + \beta_7 * (\text{PRECI} * \text{ELEV}) + \beta_8 * (\text{MINTEMP} * \text{ELEV})$$

Re-clasificación de las muestras

Debido a la falta de datos de ausencia reales no fue posible calcular las probabilidades significativas de los valores logit. En lugar de ello hemos desarrollado un método inspirado en las funciones de selección de recursos (Manli et al 2002) para asignar valores de idoneidad relativos basados en umbrales logit y cuantiles.

Primeramente, definimos el umbral de idoneidad basados en el valor logit mínimo de puntos de presencia de referencia en el área de distribución natural. Como alternativa, también se determinó este umbral a partir de los datos del área invadida. El umbral nos permitió colocar a cada pixel en términos generales en categorías, apropiada o no apropiada, dependiendo de si su valor logit modelado era menor o excedía el valor umbral. Finalmente, se calcularon los cuantiles para cada uno de estos dos grupos usando la función cuantil (Hyndman y Fan 1996) en el paquete estadístico R. las ocho categorías de clasificación resultantes iban del menos apto al más apto son las siguientes:

Inapropiado	<logit mínimo
1 más inapropiado	<primer cuartil de las muestras inapropiadas
2	Primer cuartil de muestras inapropiadas ~ segundo cuartil de muestras inapropiadas
3	Segundo cuartil de muestras inapropiadas ~ tercer cuartil de muestras inapropiadas
4 ligeramente inapropiado	Tercer cuartil de muestras inapropiadas ~ logit mínimo
Apropiado	>logit mínimo
5 ligeramente apropiado	Logit mínimo ~ primer cuartil de muestras apropiadas
6	Primer cuartil de muestras apropiadas ~ segundo cuartil de muestras apropiadas
7	Segundo cuartil de muestras apropiadas ~ tercer cuartil de muestras apropiadas
8 más adecuado	>tercer cuartil de muestras apropiadas

Cálculo del mapa de idoneidad del hábitat

Los valores logit fueron calculados para cada pixel en ARCMaP 10.3 de acuerdo a la ecuación 5 y la Tabla 3. Los mapas resultantes de valores logit fueron categorizados de acuerdo a las ocho clases de idoneidad.

Resultados

Regresión logística

En este estudio usamos una estrategia conservadora para seleccionar los modelos que utilizan información de planteamiento teórico. Inicialmente basados en el conocimiento previo y lo reportado por la literatura utilizamos ocho variables para el modelo básico (elevación, precipitación, BIO5, BIO6, BIO13, BIO14, área agrícola y urbana y área forestal). Después añadimos otras variables e interacciones entre ellas para construir modelos más complejos.

La tabla 2 muestra el número de parámetros estimados en cada modelo (K), la máxima probabilidad logaritmizada (-2LL), los valores AIC, las diferencias entre el modelo con el más bajo valor de AIC y cada modelo candidato (Δ_i), los pesos AIC (w_i) para los mejores modelos de

cada complejo de especies. En el caso del complejo Rubida el modelo con el menor valor de AIC incluía las variables de elevación, temperatura máxima del mes más cálido y precipitación anual (BIO12), con un peso de 0.755. En el caso del complejo Protracta el mejor modelo (valor de AIC de 1) incluía todas las variables a excepción de la cobertura forestal (FOR), además de una variable de interacción (ELEV*BIO6). Para el complejo Phyllosoma se repitió el mejor modelo. Las cosas fueron un poco diferentes en el complejo Lenticularia, en este complejo el mejor modelo incluía las variables ELEV, BIO5, BIO6, BIO12, BIO13, Bio14 y área agrícola urbana, pero con un AIC de solo 0.319. Para el complejo Dimidiata el mejor modelo obtuvo un AIC de 0.999, incluyendo todas las variables a excepción del área forestal, y un término de intercepción (BIO12*BIO6).

En el complejo Rubida los primeros dos modelos tenían un $\Delta_i < 2$ por lo que se consideraron parsimoniosos (Burnham y Anderson, 2002). En el complejo Lenticularia los primeros cinco modelos tenían un $\Delta_i < 2$ por lo que se consideraron parsimoniosos (Burnham y Anderson, 2002). El siguiente modelo tenía un $\Delta_i < 4$ y el resto de los modelos tenían un Δ_i de 13 y se consideran útiles para explicar las variaciones en las variables dependientes. La suma de los pesos de estos modelos en ambos complejos fue 1, por lo que se considera que tienen una alta confianza relativa que el resto de los modelos considerados.

Modelo promedio

Un promedio ponderado de las estimaciones fue calculado basado en los pesos de AIC de los cuatro modelos del complejo Rubida y de los siete modelos del complejo Lenticularia, en lugar de confiar únicamente en el primer modelo rankeado en el caso de estos dos complejos de especies. Los pesos para cada una de las variables y los coeficientes para cada modelo promediado se muestran en la tabla 3, incluyendo los coeficientes de los mejores modelos rankeados de los complejos Protracta, Phyllosoma y Dimidiata.

Tabla 2. Resultados de estadísticas teóricas de información para los modelos en orden de rango para los triatomos de todos los complejos

Descripción del modelo	K	-2LL	AIC	Δi	wi
RUBIDA					
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12	5	403.1386	413.1.1	0	0.75563631
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6	4	407.5716	415.6	2.5	0.21649343
y ~ BIO14	2	415.6668	419.7	6.6	0.02787026
y ~ ELEV + BIO5	3	446.3426	452.3	39.2	2.3235E-09
PROTRACTA					
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (ELEV*BIO6)	9	854.1066	872.1	0	1
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (BIO12*BIO6)	9	915.6886	933.7	61.6	4.2E-14
PHYLLOSOMA					
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (ELEV*BIO6)	9	1289.4512	1307.5	0	1
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (BIO12*BIO6)	9	1355.3736	1373.4	65.9	<0.001
LECTICULARIA					
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB	8	29.17386	872.1	0	0.319352
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (ELEV*BIO5)	9	28.56296	933.7	1.4	0.158585
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (ELEV*BIO6)	9	28.778824	940.8	1.6	0.143494
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + FOR	9	28.85688	955.3	1.7	0.136495
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13	6	34.97136	956.7	1.8	0.129838
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14	7	33.34772	956.7	2.1	0.111753
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12	5	48.2326	958.5	13	0.000480
DIMIDIATA					
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (BIO12*BIO6)	9	672.5128	690.5	0.0	0.9998
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AGURB + (ELEV*BIO6)	9	690.745	708.7	18.2	0.0001

Tabla 3. Los coeficientes para AIC>90% de certidumbre del modelo promedio y los pesos para cada una de las variables

Variable modelo	Rubidia		Protracta		Phyllosoma		Lecticularia		Dimidiata	
	Coeficientes	Wi	Coeficientes	Wi	Coeficientes	Wi	Coeficientes	Wi	Coeficientes	Wi
ELEV	-0.00215	1	-0.02063	0.01589	0.00104	1	-0.02062	1	-0.00157	1
BIO5	0.00457	1	-0.11695	0.01589	0.01756	1	-0.11692	1	-0.02123	1
BIO6	-0.01375	1	-0.19733	0.01589	0.02306	1	-0.19727	1	0.04640	1
BIO12	-0.00068	1	0.028264	0.01589	-0.00923	1	-0.02329	1	0.00468	1
BIO13			-217.0243	0.01589	0.03411	1	0.13733	1	0.00165	1
BIO14	-0.00907	1	0.38707	0.01205	0.09906	1	0.11238	1	0.03829	1
AREA_AGUR			2.76356	0.01205	0.9426	1	2.09458	1	0.79052	1
BIO12*BIO6					-0.00003	4.89E-15			-0.00002	0.99
ELEV*BIO6			0.00001	0.00228	0.00003	1	0.00001	0.1585	0.00001	<0.001
ELEV*BIO5							0.00003	0.1434		
FOR							-289.6131	0.0004		
Intercepto	-0.35899		-1.363		-10.006		56.58229		-0.36422	

Tabla 4. Criterio de compartimentación de idoneidad del hábitat y umbral correlativo

Idoneidad (clases)	Criterio de compartimentación	Coefficientes
Rubida		
No idóneo	< logit mínimo	< -3.64311
1 menos idóneo	<1er cuartil	< -3.11240
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	-3.11241 ~ -2.87118
3	2º cuartil ~ 3er cuartil	-2.87119 ~ -2.62995
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	-2.62996 ~ -2.43696
Idóneo	> logit mínimo	> -2.43697
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-2.43697 ~ -2.29223
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-2.29224 ~ -2.09924
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	-2.09925 ~ -0.98959
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 0.98960
Protracta		
No idóneo	< logit mínimo	< -4.66823
1 menos idóneo	<1er cuartil	< -3.96769
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	-3.96770 ~ -3.26714
3	2º cuartil ~ 3er cuartil	-3.26715 ~ -2.56666
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	-2.56667 ~ -2.08160
Idóneo	> logit mínimo	> -2.08161
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-2.08162 ~ -1.43495
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-1.43496 ~ -0.62662
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	-0.62663 ~ 0.88223
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 0.88224
Phyllosoma		
No idóneo	< logit mínimo	< -7.21278
1 menos idóneo	<1er cuartil	< -6.21296
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	-6.21297 ~ -5.21314
3	2º cuartil ~ 3er cuartil	-5.21315 ~ -3.98259
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	-3.98260 ~ -2.75204
Idóneo	> logit mínimo	> -2.75205
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-2.75205 ~ -0.90622
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-0.90623 ~ 1.01650
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	1.01651 ~ 9.63032
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 9.63033

Idoneidad (clases)	Criterio de compartimentación	Coefficientes
Phyllosoma		
Idóneo	> logit mínimo	> -2.75205
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-2.75205 ~ -0.90622
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-0.90623 ~ 1.01650
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	1.01651 ~ 9.63032
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 9.63033
Lecticularia		
No idóneo	< logit mínimo	< -20.46823
1 menos idóneo	<1er cuartil	< -15.75005
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	-15.75006 ~ -12.80119
3	2º cuartil ~ 3er cuartil	-12.80120 ~ -8.96768
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	-8.96769 ~ -5.42904
Idóneo	> logit mínimo	> -5.42905
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-5.42906 ~ -3.06996
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-3.06997 ~ -0.41598
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	-0.41599 ~ 39.09873
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 39.09874
Dimidiata		
No idóneo	< logit mínimo	< -7.21278
1 menos idóneo	<1er cuartil	< -6.21296
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	-6.21297 ~ -5.21314
3	2º cuartil ~ 3er cuartil	-5.21315 ~ -3.98259
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	-3.98260 ~ -2.75204
Idóneo	> logit mínimo	> -2.75205
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	-2.75205 ~ -0.90622
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	-0.90623 ~ 1.01650
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	1.01651 ~ 9.63032
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 9.63033

Mapa de idoneidad del hábitat

Habiendo obtenido los pesos del modelo promedio, el resultado de la ecuación de regresión fue aplicado al conjunto de datos, incluyendo los datos de "pseudo-ausencia" para producir la salida del valor logit. El valor mínimo logit y los umbrales de cuantiles correlativos calculados por el método estadístico de frecuencia forman el criterio de idoneidad del hábitat para los triatomos (Tabla 4).

Combinando con el criterio de compartimentación de idoneidad del hábitat los modelos promedio ponderados fueron aplicados en las capas del SIG para factorizar en área de dispersión natural dentro de ocho clases clasificadas desde el más adecuado al menos adecuado y generamos el mapa de idoneidad del hábitat de triatomos en México (Figura 2). El mapa muestra que los triatomos tienen gran potencial de expandirse en prácticamente todo el país, teniendo cierta afinidad cada complejo de especies con una zona particular, compartiendo algunas zonas ciertos complejos, como el complejo Rubida y el complejo Lenticularia.

En el caso del modelado de idoneidad del hábitat para el agente infeccioso *T. cruzi* se siguió el mismo procedimiento que para los complejos de especies de vectores, primero se modelaron las variables y sus interacciones para obtener el mejor modelo (Tabla 5), como en este caso al igual que en algunos complejos de especies hubo un modelo con AIC de 1, se obtuvieron sus coeficientes (Tabla 6) y finalmente se categorizó en función de los valores logit (Tabla 7). En la Figura 3 se muestra el mapa de distribución potencial.

Tabla 5. Resultados de estadísticas teóricas de información para los mejores modelos en orden de rango para el agente infeccioso T. cruzi

Descripción del modelo	K	-2LL	AIC	Δi	wi
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AREAURB + (ELEV*BIO6)	9	337.5494	355.5	0	1.0
y ~ ELEV + BIO5 + BIO6 + BIO12 + BIO13 + BIO14 + AREAURB + (ELEV*BIO5)	9	355.0098	373.0	17.5	<0.001

Tabla 6. Los coeficientes para AIC>90% de certidumbre del mejor modelo y los pesos para cada una de las variables del agente infeccioso T. cruzi

Variable del modelo	Coefficientes	Importancia peso
ELEV	-0.00030277	1
BIO5	-0.01347096	1
BIO6	0.02905813	1
BIO12	-0.00143491	1
BIO13	0.00553681	1
BIO14	0.01812745	1
AREA_AGRIUR	1.10701466	1
ELEV*BIO6	0.00002655	0.999842354
ELEV*BIO5	0.00001387	2.18E-09
Intercepto	1.3990175	

Tabla 7. Criterio de compartimentación de idoneidad del hábitat y umbral correlativo

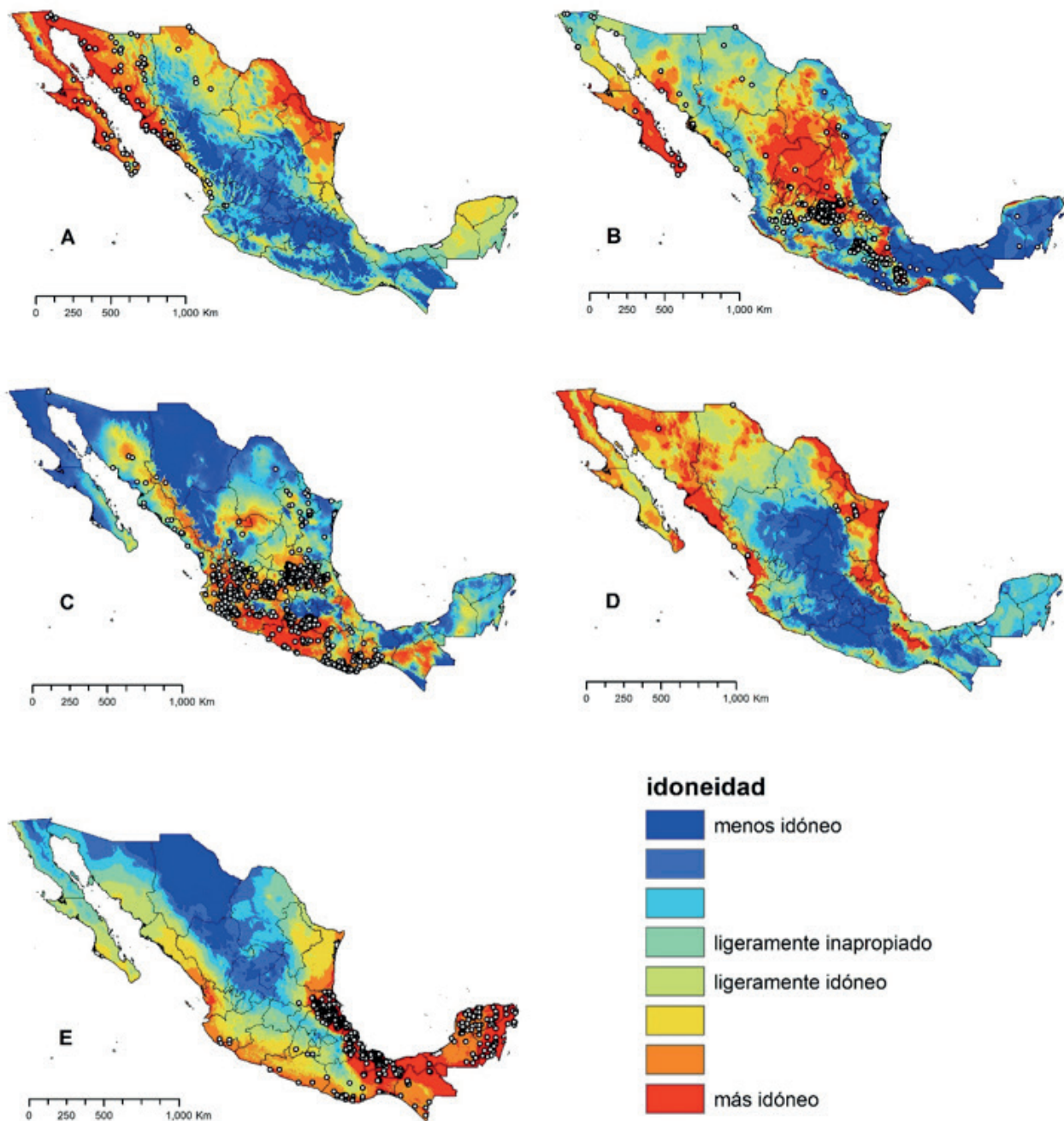
Idoneidad (clases)	Criterio de compartimentación	Coefficientes
No idóneo	< logit mínimo	< 0.27702
1 menos idóneo	<1er cuartil	< 1.59845
2	1er cuartil ~ 2º cuartil	1.59846 ~ 2.36928
3	2ºcuartil ~ 3er cuartil	2.36929 ~ 3.25022
4 ligeramente inapropiado	3er cuartil ~ logit mínimo	3.25023 ~ 4.57165
Idóneo	> logit mínmo	> 4.57166
5 ligeramente idóneo	logit mínimo ~ 1er cuartil	4.57167 ~ 6.44366
6	1er cuartil ~ 2º cuartil	6.44367 ~ 7.87520
7	2º cuartil ~ 3er cuartil	7.87521 ~ 8.86627
8 más idóneo	> 3er cuartil	> 8.86628

Discusión

El mapa de idoneidad generado basados en el rango de distribución de los triatomos indican un fuerte potencial de expandirse en regiones de México donde actualmente no se conoce su ocurrencia, como el noreste de México en el caso del complejo Rubida y la meseta central en el caso del complejo Protracta así como amplias zonas del noreste y noroeste en el caso del complejo Lenticularia.

El caso de la idoneidad generada para el agente infeccioso de la enfermedad de Chagas, el *T. cruzi*, es más grave aún, ya que salvo pequeñas

Figura 3. Mapas de idoneidad del hábitat para los triatominos. Un color rojo indica mayor confianza en la predicción de la presencia. El mapa muestra umbrales logit derivados de reportes de triatominos en México.



regiones del noreste, noroeste y algunas zonas de la península de Baja California, el resto del país muestra algún grado de idoneidad para este protozoo, poniendo en riesgo a una gran parte de la población de México, por lo que creemos que las estimaciones actuales de los casos presentes se quedan cortas y están subestimadas.

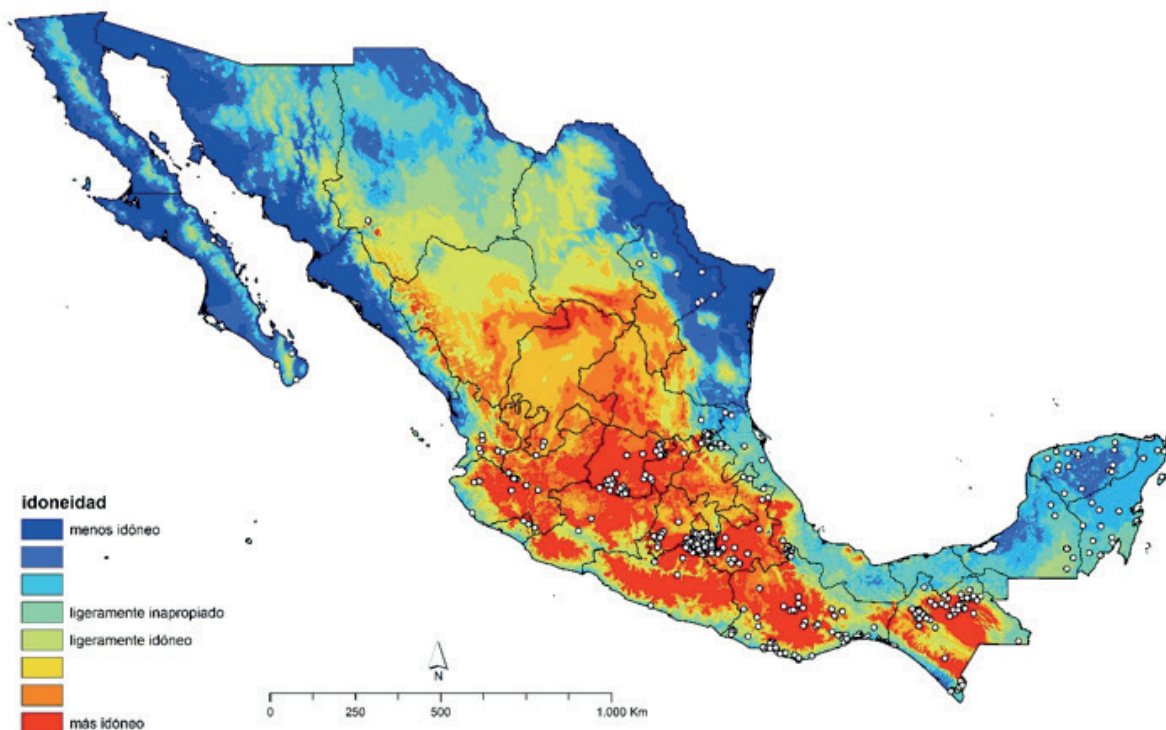
Quando realizamos análisis estadísticos, a menudo nos esforzamos en estimar efectos de una variable determinada en una variable respuesta y un nivel de confianza asociado. Las técnicas clásicas como las pruebas de significancia de hipótesis nula son muy adecuadas para los experimentos de manipulación. Pero desde hace algunos años, la validez de este método a escala

ambiental ha sido cuestionado por varios investigadores (Anderson et al 2000, 2001; Anderson y Burnham 2002; Burnham y Anderson 2002). Las hipótesis nulas a menudo son poco probables que ocurran biológicamente; existiendo una gran diferencia entre la significancia estadística y la importancia biológica (Yoccoz 1991). Por otra parte, las pruebas de hipótesis no funcionan particularmente bien en la selección del modelo.

El enfoque de información teórica se basa en la idea de que puede no haber un modelo único verdadero. De hecho los modelos son únicamente una realidad aproximada (Kullback y Leibler 1951; Mateo et al 2011). Tratamos de encontrar el mejor modelo que se aproximara más a la realidad, es decir, minimizar la pérdida de información medida por la información Kullback-Leibler. El criterio de información de Akaike

(AIC) puede estimar la relación entre la máxima verosimilitud, que es un método de estimación utilizado en muchos análisis estadísticos, y la información de Kullback-Leibler. En este capítulo hemos construido modelos usando la regresión logística y el AIC para clasificar este conjunto de modelos en la medida en que se acercan a la realidad. Los pesos de Akaike de los modelos principales (Tabla 2) del complejo *Lecticularia* tienen un peso relativamente bajo (el mejor modelo tiene un peso de Akaike de 0.249) lo que indica la existencia de demasiada incertidumbre en la selección del modelo para que sea considerado el mejor modelo. Una de las ventajas del enfoque de teoría de la información es que permite obtener un modelo promedio en lugar de depender únicamente del modelo mismo. La suma de los pesos de los mejores siete modelos de este complejo fue de 0.999, lo que sugiere una alta confianza en que estos modelos juntos

Figura 4. Mapas de idoneidad del hábitat para el protozoo *T. cruzi*. Un color rojo indica mayor confianza en la predicción de la presencia. El mapa muestra umbrales logit derivados de reportes de *T. cruzi* en insectos, mamíferos y humanos en México.



son mejores para explicar los datos observados que los restantes modelos candidatos. El modelo promedio calculado basado en los pesos Akaike se muestra en la Tabla 3. Otra ventaja del enfoque de teoría de la información es que puede medir la importancia de variables individuales basados en los múltiples modelos en lugar de solo en el modelo elegido, que por sí solo no puede indicar con precisión la importancia de la variable.

A falta de datos de ausencia verdadera, establecimos en valor logit mínimo de las muestras presentes exactas como el umbral para dividir las muestras en dos grupos: muestras idóneas y muestras no idóneas, calculamos los cuantiles para estos dos conjuntos de puntos basados en el valor logit para generar un nuevo criterio de compartimentación de idoneidad del hábitat usando los resultados del modelo logístico (Tabla 4). En este caso, el enfoque produjo resultados fácilmente interpretables y altamente plausibles.

La distribución de los triatominos en México está fuertemente influenciada por la precipitación, la elevación y la temperatura y en menor medida la cubierta agrícola y de uso urbano. La relación entre los triatominos, tal como se manifiesta en su aptitud trazada sugiere la gran capacidad de estos de continuar su expansión en México en nuevas áreas de donde actualmente no se cuenta con registros. Los funcionarios de la vigilancia epidemiológica sanitaria deberían prepararse ante esa posibilidad para evitar que ocurra.

El avance metodológico en el uso del enfoque de teoría de información para predecir la propagación de vectores es alentador. Presentado con el reto de desarrollar un modelo basado en la información de solo presencia, desarrollamos un algoritmo simple para producir un mapa de idoneidad relativa que hace predicciones razonables. Creemos que un enfoque que utiliza la regresión logística basado en un marco teórico de teoría de la información ofrece un alto grado de transparencia deseable para la explicación y comprensión del proceso ecológico, así como

una plataforma robusta para la predicción. Los modelos futuros podrían permitir la predicción de una especie potencialmente invasiva basado solamente en su rango de distribución nativa antes de que llegue a una nueva región.

Tal habilidad sería altamente deseable desde la perspectiva del manejo de especies invasivas. Antes de este punto, sin embargo, es importante que sigamos evaluando este enfoque utilizando una variedad de especies para asegurar su robustez. Disponer de datos internacionales y cooperar es un activo clave en la realización de tales obras.

Los modelos de distribución de especies representan una información que sintetiza relaciones entre especies y variables ambientales que serían difíciles de interpretar o incluso apreciar por otros medios. Es una técnica en evolución donde aún queda mucho trabajo por hacer desde el punto de vista metodológico, especialmente a la hora de incluir los factores espacial, temporal y biótico en su forma de operar. La capacidad de construir modelos más realistas está limitada por nuestra comprensión de los sistemas ecológicos y por los datos disponibles, siempre insuficientes.

La predicción espacial y la estratificación de la exposición de vectores son extremadamente útiles para la vigilancia epidemiológica y la planificación, las actividades de prevención y control más rentables (Tarleton et al 2014). Dada la actual falta de vigilancia a nivel nacional, las actividades de control o prevención para la enfermedad de Chagas en México y la ausencia de colecciones robustas y geográficamente uniformes o representativas, dicha cartografía basada en la evidencia de las distribuciones potenciales de vectores podría ayudar a identificar la exposición actual y potencial de estos vectores.

La naturaleza es compleja y heterogénea y no es razonable esperar que los modelos nos reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es la distribución de especies. En la literatura se

encuentran trabajos diversos sobre las limitaciones asociadas a estos modelos (Pearson y Dawson, 2004; Guisan y Thuiller, 2005; Soberón & Peterson, 2005; Peterson 2006; Zurell et. al., 2009). Muchas de estas limitaciones son inherentes al proceso y difícilmente salvables, mientras otras están siendo objeto de investigaciones en la actualidad (Pearson y Dawson, 2004). A continuación se describen brevemente las limitaciones más comúnmente destacadas en la bibliografía (Mateo et. al., 2011):

Hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad

Al generar modelos se asume que la población está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales (Araujo & Pearson, 2005). Eso supone que la distribución de la especie es estable en el tiempo y el espacio, algo que normalmente se desconoce.

Relaciones bióticas

La distribución de las especies responde a procesos complejos donde las relaciones bióticas tienen una gran influencia. La competencia por ejemplo puede llevar a que las especies no ocupen más que una parte del área de distribución potencial (Anderson et. al., 2002; Pearson & Dawson, 2003). Aunque incorporar las relaciones bióticas a los modelos sería probablemente difícil, el desconocimiento casi universal sobre su dinámica a nivel de especies individuales ha hecho que sencillamente se ignore por completo a la hora de generar modelos de distribución.

Ausencia de la componente espacial en el proceso

Es paradójico que en la generación de los modelos, cuyo resultado es un mapa, no se tengan en cuenta las relaciones espaciales entre los puntos a partir de los cuales derivan, ya que las coordenadas de cada presencia se utilizan exclusivamente para extraer los valores de las variables independientes de ese punto, sin considerar lo que sucede a su alrededor. Debido a esta forma de generar los modelos es frecuente encontrar zonas potenciales separadas por ampliar barre-

ras climáticas cuando, en realidad, la especie está presente solo en una de esas zonas y la otra podría considerarse aislada e inaccesible.

Ausencia de la componente temporal en el proceso

Los modelos de distribución son fotografías de un instante u no reflejan ningún proceso histórico ni pueden contemplarlo en sus reglas ni en sus clasificadores.

Dificultad de hacer modelos fiables para especies generalistas

Los modelos realizados para especies de distribución geográfica restringida son más fiables que los realizados con especies de amplia distribución. Esto se debe a que en una especie generalista el rango de valores para cada variable obtenido con el número de presencias es muy amplio, mientras que para las especies de distribución restringida las condiciones ambientales están muy claramente definidas por el mismo número de presencias, ya que el rango de valores es mucho menor.

Literatura citada

- Anderson DR, Burnham KP (2002) Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. *Journal of Wildlife Management* 66:912–918
- Anderson DR, Burnham KP, Thompson WL (2000) Null hypothesis testing: problems, prevalence, and an alternative. *Journal of Wildlife Management* 64:912–923
- Anderson DR, Burnham KP, White GC (2001) Kullback–Leibler information in resolving natural resource conflicts when definitive data exist. *Wildlife Society Bulletin* 29:1260–1270
- Batista TA, Gurgel-Goncalves R. (2009) ecological niche modeling and differentiation between *Rhodnius neglectus* Lent, 1954 and *Rhodnius nasatus* Stal, 1859 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 104:1165–1170

- Beard CB, Pye G, Steurer FJ, Rodriguez R, Campman R, Peterson AT, Ramsey J, Wirtz RA, Robinson LE (2003). Chagas disease in a domestic transmission cycle, southern Texas, USA. *Emerg Infect Dis* 9:103-105
- Benítez-Alva JI, Huerta H, Téllez-Rendón JL (2012). Distribución de triatominos (Hemiptera: Reduviidae) asociados a la vivienda humana y posibles zonas de riesgo en seis estados de la República Mexicana. *BIOCYT* 5: 327-340.
- Burnham KP, Anderson DR (2001) Kullback–Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Research* 28:111–119
- Burnham, KP, Anderson, DR (2002) Model selection and multimodel inference. A Practical Information-Theoretic Approach. Springer, New York
- Cohoen JM, Wilson ML, Cruz-Celis A, Ordoñez R, Ramsey JM. (2006). Infestation by *Triatoma pallidipennis* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) is associated with housing characteristics in rural Mexico. *J Med Entomol* 43:1252-1260
- Costa J, Peterson AT (2012). Ecological niche modeling as a tool for understanding distributions and interacciones of vectors, hosts and etiologic agents of Chagas disease. En E mylonakis, FM Ausubel, M Gilmore, A Casadevall (eds). *Recent advances on model hosts, advances in experimental medicine and biology*, Springer New York, New York, p. 59-70
- Costa J, Peterson AT, Beard BC (2002). Ecological niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911, the most important Chagas disease vector in northeastern Brazil (Hemiptera: Reduviidae, Triatominae). *Am J Trop Med Hyg* 67:516-520
- Coura JR, Dias JCP (2009). Epidemiology, control and surveillance of Chagas disease – 100 years after its discovery. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 102(Suppl. 1): 11-18
- Cruz-Reyes A., y Pickering-López J.M. (2004). Chagas disease in México: an analysis of geographical distribution during the past 76 years – A review. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 101 (4): 345-354.
- Galvão C, Carcavallo R, da Silva D, Jurgerg J (2003). A checklist of the current valid species of the subfamily Triatominae Jeannel, 1919 (Hemiptera: Reduviidae) and their geographical distribution with nomenclatural and taxonomic notes. *Zootaxa* 202: 1-36
- Greaves RK, Sanderson RA, Rushton SP (2006) Predicting species occurrence using information-theoretic approaches and significance testing: An example of dormouse distribution in Cumbria, UK. *Biological conservation* 130: 239-250
- Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: Offering more than simple habitats models. *Ecology Letters* 8: 993-1009
- Guisan A, Zimmermann NE (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model* 135:147–186
- Gurgel-Gonçalves R, Galvão C, Costa J, Peterson AT (2012). Geographic distribution of Chagas disease vectors in Brazil based on ecological niche modeling. *J Trop Med* 2012: 705326
- Hotez PJ, Dumonteil E, Heffernan MJ, Bottazzi ME. (2013) Innovation for the 'bottom 100 million': eliminating neglected tropical diseases in the Americas. *Adv Exp Med Biol*. 764:1-12.
- Hyndman RJ and Fan Y (1996) Sample quantiles in statistical packages. *American Statistician* 50:361-365

- Ibarra-Cerdeña CN, Sánchez-Cordero V, Peterson AT, Ramsey JM. (2009). Ecology of North American Triatominae. *Act Trop* 110:178-186
- Kjos SA, Snowden KF, Olson JK 2009. Biogeography and *Trypanosoma cruzi* infection prevalence of Chagas disease vector in Texas, USA. *Vector Borne Zoonotic Dis* 9: 41-50
- Kullback S and Leibler RA (1951) On information and sufficiency. *Annals of Mathematical Statistics* 22:79-86
- Legendre P, Legendre L (1998) Numerical ecology developments in environmental modeling, vol. 20. Elsevier, Amsterdam
- Lent H, Wygodzinsky P 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas disease. *B Am Mus Nat Hist* 163: 123-520
- López-Cárdenas J, Brvo FEG, Schettino PMS, Solorzano JCG, Barba ER, Méndez JM, Sánchez-Cordero V, Peterson AT, Ramsey JM (2005). Fine-scale predictions of distributions of Chagas disease vector in the state of Guanajuato, México. *J Med Entomol* 42:1068-1081
- Magallón E, Lozano F, Flores A, Bosseno MF, Breniere SF, (2001). Sylvatic Triatominae of the phyllosoma complex (Hemiptera: Reduviidae) around the community of Carrillo Puerto, Nayarit, México. *J Med Entomol* 38:638-640
- Manel S, Dias JM, Ormerod SJ (1999) Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: as case study with a Himalayan river bird. *Ecol. Model* 120:337–347
- Manly BF, MacDonald LL, McDougal TL, Thomas DL, Erickson, WP (2002) Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies. Kluwer, Dordrecht
- Manel S, Dias JM, Ormerod SJ (1999) Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: as case study with a Himalayan river bird. *Ecol. Model* 120:337–347
- Martínez-Ibarra JA, Martínez-Grant JA, Verdugo-Cervantes MR, Bustos-Saldaña R, Nogueada-Torres B. (2010). Monitoring triatomidbug (Hemiptera: Reduviidae) presence by sentinel chicken coops in southern, Jalisco state, México. *Biomédica* 30:140.145
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. (2011). Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de historia natural*. 84: 217-40
- Medina-Torres I, Vasquez-Chagoyan JC, Rodríguez-Vivas RI, de Oca-Jimenez RM. (2010) Risk factors associated with triatomines and its infection with *Trypanosoma cruzi* in rural communities from the southern region of the state of Mexico, Mexico. *Am J Trop Med Hyg* 82:49-54
- Moo-Llanes D, Ibarra-Cerdeña CN, Rebollar-Téllez EA, Ibañez-Bernal S, González C, Ramsey JM (2013). Current and future niche of North and Central America sand Flies (Diptera: Psychodidae) in climate change scenarios. *PLoS Negl Trop Dis* 7:e2421
- Parra-Henao G. (2010). Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Medicina*. 24(2):75-89.
- Pearson RG, Dawson TP (2004) Bioclimate envelope models: What they detect and what they hide – response to Hampe (2004). *Global Ecology and Biogeography* 13: 469-76
- Pérez SMG, Hernández-Meléndrez E, Rodríguez-Cabrera A. (2010). La enfermedad de Chagas como un rezago social en salud. *Revista Cubana de Salud Pública* 37:159-174

- Peterson AT, Sánchez-Cordero V, Beard CB, Ramsey JM 2002. Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerg Infect Dis* 8: 662-667
- Peterson AT (2003) Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology* 78:419-433
- Peterson AT, Martínez-Campos C, Nakazawa Y, Martínez-Meyer E. (2005). Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 99:647-655
- Peterson AT (2006). Ecological niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerg Infect Dis* 12:1822-1826
- Pfeiller E, Bitler BG, Ramsey JM, Palacios-Cardiel C, Markow TA 2006. Genetic variation, population structure and phylogenetic relationships of *Triatoma rubida* and *T. recurva* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) from the Sonoran desert, insect vectors of the Chagas disease parasite *Trypanosoma cruzi*. *Mol Phylogenet Evol* 41: 209-221.
- Ramsey JM, Gutierrez-Cabrera AE, Salgado-Ramírez K, Peterson AT, Sánchez-cordero V, Ibarra-Cerdeña CN. (2012). Ecological connectivity of *Trypanosoma cruzi* reservoirs and *Triatoma palidipennis* host in a anthropogenic landscape with endemic Chagas disease. *PLoS ONE*. 7:e46013
- Ramsey JM, Peterson AT, Carmona-Castro O, Moo-Llanes DA, Nakazawa Y, Morgan B, Tun-Ku E, de la Cruz-Felix K, Ibarra-Cerdeña CN (2015) Data from: Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) and vector transmission of Chagas disease. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz* 110(3): 339 – 352 <http://dx.doi.org/10.1590/0074-02760140404>
- Ryckman RE (1962). Biosystematics and hosts of the *Triatoma protracta* complex in North America (Hemiptera: Reduviidae) (Rodentia: Cricetidae). *Univ California Pub Entomol* 27: 93-240
- Sandoval-Ruiz CA, Cervantes-Peredo L, Mendoza-Palmero FS, Ibáñez-Bernal S (2012). The triatominae (Hemiptera: Reduviidae) of Veracruz, México: geographic distribution, taxonomic redescrptions and a key. *Zootaxa* 3487:1-23
- Sandoval-Ruiz CA, Zumaquero-Rios JL, Rojas-Soto OR (2008). Predicting geographic and ecological distributions of triatominae species in the southern Mexican state of Puebla using ecological niche modeling. *J Med Entomol* 45:540-546
- Soberón J, Peterson AT. (2005) Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiv Inform* 2:1-10
- Soberón JM (2007). Grinenellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecol Lett* 10:1115-1123
- SSA. (2012) Programa de acción específico 2007-2012. Otras enfermedades transmitidas por vector. Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. [En línea] SSA; 2012; Fecha de acceso Septiembre 2015. Disponible en: <http://www.cdi.salud.gob.mx:8080/BasesCDI/Archivos/Enfermedadestransmitidasporvector/etv.pdf>
- Stevens L, Monroy MC, Rodas AG, Dorn PL. (2014). Hunting, swimming and worshipping: human cultural practices illuminate the blood meal sources of cave dwelling Chagas vectors (*Triatoma dimidiata* in Guatemala and Belize). *PLoS Negl Trop Dis* 8:e3047
- Tarleton RL, Gürtler RE, Urbina JA, Ramsey J, Viotto R 2014. Chagas disease and the London declaration on neglected tropical diseases. *PLoS Negl Trop Dis* 8: e3219.

- Tay J, Schenone H, Sánchez JT, Robert L. (1992) Estado actual de los conocimientos sobre la enfermedad de Chagas en la República Mexicana. *Biol Chil Parasitol* 47:43-53
- Torres-Montero J, López-Monteon A, Dumonteil E, Ramos-Ligonio A. (2012). House infestation dynamics and feeding sources of *Triatoma dimidiata* in central Veracruz, México. *Am J Trop Med Hyg* 86:677-682
- Vidal AV, Ibáñez-Bernal S, Martínez-Campos C. (2000) infección natural de chinches Triatominae con *Trypanosoma cruzi* asociadas a l vivienda humana en México. *Salud Pública Mex* 42:496-503
- Yoccoz Ng (1991) Use, overuse, and misuse of significance tests in evolutionary biology and ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 72:106–111
- Zárate LG, Zárate RJ (1985). A checklist of the Triatominae (Hemiptera:Reduviidae) of México. *Int Entomol*27:102-127
- Zurell D, Leltsch F, Dormann CF, Schroder B (2009) Static species distribution models in dynamically changing systems: How good can predictions really be? *Ecography* 32: 733-44

MODELO DE PARTICIPACIÓN SOCIAL A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS PARTICIPATIVAS EN EL MARCO DE LA GEOMEDICINA APLICADA A VECTORES

Claudia Leticia Hernández Hernández
María Guadalupe Galindo Mendoza
Julio Cesar Hernández Montes
Héctor Alejandro Torres Briones

Antecedentes

Las enfermedades han dejado de ser tema exclusivamente del gremio médico y se ha volcado dentro del análisis de otras disciplinas, como lo son las ciencias sociales. Este proyecto fue desarrollado en el área de Capacitación y Atención Participativa en Ambiente y Salud (CAPAS) del Laboratorio de Geoporcesamiento Epidemiológico en Ambiente y Salud (LaGES). Su elaboración representa un primer esfuerzo de articulación multidisciplinaria ya que, tendencias actuales consideran necesario abordar los fenómenos sociales desde la complejidad (Chávez, 2008).

La geografía, la antropología, la biología, la medicina, y la geomática son las ramas académicas que se han puesto a dialogar en esta propuesta, utilizando como marco teórico la educación popular para la construcción de metodologías participativas en busca de la participación social aplicada a vectores en el marco de la geomedicina.

Esta primera experiencia permitió diseñar y aplicar un modelo de participación social a través de metodologías participativas para la geomedicina aplicada a vectores en San Luis Potosí el cual se constituye de las siguientes fases: 1.- La definición de áreas prioritarias para talleres participativos, 2.-La puesta en marcha de los talleres participativos para la caracterización de la percepción de la enfermedad y el perfil epidemiológico sociocultural 3.- El ejercicio de cartografía participativa como forma de empoderamiento y 4.-La caracterización social, económica y cultural del sujetos colaboradores a través del trabajo de campo y aplicaciones móviles.

En esta entrega se muestran los marcos teóricos y metodológicos aplicados en esta primera etapa del trabajo de investigación, así como algunos resultados preliminares de una primera sistematización de la información; actualmente se encuentran 10800 datos obtenidos que están en proceso de análisis. Por otro lado, las acciones realizadas en este proyecto generaron manuales y protocolos de actuación para el trabajo comunitario, los cuales se encuentran en revisión para su próxima publicación.

LA PARTICIPACIÓN SOCIAL EN SALUD

El surgimiento de la participación como categoría aplicada es reciente y se suscribe en diferentes marcos teóricos-conceptuales-prácticos (Sanabria, 2004). En términos generales, la Real Academia Española define participar es un acto social que concibe un actor que toma partido o una posición activa para ser parte o socio de una organización que percibe determinado objetivo o que comparte la misma idea.

Por su parte, la participación social en el concepto de ciudadanía, representa un proceso crucial en la democracia y la gestión pública a nivel local. En esta perspectiva el concepto de participación social ha sido aplicado para incentivar la comprensión y apropiación de un proyecto y la manera organizada de apropiarlo, llevarlo a cabo, monitorearlo y evaluarlo (Olvera, 2009). En esencia, se expresa como acciones coordinadas e impulsadas por grupos y actores sociales estratégicos, que debido a su impacto generan cambios trascendentes para el beneficio común (Fadda, 1990: 34).

También, el concepto de participación social está ligado al ejercicio del poder. Se manifiesta en la medida en que una comunidad se organiza para lograr determinados objetivos y tiene éxito, es tangible cuando los actores acceden al poder con la toma de decisiones o la intervención en los asuntos que le conciernen a la comunidad (Fadda, 1990: 34). Como resultado, los sujetos expresan iniciativas, necesidades o demandas; defienden intereses, valores comunes y forma parte en los procesos de planeación y acción del gobierno” (Arroyo, 1997).

En temas de salud, la participación social apareció como práctica desde la época de los cincuenta; y en la actualidad se encuentra dentro de las agendas de los programas sociales de varios países, sobre todo en Latinoamérica y, a partir del año 2000 se comenzó a problematizar las distintas formas de asumirla y ponerla en marcha (Sanabria, 2004).

El concepto de participación social se fue posicionando cada vez más con el paso del tiempo y, en la actualidad, se encuentra inscrito en diversos acuerdos internacionales como parte fundamental del su plan de trabajo. Ejemplo de ello es La Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud, la cual señala que para alcanzar un estado adecuado de bienestar físico, mental y social un individuo o grupo debe ser capaz de identificar y realizar sus aspiraciones, de satisfacer sus necesidades y de cambiar o adaptarse al medio ambiente, por consiguiente, el concepto de salud no concierne exclusivamente al sector sanitario, (OMS, 1986). Bajo esta definición la participación social constituye una estrategia de la Promoción de Salud como una alternativa viable para mejorar la vida de los pueblos (Sanabria, 2004)..

Otro caso es la Conferencia Mundial de Promoción de Salud a partir de la discusión del Informe Técnico No. 4 el cual señala que es trascendental el incremento de la capacidad comunitaria y del apoderamiento de las comunidades para promover salud, el cual se sustenta en la presen-

tación de tres estudios de casos de experiencias exitosas de participación social (Sanabria, 2004).

METODOLOGIAS PARTICIPATIVAS APLICADAS A VECTORES EN EL MARCO DE LA GEOMEDICINA

Antecedentes

Durante mucho tiempo los trabajos que buscaron la participación de la sociedad para la prevención, control y erradicación del Dengue se focalizan principalmente al control del vector las cuales en un inicio tuvieron resultado pero ahora resultan insuficientes. Las campañas de erradicación del *Ae. aegypti* fueron muy exitosas en la década de los años cincuenta y de los sesenta, a partir de la Resolución de la Organización Panamericana de la Salud aprobada en 1947, para 1972 se había logrado la erradicación del vector en 21 países de la Región. Sin embargo, para la década de los años setenta, la falta de sostenimiento y en algunos casos abandono de los programas trajo como resultado la reinfestación de los países, perdiéndose el esfuerzo realizado en los años anteriores (Cruz, 2002).

Las actividades específicas por parte de los servicios de salud y los programas de control en la actualidad se ven obstaculizados, ya que se enfrentan con diferentes grados de complejidad por la influencia de factores económicos, políticos, sociales y administrativos. Existe asimismo una falta de aplicación en el terreno de la prioridad oficial de la prevención y el control de Dengue. En México, para el periodo 2013-2018, la Secretaría de Salud se ha replanteado las estrategias para la incorporación de un importante trabajo intersectorial que tiene como motor la identificación de actores sociales y su corresponsabilidad y por la práctica efectiva de la concertación, reconociendo la multiplicidad de factores socioeconómicos que determinan y condicionan la introducción del dengue y su persistencia, y la dificultad para su abordaje desde el ámbito de acción exclusivo del sector salud. (CENAPRECE 2017)

Obedeciendo a este marco normativo y conceptual el LaGES genero dentro de su área de capacitación y educación el modelo de participación social a través de metodologías participativas para la geomedicina aplicada a vectores. En esta primera experiencia las y los participantes de camino hacia una participación social en el tema discutieron, evaluaron y evidenciaron su percepción de las instancias gubernamentales que atienden el Dengue y su propagación. Así mismo mostraron un panorama general de la exposición al riesgo que tienen hacia el vector y, caracterización los factores de riesgo asociados a esta desde los aportes de la geomedicina.

Geomedicina, educación popular y metodologías participativas

La geomedicina es el estudio del estado de salud de una persona sobre la base de los factores geográficos y ambientales que la afectan o la afectaron a lo largo de su vida; es el estudio de la relación entre el emplazamiento geográfico y el impacto del medioambiente sobre la salud de los sujetos; se encarga de estudiar los efectos de los factores ambientales asociados a un área geográfica sobre la salud de la población (Rodriguez, 2013). Para conocer desde la voz de los actores dichos factores en esta propuesta se decidió utilizar como herramienta epistemológica la educación popular para la construcción las metodologías participativas focalizadas en la participación social.

La educación popular es una estrategia política que genera acciones pedagógicas y políticas que colaboran en la integración de una alternativa investigativa, la cual a partir de una construcción epistemológica colaborativa reivindica el empoderamiento de sujetos y pueblos para la reflexión de su entorno y la mejora de sus condiciones de vida (Muñoz, 2013).

La educación popular es un concepto teórico-práctico que se desarrolló en América latina a partir del pensamiento de Paulo Freire a finales de la década de los sesentas, este busca transformar al sujeto a partir de un proceso de educación contextual en el cual los sujetos reflexionen

su sus condiciones de vida para la mejora de su contexto; en esencia es una propuesta practica y emancipadora (Tornés, 2011) .

Metodológicamente la educación popular se construye a través de un proceso de “acción – reflexión - acción” y de “práctica – teoría – práctica”, lo anterior se realiza a través tres momentos. “a) Punto de partida: Lo constituye el reconocimiento sistemático de la realidad objetiva y contextual, en la que los sujetos interactúan y profundizan su entorno, b)Teorización: es corresponde a la globalización y conciencia de pertenencia a una clase mediante el análisis de su historicidad, y C) Regreso a la práctica, este momento corresponde a un regreso al punto de partida, de la realidad analizada, así como la aplicación dialéctica del trabajo de base (Nuñez , 1987:1)”.

Por su parte, las metodologías participativas se componen por diferentes actividades pedagógicas que tienen la característica de ser dinámicas, socio dramáticas y /o adecuadas a los juegos populares, las cuales integra el análisis, la reflexión y el cambio de actitud de las y los participantes (Jalda, 2017:4). Estas, funcionan como proyectos de cooperación protagonizados por la propia población que a través de un proceso participativo, permiten que los actores determinen su propio desarrollo y potencien su capacidad política y económica (CIMAS,2014).

El modelo de participación social puesto en marcha

1.- Definición de áreas prioritarias para talleres participativos

En esta primera etapa se realizó minería de datos con la información oficiales disponibles sobre los casos de Dengue clásico y hemorrágica en la República Mexicana a nivel localidad. A si mismo se cotejaron bases de datos anteriores recopiladas en el trabajo de campo del LAGES.

Lo anterior permitió generar un primer panorama nacional con el que se pudieron clasificar a las comunidades según su perfil epidemiológico. Para lograrlo, se contabilizaron los casos

acumulados del 2000 al 2014. Posteriormente se identificaron a través de un análisis numérico las localidades que cuentan con mayor número de casos acumulados, desglosando el resultado en un contexto urbano y rural. En razón a los casos acumulados y, considerando el acceso previo que se tenía para el acceso a la comunidad se eligió trabajar en Ciudad Valles, San Luis Potosí. El periodo de trabajo fue de 45 días, por lo cual se intentó eficientar a través de las herramientas informáticas todos los recursos disponibles.

Para el estado de San Luis Potosí se logró identificar que Ciudad Valles cuenta uno de los mayores casos acumulados en el análisis histórico, por lo cual se eligió dicho municipio para la realización del proyecto. Así mismo, la colonia San Rafael se identificó en los datos hemerográficos del 2010 a la fecha que es una de las colonias con mayor incidencia de casos en el municipio. Cabe señalar que con esta y toda la información recabada se generaron capas de información que sirvieron para el análisis de las condiciones en las cuales se desarrolla la enfermedad.

2.- La puesta en marcha de talleres participativos

Para la aplicación de un taller es siempre necesaria la fase exploratoria en la comunidad, la cual se realizó a través del trabajo de campo realizado de manera colectiva con el etnoinvestigador. El trabajo de campo se define como una técnica o un conjunto de técnicas, para obtener la información empírica desde la observación (KROTZ, 1991). La observación es la principal herramienta del trabajo de campo, esta debe: a) orientarse a un objetivo concreto de investigación, b) planificarse sistemáticamente en fases, lugares, aspectos y personas, c) echar mano de los sentidos que ayudan a comprender y explicar por sí mismo el espacio, d) relacionarse con proposiciones y teorías sociales, y e) someterse a controles de veracidad, objetividad, confiabilidad y precisión (Ramirez, 2011). Con la finalidad de cumplir este primer ejercicio se construyó una guía de observación que sirvió para direccionar a las y los miembros del equipo multidisciplinario para reconocer las características del entorno en el marco de la geomedicina.

Fotografía 1. Adaptación de la técnica participativa Árbol de problemas, para el análisis de las problemáticas identificadas por la comunidad para la propagación del Dengue, (2017)



Este proceso fundamental, esta debe ser entendida como la puesta en práctica del pensamiento crítico desde el ejercicio de observación a través del intento de despojo de prejuicios para el reconocimiento de los procesos históricos y culturales que constituyen la sociedad (Ferro, 2010).

La guía de observación se realizó desde un enfoque multidisciplinario con énfasis en las observaciones realizadas por el etnoinvestigador, y, la información obtenida se organizó y sistematizó en un informe de trabajo de campo. Se realizaron dos visitas por parte del equipo multidisciplinario y ocho recorridos de trabajo de campo por parte del etnoinvestigador quien además de realizar el reporte mencionado registró desde su perspectiva local sus hallazgos y rutas mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Los talleres participativos

El éxito de un taller depende de su buena preparación y del trabajo de acercamiento previo a la comunidad. Una vez transcurrida la fase intercambio conceptual entre áreas y los criterios para la selección de participantes, se trabajaron los temas en concordancia con la metodología establecida para la selección de herramientas. Como resultado se requirió la elaboración de un protocolo de participación social que mostrara los

Fotografía 2. Sesión de cartografía participativa, Taller participativo en Cd Valles (2017)



Figura x. Cartodiagrama del Dengue en Ciudad Valles



Fuente: Imagen LANDSAT Oli (Ciudad Valles, 2017) en visible. Archivo fotográfico



principales conceptos epidemiológicos, los objetivos del proyecto y las metodologías utilizadas.

Se revisaron los términos pertinentes en parasitología vinculados al análisis del Dengue, literatura reciente en epidemiología sociocultural en salud pública así como los protocolos y manuales de atención erradicación y prevención del dengue generados por la Organización Mundial de la Salud. Con la revisión del dicho material se adaptaron y contextualizaron algunas técnicas participativas para el análisis y el reconocimiento del Dengue que se evaluaron y pusieron en marcha en el primer taller participativo. El manual se construyó a partir de tres objetivos: 1. La apertura del canal de comunicación entre el grupo de trabajo y la comunidad, 2. El Reconocimiento de la percepción de la enfermedad por parte de la comunidad y 3. La facilitación de información relevante en función del nivel endémico propio de la población. Así mismo, se construyó a partir de los momentos de la educación popular. En los cuales se retomaron métodos y técnicas participativas las cuales se adaptaron al tema y el contexto de la comunidad (véase fotografía 1).



Como resultado de este primer taller participativo se identificó que los habitantes de la colonia tienen conocimiento de la enfermedad, están familiarizados con la sintomatología, conocen el vector y tienen pueden distinguir entre las especies de mosquitos y mostraron interés por conocer más información sobre otras enfermedades transmitidas por vectores, en específico zika y chikungunya "Es importante saber, es una enfermedad que tiene años y no se ha podido terminar", Mujer, 30 años habitante de la colonia.



Sin embargo, las principales problemáticas se centraron en la organización que la comunidad tiene para acatar las acciones individuales y colectivas planteadas por los protocolos de actuación de la secretaria de salud y, la efectividad del personal de salud "a veces uno ve que pasan y fumigan y ni nos dicen para que, o el equipo que tienen es insuficiente, la mayoría de las veces las y los promotores de salud solo pasan por



la firma, pero no resuelven nuestras dudas o nos explican las cosas, ya uno ni les firma, es solo para justificar su trabajo” Mujer, 45 años habitante de Ciudad Valles, Colonia San Rafael.

Es interesante contrastar como ambos discursos que están presentes en la población. ¿Por qué si tienen información al respecto y conocen de la enfermedad la evaluación sobre el personal es negativa?. Para contrastar este resultado los cuestionarios realizados por la aplicación móvil diseñada en LAGES permitieron puntualizar sobre que medios obtienen su información y como evalúan dichos mecanismos. Lo anterior será posible analizar en una segunda etapa del proyecto que permita comparar los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en el taller.

3.- El ejercicio de cartografía participativa

La cartografía participativa se define por el contenido de los mapas que representan conocimientos e información locales. Los mapas contienen los nombres de los lugares de una comunidad, sus símbolos, escalas y características prioritarias y representan sistemas de conocimientos locales (FIDA, 2009). La información generada en este proceso es invaluable, ya que representa la cognición y representación local de un fenómeno en específico.

Para este proyecto el objetivo del ejercicio cartográfico fue generar información de primera mano desde un proceso colectivo y reflexivo para la identificación del Dengue y sus factores de riesgo asociados para su apropiación y análisis.

De manera general, este ejercicio colectivo se define por el contenido de los mapas que representan conocimientos e información locales. Contienen los nombres de los lugares de una comunidad, sus símbolos, escalas y características prioritarias y representan sistemas de conocimientos locales (FIDA, 2009). La información generada en este proceso es invaluable, ya que representa la cognición y representación local de un fenómeno en específico (véase foto 2).

Existen varios criterios para la realización de la cartografía participante o participativa: la realización

de los mapas se planean en torno a un objetivo en común y a una estrategia de empleo, con la aportación de toda una comunidad de manera abierta e incluyente, con una mayor participación se obtendrán mejores resultados; la producción de mapas realizados por la comunidad tiene la finalidad de mostrar información importante para sus necesidades y que está destinada a su uso; los mapas representan conocimientos e informaciones locales y no se limita a un nivel de observancia de la cartografía oficial. (FIDA, 2009).

Los objetivos específicos de la cartografía participativa pueden variar considerablemente por lo que existen distintas maneras de realizar esta actividad. Se consideran que, en este trabajo la información recabada sirve como herramienta para la defensa de los intereses comunitarios por medio de documentos locales que alternen la información de las autoridades públicas. Es decir, es una fuente alterna de generación de datos que permite conocer información que no es visible de manera oficial y coteja las condiciones actuales en que la comunidad se encuentra.

Si bien la metodología refiere que mayoritariamente la información se genera mediante las comunidades; existen ejes de análisis propuestos que permiten direccionar algunas de las preguntas que la comunidad realiza, sin olvidar que se priorizan los cuestionamientos que la comunidad realiza en relación al tema.

Los ejes de análisis propuestos son los factores de riesgo asociados a enfermedades vectoriales relacionadas con el entorno los cuales son: a) el crecimiento de la población, b) tiraderos de desechos de las últimas, c) actividades agrícolas, d) alteraciones del hábitat forestal, e) los animales domésticos, f) flora, g) fauna, h) aumento de la movilidad, i) servicios y tipo de vivienda, j) deforestación, k) cambio de usos de suelo, Construcción de caminos y apertura de nuevas rutas para el transporte (FAO, 2006). Del ejercicio anterior se obtuvo un mapa de la colonia en el cual, se identificó la presencia del Dengue clásico y hemorrágico y las zonas de mayor riesgo para la

población. Es importante recalcar que las zonas señaladas con presencia de la enfermedad son coincidentes con la presencia de murciélagos, traspatio, ganado, deforestación, conglomeraciones de basura y nuevos fraccionamientos¹ (véase mapa 1). Dicha información se encuentra digitalizada en la plataforma PAVES del LAGES.² (véase imagen 2).

4.-Caracterización social, económica y cultural de los sujetos colaboradores a través del trabajo de campo y aplicaciones móviles.

Finalmente, en esta última etapa el etnoinvestigador a través de una aplicación móvil generó información de primera mano sobre las características de los sujetos que habitan a colonias aledañas a la colonia San Rafael en la cual se registró en treinta variables la historia clínica básica de vida familiar y, de ego se obtuvo a) la historia clínica básica de los entrevistados, c) las actividades laborales, d) las temporalidades de movilización, e) las fuentes e información obtenida sobre el Dengue y su erradicación.

El etnoinvestigador en un periodo de 45 días, contando con: una capacitación presencial, dos asesorías webinar, ocho asesorías telefónicas y diez contactos por medio de correo electrónico reportó 120 registros en seis colonias aledañas a la San Rafael. Con la información anterior, se generaron capas de información que se sistematizaron a través de la plataforma PAVES para su consulta, permitiendo cotejar los datos oficiales con los datos que proporciono la población. Como resultado preliminar se observó que los datos oficiales difieren de la información que la gente proporciono de primera mano, la presencia de cementerios, vulcanizadoras escuelas y templos se encuentra cercana a los reportes con presencia de Dengue clásico y hemorrágico.

Como queda en evidencia de los objetivos cuantitativos los resultados son importantes. La ge-

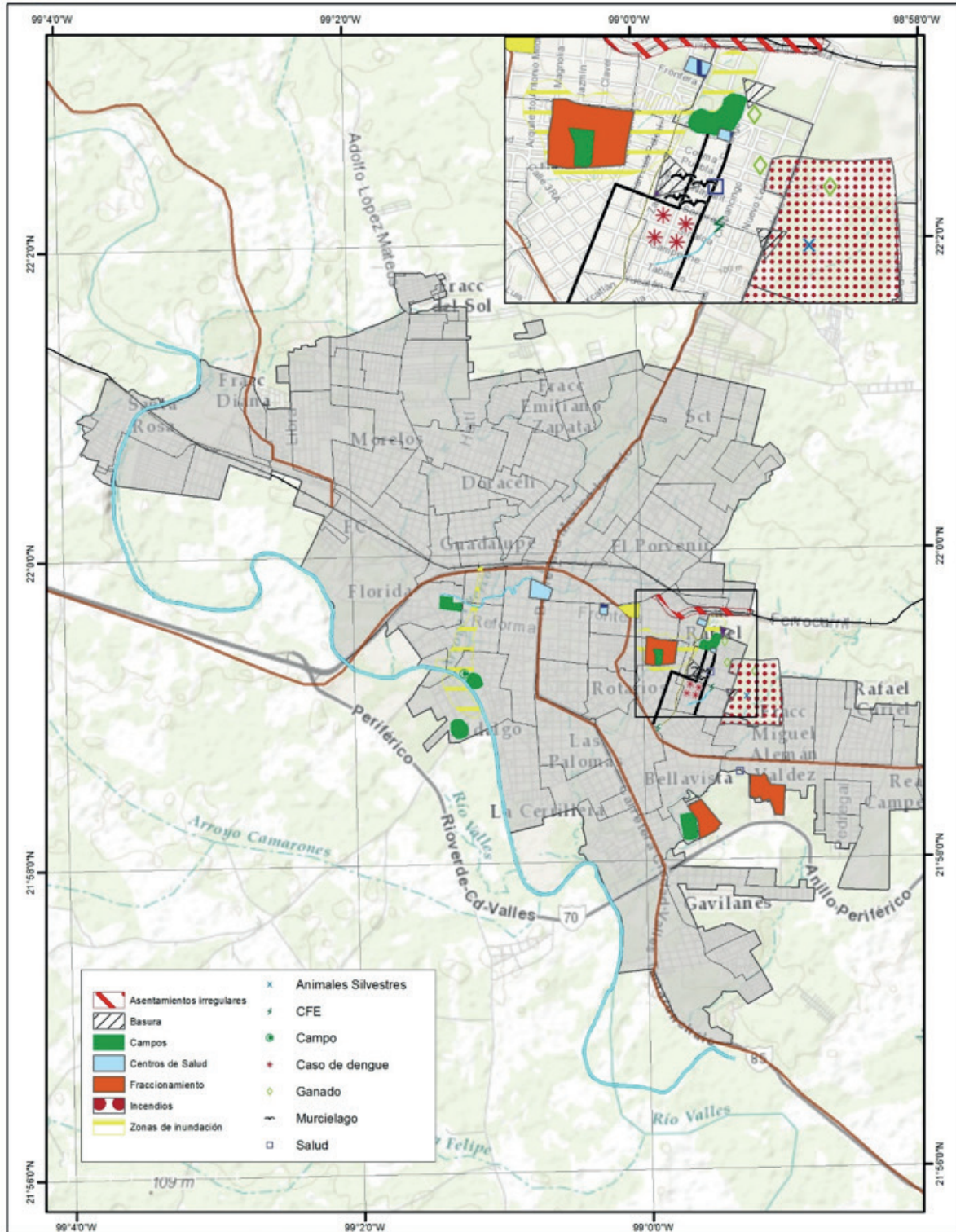
1 En este libro en capítulos anteriores se ha señalado la relación de dichos elementos con la presencia del vector y la enfermedad.

2 En este libro en capítulos anteriores se ha señalado la relación de dichos elementos con la presencia del vector y la enfermedad.

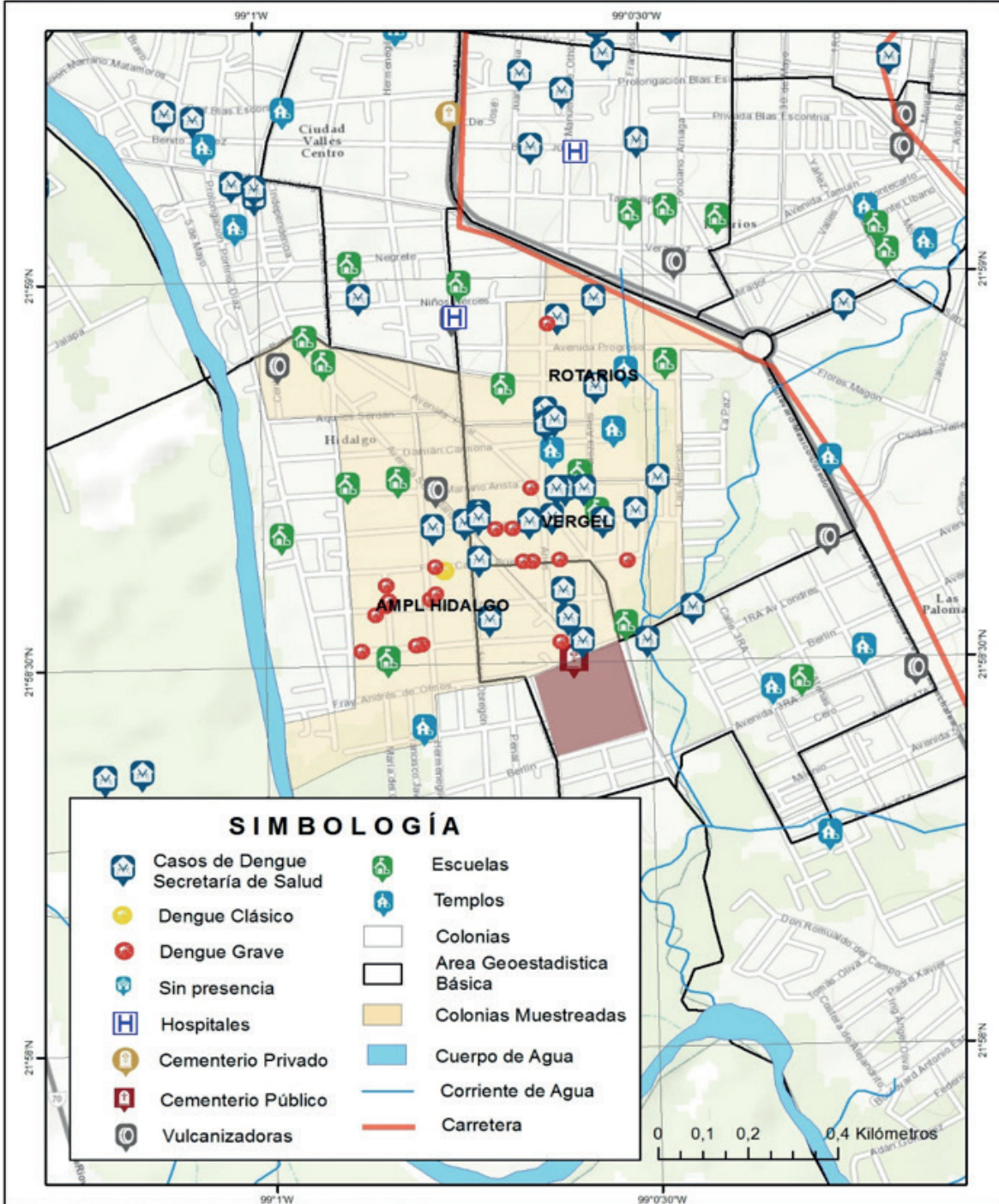
neración de información que la comunidad y el etnoinvestigador generaron resultado importante, veraz y oportuna. La calidad de los datos se garantiza a través del uso de la aplicación móvil. Lo anterior no hubiera sido posible sin la puesta en marcha de las metodologías participativas, estas permitieron una apropiación de la información por parte por parte de la comunidad de una forma práctica y analítica, ya que con ellas se realizó un análisis comunitario de la situación actual del Dengue en su comunidad. “ el proyecto me resulto interesante y me permitió aplicar lo que aprendí en los talleres y en la capacitación, siento, que me es más fácil comprender las cosas que pasan en la comunidad” Etnoinvestigador, Cd. Valles, SLP.

Lo anterior es significativo ya que los procesos reflexivos generados a través de las metodologías participativas ayudaron a problematizar las inquietudes que los habitantes tenían acerca del Dengue y los servicios de salud que dan atención a dicha enfermedad. En otras palabras ayudaron a reflexionar un tema que se encontraban instaurado en la cotidianidad pero que no había sido cuestionado de manera colectiva. Lo anterior sucede debido a que los sujetos no suelen cuestionarse las estructuras dominantes que se encuentran instauradas en un medio social, (Berger, 1968: 13). Bajo esta perspectiva el equipo de LAGES se convierte en un facilitador de herramientas analíticas para la comunidad.

Si bien el tiempo de estancia y de trabajo con la comunidad fue relativamente corto, ya que idealmente trabajar procesos reflexivos a través de metodologías participativas son relativamente largos, los cuestionamientos realizados en esta primera etapa sirvieron para definir las posturas de algunos habitantes respecto a sus inconformidades con las autoridades de salud y, sobre la atención que reciben para el tratamiento del Dengue y otras enfermedades. Por ello resulta imperante continuar con este tipo de metodologías que nos permitan conocer en varios niveles como la población conceptualiza, vive e identifica el dengue y sus factores de riesgo.



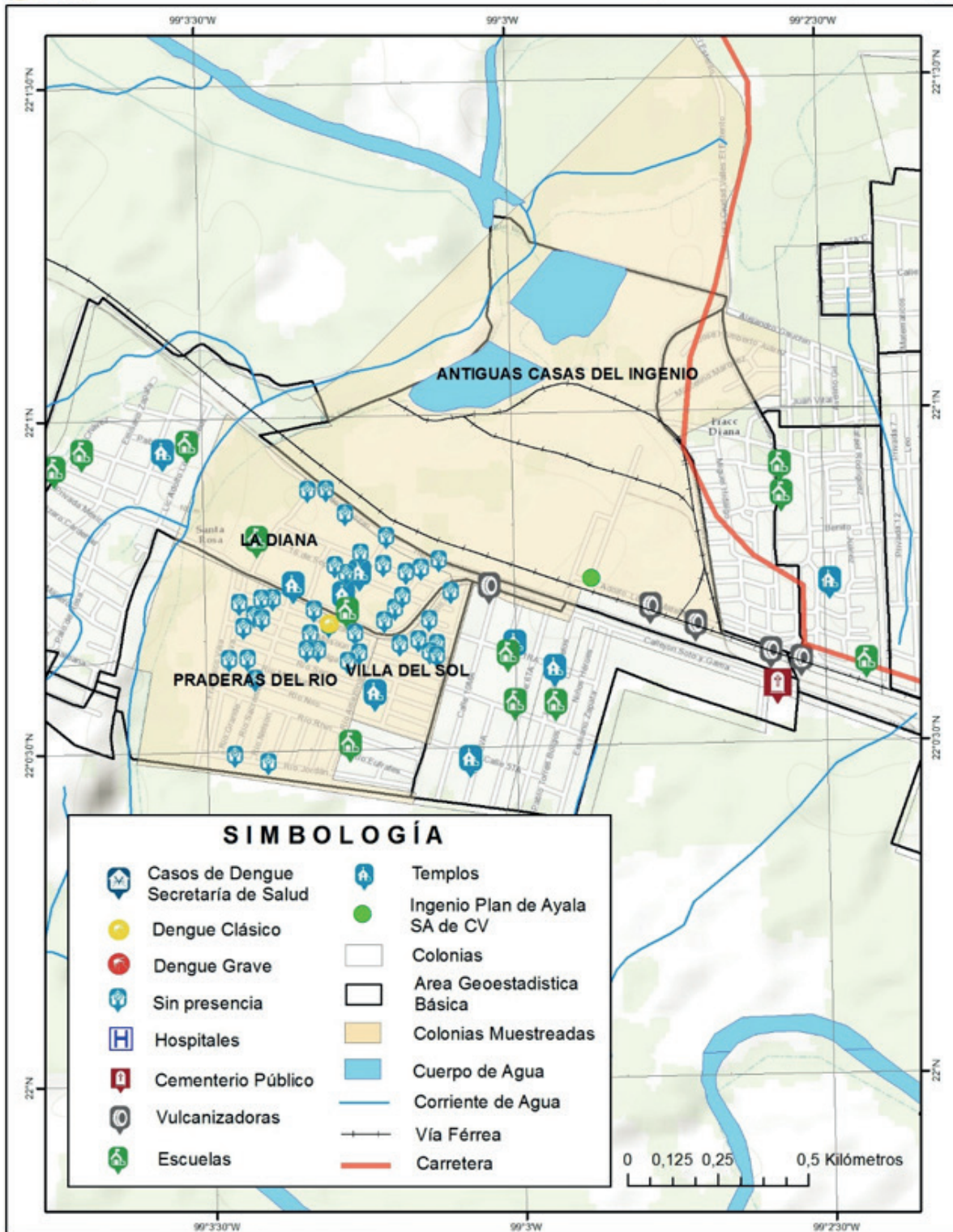
LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO EN AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA



LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLOGICO EN AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA



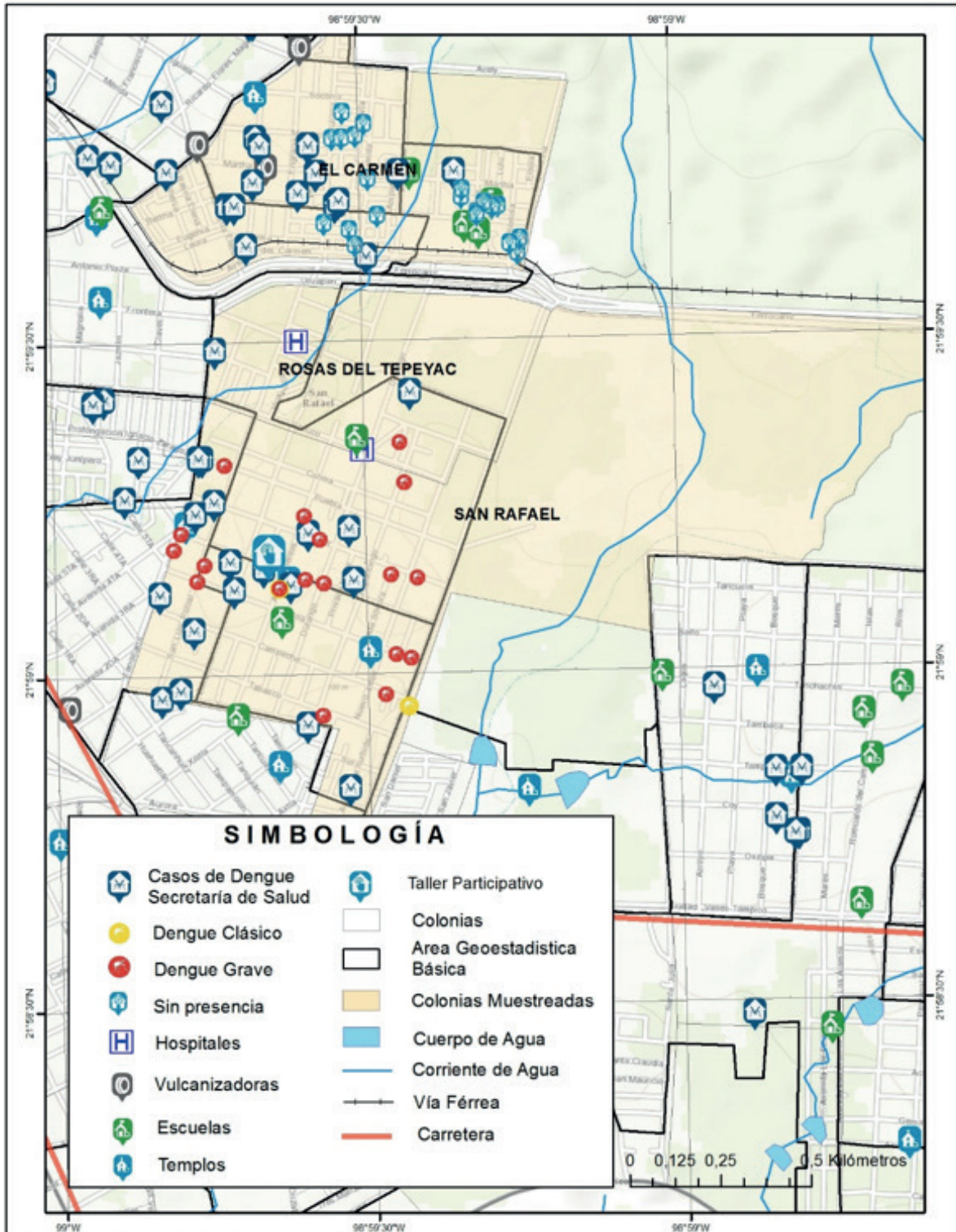
PERSONAS QUE RESPONDIERON ENCUESTRA A TRAVÉS DE APLICACION PAVES MX POR ETNOINVESTIGADOR EN CIUDAD VALLESÍ, S.L.P. (FEBRERO-MARZO 2017)



LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLOGICO EN AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA



PERSONAS QUE RESPONDIERON ENCUESTRA A TRAVÉS DE APLICACION PAVES MX POR ETNOINVESTIGADOR EN CIUDAD VALLESÍ, S.L.P. (FEBRERO-MARZO 2017)



LABORATORIO DE GEOPROCESAMIENTO EPIDEMIOLÓGICO EN AMBIENTE Y SALUD
COORDINACIÓN PARA LA INNOVACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Bibliografía

Libros

Arroyo, D. (2012). "Prioridades para el desarrollo social, político y económico de los jóvenes: reflexiones y aportes desde el humanismo cristiano" - 1a ed. - Buenos Aires : Konrad

Núñez, C. (1987). "Educar para transformar, transformar para educar". Lima: Tarea.

Informes

CENAPRECE. "Programa de Acción Específico Prevención y Control de Dengue 2013-2018"

OMS, (1986) Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud

Revistas digitales

Chaves, A; comp. (2004). Ciencias sociales y multidisciplinas . Memorias de las VII Jornadas Multidisciplinarias. UNAM: México.

Cruz, R. (2002). Estrategias para el control del dengue y del *Aedes aegypti* en las Américas. Revista Cubana de Medicina Tropical, 54(3), 189-201. Recuperado en 19 de julio de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602002000300004&lng=es&tlng=es.

Tornés, A; (2011). Ética y política en la concepción de la educación popular de Paulo Freire. *Universidades*, () 19-32. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37319837003>

Fadda, G; (1990). La participación como encuentro, discurso político y praxis. Universidad Central de Venezuela. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. Caracas

FIDA. (2009). "Buenas prácticas en cartografía participativa", pp. 1-55. Disponible en <https://www.ifad.org/documents/10180/c02f82b2-876b-411a-9d1a-2c5dd6f78d07>

FAO, (2006) "Los bosques y la aparición de nue-

vas enfermedades infecciosas en los seres humanos". Disponible en <http://www.fao.org/docrep/009/a0789s/a0789s03.htm>

Ferro, M. (2010). Guías de observación etnográfica y valoración cultural: Santuarios y oficios. En: Apuntes 23 (1): 56-69

Hersch, P. "Epidemiología sociocultural: una perspectiva necesaria", salud pública de México, 55, pp.512-518. Disponible en <http://www.scielosp.org/pdf/spm/v55n5/v55n5a9.pdf>

Krotz, E. (1991). Viaje, trabajo de campo y conocimiento antropológico. *Alteridades*. pp. 50-5. Disponible en: http://iidypca.homestead.com/FundamentosAntropologia/Krotz_Viaje__trabajo_de_campo_y_conocimiento_antropologico.pdf

Muñoz, D. (2013). "Lectura de contexto: la educación popular como práctica libertaria". *El ágora usb, núm.* 13, pp.155-163. Extraído el 20 de julio de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/4077/407736377005.pdf>

Observatorio Internacional CIMAS, "Metodología participativa y cooperación para el desarrollo", <https://goo.gl/Zwzn8v>, consultado el 9 de febrero de 2017.

Olvera, A. (2008). Ciudadanía y Democracia. México: Instituto Federal Electoral Ortiz, A. (2006). "¿Entre la espada y la pared? Conocimiento indígena y bioprospección en México", *Ciencias*, (83), pp. 41-52, Disponible en <https://goo.gl/ANxj5K>

Preto, Isabel, Michael K. McCall, Mário Freitas, and Luís Dourado (2016). "Participatory Mapping of the Geography of Risk: Risk Perceptions of Children and Adolescents in Two Portuguese Towns." *Children, Youth and Environments*. 26(1), pp. 85-110. Disponible en: <http://www.jstor.org/action/showPublication?journalCode=chilyoutenvi>

Rodríguez, C. (2013). "Acerca de la geomedicina: una aproximación desde la filosofía" *Thémata*. Núm.47. pp.: 261-272. Extraído el 24 de enero del 2017 de http://institucional.us.es/revistas/themata/47/art_15.pdf.

Proyecto Jalda "Manual de Técnicas Participativas" <https://goo.gl/1gGR7k>, consultado el 9 de febrero de 2017

Rodríguez, R. (2002). "Estrategias para el control del dengue y del *Aedes aegypti* en las Américas". *Revista Cubana de Medicina Tropical*, núm. 3, pp.189-201. Extraído el 19 de julio de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602002000300004&lng=es&tlng=es

Ramírez, A Maxula; Gouveia, Edith Luz; Lozada, Joan M.; 2011. El trabajo de campo estrategia metodológica para estudiar las comunidades. *Omnia* 17: 9-22.

El libro *Geomedicina y la tecnología espacial aplicada al caso de los vectores en salud humana*
se terminó de imprimir en el mes de octubre de 2018
en los Talleres Gráficos de la Universidad
Autónoma de San Luis Potosí
El tiraje fue de 500 ejemplares

