

Influencia del Cambio Climático en las Enfermedades Transmitidas por Vectores.

Influence of Climate Change on Vector-Borne Diseases.

Antonio Arbo^{1, 2,3} 

Gabriela Sanabria³ 

Celia Martínez^{1,3} 

¹Instituto de Medicina Tropical. Asunción, Paraguay

²Academia Nacional de Medicina. Asunción, Paraguay

³Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas. San Lorenzo, Paraguay.

RESUMEN

Los cambios ecológicos influyen fuertemente en los patrones de enfermedad. En la presente centuria, la inestabilidad climática y el calentamiento progresivo están desempeñando un papel creciente en la emergencia de nuevas enfermedades infecciosas, así como en la reaparición y redistribución de olvidadas infecciones. El objetivo del presente trabajo es analizar y contrastar la interrelación del clima, lluvias y temperatura, con las epidemias de dengue, arbovirosis que se ha convertido en un azote terrible en nuestro país.

Metodología: Estudio descriptivo, observacional, donde el número de casos de dengue durante los años 2012, 2013 y 2014, fueron contrarrestados con el promedio mensual de lluvia caída y la temperatura media mensual en el mismo periodo de tiempo. Tanto los datos de número de casos de dengue por mes, así como los datos promedios de lluvia y temperatura en cada mes se correlacionaron, estimándose la significancia estadística mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados: Durante los 3 años del estudio, se constató un patrón característico de ocurrencia presentándose con el incremento de casos de dengue entre los meses de diciembre y mayo con un pico máximo entre febrero y abril. La media de lluvia caída predominó globalmente en el primer semestre de cada año, aunque presentó algunas diferencias anuales. El incremento del número de casos de dengue fue claramente influenciado por variaciones climáticas tanto de temperatura, con un incremento de los casos de dengue con temperaturas entre 20 y 25°C y de lluvia caída. Al analizar en forma separada la influencia de ambas variables climáticas, pudo observarse que el principal factor que se correlacionó con los casos de dengue fue la magnitud de las precipitaciones (r de Pearson de 0.6214), y en menor grado la temperatura (r de Pearson 0,4082).

Correo de correspondencia: Celia Martínez de Cuéllar zhelia.martinez@yahoo.com

Fecha de Recibido: 22 de octubre de 2022

Fecha de Aprobación: 11 de diciembre de 2022.

Contribución de los autores: Antonio Arbo: Concepción del tema; redacción del protocolo, análisis de los resultados y redacción del borrador del manuscrito. Celia Martínez de Cuéllar: Concepción del tema, corrección del protocolo de investigación, análisis de los datos, corrección del manuscrito, aprobación de la versión final. Gabriela Sanabria: Redacción del protocolo; análisis de los datos, corrección del manuscrito.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

Financiación: El estudio no tuvo financiación externa

Conclusión: Se observa una correlación de los casos de dengue en el Paraguay con variables climáticas, principalmente el ritmo de las precipitaciones, muestra el gran impacto del clima en la ocurrencia de epidemias de dengue.

Palabras clave: Enfermedades Transmitidas por Vectores, Vectores de Enfermedades, Cambio Climático, Infecciones por Arbovirus, Dengue.

ABSTRACT

Ecological changes strongly influence disease patterns. In this century, climatic instability and progressive warming are playing an increasing role in the emergence of new infectious diseases, as well as in the reappearance and redistribution of neglected infections. The objective was to analyze and contrast the interrelation of climate, rainfall and temperature, with dengue epidemics, an arbovirolosis that has become a terrible scourge in our country.

Methodology: Descriptive, observational study, where the number of dengue cases during the years 2012, 2013 and 2014, were counteracted with the monthly average rainfall and the average monthly temperature in the same period of time. Both the data on the number of dengue cases per month, as well as the average data on rainfall and temperature in each month were correlated, estimating the statistical significance by calculating the Pearson correlation coefficient.

Results: During the 3 years of the study, a characteristic pattern of occurrence was found, presenting an increase in dengue cases between the months of December and May with a maximum peak between February and April. The mean rainfall predominated globally in the first semester of each year, although it presented some annual differences. The increase in the number of dengue cases was clearly influenced by climatic variations in both temperature, with an increase in dengue cases with temperatures between 20 and 25°C and rain fall. When analyzing the influence of both climatic variables separately, it was possible to observe that the main factor that was correlated with dengue cases was the amount of rainfall (Pearson's r of 0.6214), and to a lesser extent temperature (Pearson's r of 0.4082).

Conclusion: A correlation of dengue cases in Paraguay with climatic variables is observed, mainly the rate of rainfall, showing the great impact of climate on the occurrence of dengue epidemics.

Keywords: Vector Borne Diseases, Disease Vectors, Climate Change, Arbovirus Infections, Dengue.

Introducción

Se define el clima como el conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, entre otros y cuya acción compleja influye en la existencia de los seres sometidos a ella⁽¹⁾.

Los cambios ecológicos, además de las desigualdades económicas influyen fuertemente en los patrones de enfermedad. En la presente centuria, la inestabilidad climática y el calentamiento progresivo están desempeñando un papel creciente en la emergencia de nuevas enfermedades infecciosas así como en la reaparición y redistribución de olvidadas infecciones⁽¹⁻⁴⁾.

Muchas de las enfermedades que actualmente se producen en los trópicos, donde están situados la mayoría de los países de Latinoamérica, son transmitidas por mosquitos. La distribución de los mismos está ampliamente influida por el clima y se estima que el incremento de la temperatura global aumentará su incidencia y distribución geográfica^(1, 2, 5, 7).

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión del impacto del cambio climático sobre las enfermedades y analizar contrastar la interrelación del clima, lluvias y

temperatura, con las epidemias de dengue, arbovirosis que se ha convertido en un azote terrible en nuestro país.

Cambio climático

El clima de la tierra ha estado siempre en un estado de cambio ⁽¹⁾. La climatología moderna reconoce que el cambio es una característica inherente y fundamental del clima. Los factores naturales que causan variabilidad del clima incluyen las fluctuaciones de la energía del sol radiante, alteraciones en la transparencia de la atmósfera (debido a la arena volcánica de polvo y otras partículas en el aire) y los cambios cíclicos de rotación de la tierra sobre su eje y su órbita alrededor del sol. Además, la circulación de la atmósfera y los océanos, que son los componentes principales que influyen en el clima, está sujetos a variaciones internas en plazos que van desde semanas hasta milenios. Es la compleja interacción de todas estas variables que genera los patrones continuamente cambiantes del clima. Como resultado, los diferentes elementos climáticos como la temperatura, humedad, lluvia, y viento, presentan variaciones anuales, pero más importantemente variaciones mayores que pueden medirse en función a décadas, siglos, milenios y millones de años.

En el último milenio la tierra ha experimentado sucesivos cambios del clima global. Así, durante los últimos tres siglos la tierra ha entrado en una fase de calentamiento. Esta fue precedida por un período de frío, la *pequeña edad de hielo*, el cual a su vez ha estado precedida por una fase más de calentamiento conocido como el *período cálido Medieval*. Tales cambios son totalmente naturales, pero existen evidencias crecientes que en los últimos años una parte del calentamiento actual puede ser atribuible a las actividades humanas, particularmente la quema de combustibles fósiles. El impacto potencial de este calentamiento global sobre la salud humana es un importante tema de debate

Para el entendimiento del concepto del calentamiento global es necesaria la comprensión del efecto invernadero ⁽²⁾. El término **efecto invernadero** fue acuñado por primera vez en el año 1827 por matemático y científico, Jean Baptiste Fourier ⁽²⁾ y anticipado por Jhon Tyndall quien en 1871 demostró que las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono podría atrapar la energía radiante del sol dentro de la atmósfera terrestre y dar origen al aumento de la temperatura ⁽³⁾. Brevemente, la radiación solar atraviesa la atmósfera y se absorbe en la superficie de la tierra. Este calor se pierde de la superficie terrestre como radiación infrarroja. La radiación infrarroja no puede escapar tan fácilmente como la radiación solar entra en la atmósfera, siendo atrapada por una serie de gases que actúan similar al vidrio de un invernadero —el calor puede entrar pero no puede salir— resultando en el efecto invernadero. Entre los gases de efecto invernadero se encuentran gases que se producen en forma natural en la tierra como el dióxido de carbono, el metano, y el óxido nitroso, así como hidrocarburos que son generados artificialmente, como hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre (SF₆), engeneral como resultante de la quema de combustibles fósiles, fenómeno que se inició en gran escala desde la revolución industrial. En la naturaleza, el efecto invernadero es responsable de elevar la temperatura de la tierra, haciendo posible que la vida prospere.

La naturaleza se defiende contra muchos de estos gases de efecto invernadero actuando el suelo y los árboles como sumideros naturales al absorber cientos de miles de millones de toneladas de carbono en forma de CO₂. Esto permite comprender porque actividades producidas por la irracionalidad del hombre como la deforestación incontrolada conducen finalmente a una mayor producción de gases de efecto

invernadero, con el consiguiente aumento del calentamiento global y podrían en última instancia conducir a un desastre ambiental^(2, 4).

El aumento observado en la temperatura global del planeta durante el siglo XX fue 0.3°C a 0.6°C y este aumento se prevé que tendrá un aceleramiento (2). Los años más cálidos en orden descendente fueron 1980, 1983, 1988 y 1987 (5). Otros cambios ambientales han ocurrido igualmente. Así, la Agencia de protección ambiental estadounidense (EPA), ha demostrado que el nivel del mar ha aumentado 6-8 pulgadas a nivel mundial y en el mundo la precipitación ha aumentado en aproximadamente un 1% durante el siglo pasado. Aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero son propensos a acelerar la velocidad de estos cambios potencialmente perjudiciales y es probable que el aumento de las temperaturas continúe. Se predice que la temperatura superficial global promedio podría elevarse 0.6°C a 2.5°C en los próximos 50 años y 1.4°C a 5.8°C para el año 2100 (8, 9). El efecto sobre la precipitación y la humedad del suelo es incierto. Inicialmente, la evaporación probablemente aumentará, lo que resulta en mayor precipitación promedio global. Sin embargo, la distribución de la lluvia puede llegar a ser más errática, llevando a áreas focales de inundación y sequía. Si son sostenidos los aumentos de temperatura, también es posible que la humedad del suelo puede perderse permanentemente de algunas áreas.

Cambio climático y enfermedades

La mayores consecuencias del cambio climático los son sobre el propio hombre, y paradójicamente es el ser humano uno de los principales causantes del cambio climático^(1, 2). Esta aseveración puede constatarse al observar por ejemplo que la sequía provoca al hombre escasez de agua, dificultad de higiene, disminución de la producción alimentaria, incendios forestales y la consecuente contaminación del aire con la resultante de efectos directos sobre la salud individual como aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias y alérgicas, enfermedades diarreicas y desnutrición entre otras. La variación climática en cuanto al incremento de lluvias provoca inundaciones, contaminación del agua e incremento de criaderos de insectos vectores-como el *Aedes aegypti*, vector de enfermedades como el dengue, fiebre amarilla, chikungunya-y la resultante es la mayor probabilidad de desarrollar enfermedades diarreicas, cólera, malaria y dengue^(1, 6, 7)

Cambio climático y vectores

Todas las infecciones involucran un agente (o patógeno), el huésped y el medio ambiente. Algunos patógenos requieren hospederos intermediarios completar su ciclo de vida o son transmitidos por vectores. En este último caso, el clima puede influir en los patógenos, vectores, las defensas del huésped y hábitat. Enfermedades llevadas por mosquitos vectores son particularmente sensibles a las condiciones meteorológicas. Estas relaciones fya fueron apreciadas en el siglo pasado (10). El calor excesivo mata los mosquitos, pero dentro de la gama de temperatura que le permite sobrevivir (temperaturas entre 20°C y 32°C), las temperaturas más cálidas aumentan su reproducción y penetrante actividad) y la tasa en la cual los patógenos maduran dentro de ellas. A 20°C protozoarios de *P.falciparum* toman 26 días para incubar, pero a 25°C, se convierten en 13 (11). Mosquitos anofeles (portadores de la malaria) viven solamente varias semanas. Así las temperaturas más cálidas permiten a los parásitos madurar a tiempo para que los mosquitos transmitan la infección.

Los mosquitos son insectos que se encuentran distribuidos en todo el mundo excepto en aquellos lugares que se encuentran permanentemente bajo congelación como

las regiones del polo norte y sur. Sin embargo, de las aproximadamente 3.500 especies existentes, casi las tres cuartas partes son nativas de los trópicos y subtropicos. En casi todas las especies de mosquitos, la hembra obtiene la proteína que necesita para el desarrollo de sus huevos al alimentarse de la sangre de vertebrados. Algunas especies son altamente selectivas, alimentándose de unas pocas especies de huéspedes estrechamente relacionados. Otros tienen una menor preferencia de huéspedes y puede alternar entre aves, mamíferos e incluso reptiles. Los mosquitos al obtener sangre de sus huéspedes pueden absorber diferentes microorganismos. En algunos casos los mismos se han adaptado a ellos, multiplicándose en las glándulas salivales. Al picar a los huéspedes para alimentarse inyectan una secreción salival y es la inyección directa de este líquido en los capilares que sirve de vehículo para inyectar diferentes patógenos a los huéspedes vertebrados.

La capacidad que tienen los mosquitos de actuar como vectores ha sido objeto de diferentes modelos matemáticos^(1,12,13). Una fórmula que se ha utilizado para estimar la capacidad vectorial (C) es la siguiente:

$$C = \frac{ma^2 \times p^n}{-\log_e p}$$

Donde

m = densidad de mosquitos por humano

a = promedio de picaduras por día del mosquito

p = probabilidad que un mosquito sobreviva a través de un día

n = periodo de incubación extrínseco (que es el tiempo que demora para que el agente infeccioso madure en el mosquito para que se vuelva infectivo)

De todas estas variables, la más afectada por el clima es la variable n , la cual incrementa con la temperatura, lo que implica que a mayor temperatura se tiene mayor capacidad vectorial de transmitir enfermedades. En este sentido las temperaturas más cálidas aumentan la reproducción y actividad de picadura de los mosquitos así como también la tasa en la cual los patógenos maduran dentro de ellas⁽¹⁴⁾. Por ejemplo, protozoos de *Plasmodium falciparum* requieren a 20°C, un promedio de 26 días desde que han sido ingeridos por el mosquito *Anopheles* para completar su ciclo en el mosquito y ser infecciosos, pero a 25°C, este ciclo requiere de solo 13 días⁽¹⁵⁾. Desde que los *Anopheles* viven solamente algunas semanas, las temperaturas más cálidas permiten a los parásitos completar su ciclo para que los mosquitos transmitan la infección.

Dengue: Interacción clima y epidemias

El dengue es una enfermedad viral causada por el virus del dengue, perteneciente al género *Flavivirus*, familia *Flaviviridae*. Son arbovirus (**arthropod-borne viruses**) que son virus transmitidos por la picadura de artrópodos hematófagos (mosquitos y garrapatas). En el caso del virus del Dengue los vectores son los mosquitos de la especie *Aedes*, principalmente el *Aedes aegypti*, aunque otras especies como el *Aedes albopictus*, *Aedes meiovittatus*, y *Aedes scutellaris* sp también pueden transmitir al virus⁽¹⁶⁾.

Existen cuatro serotipos del virus del dengue (serotipos 1, 2, 3 y 4) cada uno de los cuales es capaz de causar enfermedad, con la particularidad que la infección por un serotipo no proporciona protección contra serotipos diferentes y por el contrario puede

condicionar a enfermedad más severa en la subsecuente infección con un nuevo serotipo^(16,17).

El dengue es uno de los principales problemas de salud pública en el mundo, y tiene un tremendo impacto en la morbilidad y mortalidad de la población así como también es responsable de una gran afectación económica en los países que la padecen. Casi la mitad de la población mundial que habita las áreas tropicales y subtropicales está en riesgo de sufrir esta infección. La Organización Mundial de Salud estima que 80 millones de personas por año contraen la infección, con unas 550.000 hospitalizaciones y 25.000 muertes⁽¹⁸⁾.

La prevalencia del dengue ha aumentado dramáticamente en las Américas en las últimas dos décadas, y principalmente en el Cono Sur en los últimos años. Actualmente el 80% de los casos anuales que se reportan en las Américas se observan en esta parte del continente. En nuestro país, la primera epidemia de dengue se registró en el año 1989. Luego de un periodo de silencio epidemiológico de una década a partir del 2000 se empiezan a observar un incremento sostenido de casos, convirtiéndose el Paraguay a partir del año 1989 en un país hiperendémico de dengue. Desde su introducción en el país, en el año 1989, hasta el presente, han circulado principalmente los serotipos DENV-1, DENV-2 y DENV-3 y reciente y esporádicamente el serotipo 4. Aunque el serotipo DENV-1 fue el serotipo principal circulante entre los 1os 1989 y 2002, el serotipo c DENV-2 co-circuló con DENV-1 en los años 2001-2002, apareciendo a partir del 2003 el DENV-3, siendo el responsable principal de la epidemia del año 2007. A partir del 2009 los serotipos circulantes predominantes en el Paraguay han sido el DENV-1 y DENV-2⁽¹⁹⁾ (Gráfico 1).

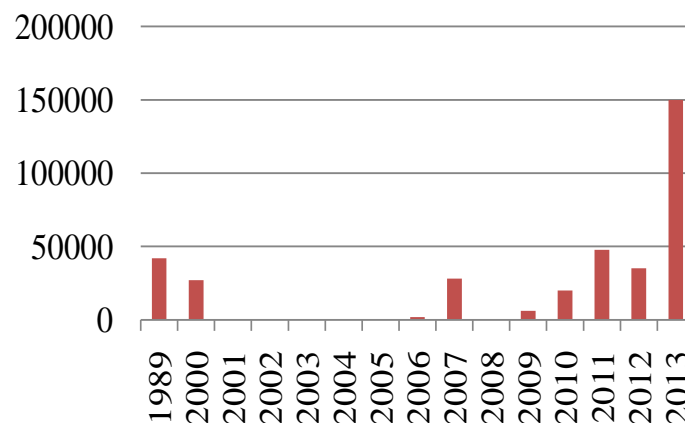


Gráfico 1. Casos de dengue en Paraguay desde año 1989.

El dengue tiene diversas formas de expresión clínica que van desde una fiebre indiferenciada, a una forma sintomática clásica caracterizada por fiebre con cefalea, gran malestar general, dolores óseos, articulares y musculares, con o sin exantema, leucopenia y algún tipo de sangrado hasta formas graves que cursan con choque hipovolémico por extravasación de plasma, trombocitopenia moderada o intensa y hemorragias en aparato digestivo y otras localizaciones⁽²⁰⁾. Además, el virus del dengue puede afectar a órganos internos, dando lugar a las formas viscerales o atípicas como la encefalitis, miocarditis o hepatitis, que pueden tener un curso fatal. Durante las epidemias de dengue, las tasas de infección de las personas que no han estado expuestas anteriormente al virus suelen ser del 40% a 50%, pero pueden llegar al 80% a 90%⁽²¹⁾. Sin

tratamiento adecuado, las tasas de letalidad del dengue grave pueden superar el 20%. Sin embargo, cuando la atención médica es prestada por profesionales con conocimientos sobre el dengue (médicos y enfermeros que conocen sus síntomas y saben cómo tratar sus efectos) se puede reducir la tasa de mortalidad a menos del 1%⁽²²⁾.

En la epidemiología del dengue, tres componentes están íntimamente relacionados: el hombre, el virus y el mosquito vector, encargado de transmitir la afección de un hombre enfermo a un hombre sano. El clima y el cambio climático pueden influenciar en mayor o menor medida en los 3 componentes.

El principal vector del dengue en las Américas es el *A.aegypti*. Este mosquito es una especie tropical y subtropical ampliamente distribuida alrededor del mundo, sobre todo entre las latitudes 35°N y 35°S. Estos límites geográficos corresponden aproximadamente a regiones donde la temperatura media del invierno (isoterma) es de 10°C. Sin embargo, el *A. aegypti* se ha encontrado ocasionalmente más allá de estas latitudes tanto como a 45° de latitud Norte, pero tales invasiones han ocurrido durante los meses más cálidos y los mosquitos no han sobrevivido los inviernos. También, debido a las temperaturas bajas, el *A. aegypti* es relativamente infrecuente por encima de 1000 metros de altura. En este sentido, aunque se consideraba que el *A. aedes* no era posible encontrar a alturas mayores de 1500 metros, reportes recientes lo han hallado a alturas mayores en Colombia y México probablemente en relación al aumento de la temperatura⁽²³⁻²⁵⁾.

Entre los factores climáticos, la temperatura media es uno de los principales que afectan al ciclo de vida del *A. aegypti*. Se ha demostrado que las temperaturas óptimas para la multiplicación de este mosquito oscilan entre 20°C y 30°C (Tabla 1), y varios estudios han demostrado que las temperaturas más cálidas del aire y del agua acortan el ciclo de gonotrófico (período que existe desde que el mosquito chupa la sangre, seguido de la digestión, la maduración de los oocitos y la oviposición, hasta que vuelve a alimentarse) y disminuye el tiempo de desarrollo de los mosquitos inmaduros⁽²³⁻²⁸⁾.

Tabla 1. Porcentaje de sobrevivencia del *A. aegypti* de la fase de huevo a adulto en relación a la Temperatura ambiental media*

T° media	% de huevos que llegan a vida adulta (±DS)
15°C	3.1 (1.33)
20°C	91.80 (3.05)
25°C	62.58 (2.49)
27°C	89.76 (3.75)
30°C	66.34 (2.74)
34°C	59.14 (3.08)

*Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). J Med Entomol 1990; 27:892-8.

Igualmente, el ritmo de precipitación pluvial influye en la densidad del *Aedes*. En este sentido, las cantidades se incrementan durante la época de lluvias como consecuencia de la disponibilidad de un número mayor de criaderos, al acumularse fuentes de agua que sirven para la multiplicación de los mosquitos. Sin embargo, las

lluvias fuertes o en exceso provocan una limpieza de los criaderos por arrastre, lo que puede disminuir la multiplicación de los mosquitos. Aunque las sequías moderadas disminuyen el número de criaderos, las sequías intensas pueden provocar la aparición de nuevos criaderos en márgenes de ríos y presas que muestren una disminución de los caudales, o lagunas de estancamiento de agua. Además, en los períodos de sequías, es común que las familias almacenen agua en lugares inapropiados y mal tapados, lo que crea un ambiente favorable para la reproducción y proliferación del mosquito. Este escenario se complica cuando al llover el agua se acumula en estos recipientes que son colonizados por el vector y de esta forma aumenta rápidamente la población de los insectos.

Uno de los fenómenos climatológicos que inevitablemente impacta en vectores como el *Aedes aegypti* es el fenómeno del El Niño. Este fenómeno se produce aproximadamente cada 3 a 7 años cuando el agua oceánica ecuatorial caliente cambia desde el oeste al océano Pacífico oriental (29, 30). El evento de 1997 – 1998 de El Niño fue uno de los dos más fuertes del siglo pasado. Fue asociado con condiciones de sequías extremas y devastadores incendios en muchas áreas del mundo y grandes inundaciones en otras. Algunas enfermedades infecciosas que son típicamente estacionales han mostrado marcada variabilidad interanual. Muchas epidemias de malaria y de dengue se han asociado con estos cambios extremos del clima- impulsado por El Niño. Así, el fenómeno de El Niño de 1997-1998 dio lugar a una lluvia torrencial en partes de África oriental y una epidemia de malaria posterior en las montañas del suroeste de Uganda. Igualmente, varios reportes han sugerido que el Dengue, así como otras enfermedades transmitidas por mosquitos, está fuertemente influenciadas por eventos del Niño⁽³⁰⁾.

Referente a la interacción entre *clima y el virus*, se ha demostrado que el período de incubación extrínseco del virus dengue 2, puede variar de 12 días a 30 °C, a 7 días cuando la temperatura ambiental se eleva a 33-34 °C. Este efecto de acortamiento del periodo extrínseco del virus del dengue puede favorecer o incrementar la transmisión viral en 3 veces. Se estima que un incremento en 1°C a 2°C en la temperatura media ambiental aumentará la población en riesgo en varios cientos de millones, para producir 20 000 a 30 000 fallecidos más anualmente⁽³¹⁾.

Metodología

Estudio descriptivo, observacional. El número de casos de dengue durante los años 2012, 2013 y 2014, se obtuvieron de los reportes de la Dirección General de Vigilancia de la Salud (DGVS) del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS). Los datos de promedio mensual de lluvia caída y la temperatura media mensual la cual se obtuvo de la Dirección de Meteorología e Hidrología dependiente de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC).

Los casos de dengue reportados mensualmente en el periodo de tiempo mencionado se contrastaron con la cantidad promedio mensual de lluvia caída y con la temperatura promedio mensual durante el mismo periodo de tiempo.

Tanto los datos de número de casos de dengue por mes, así como los datos promedios de lluvia y temperatura en cada mes se correlacionaron, estimándose la significancia estadística mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados

Aunque varios estudios encontraron la existencia una relación fuerte entre el clima de una región geográfica específica y el número casos de dengue, otros sustentan que el clima probablemente juega un pequeño pero significativo e incluso algunos sostienen que el clima juega un papel poco significativo en la aparición de casos de dengue. En el presente estudio analizamos lo ocurrido en los últimos años en el Paraguay desde el enfoque de la evaluación de algunos factores climáticos, más importantemente la temperatura y lluvias, y su relación con el número de caos observados en el curso de los diferentes meses.

El número mensual de casos de dengue durante los años 2012, 2013 y 2014 se obtuvo de los datos publicados por la Dirección de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud Pública del Paraguay (Gráfico 2).

Entre los años 2012 y 2014, ciento noventa y cuatro mil casos aproximadamente de dengue fueron registrados oficialmente en el país, observándose el mayor número en el año 2013 (alrededor de 150.000 casos). En cada año se constató un patrón característico de ocurrencia presentándose característicamente el incremento de casos de dengue entre los meses de diciembre y mayo con un pico máximo entre febrero y abril (Gráfico 2).

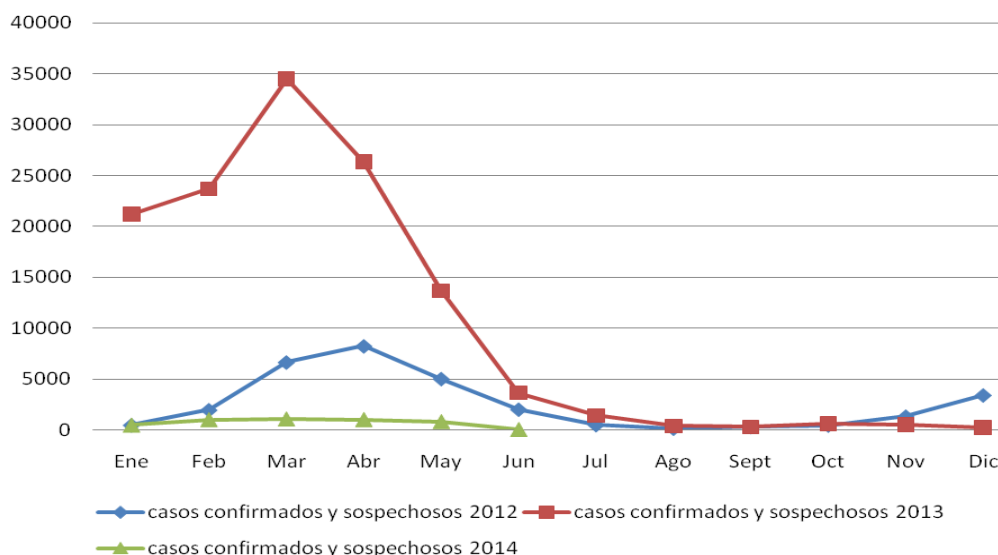


Gráfico 2. Casos confirmados y sospechosos de dengue en los años 2012, 2013 y 2014

El promedio mensual de lluvia caída, así como la temperatura media se obtuvo de la Dirección de Meteorología e Hidrología dependiente de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). El patrón de precipitaciones pluviales en los últimos 3 años se muestra en el Gráfico 3. Puede observarse que la cantidad de lluvia caída, aunque predominó globalmente en el primer semestre de cada año, presentó algunas diferencias anuales. Así en el año 2012, el mes con mayor precipitación pluvial fue el de noviembre, en el año 2013 fue el mes de febrero y en el primer semestre del 2014 en el mes de mayo.

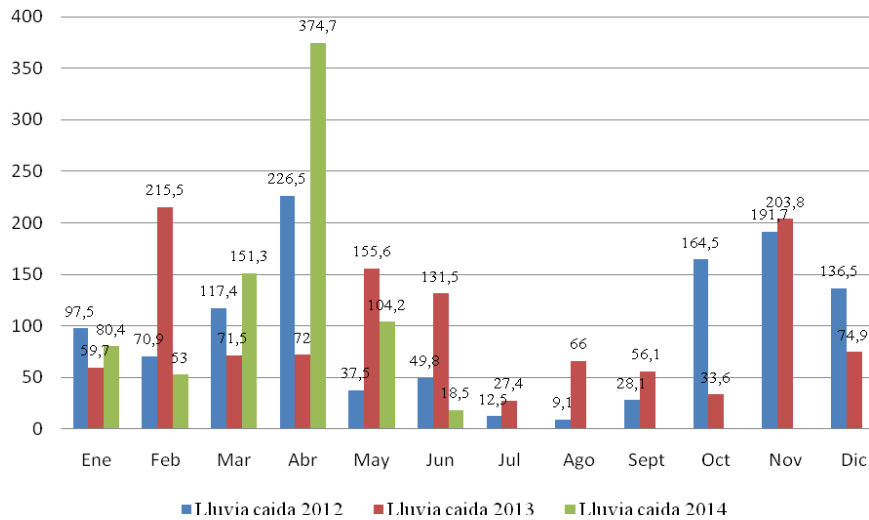


Gráfico 3. Cantidad de lluvia caída por mes en el Paraguay durante los años 2012, 2013 y 2014.

El incremento del número de casos de dengue fue claramente influenciado por variaciones climáticas. En el Gráfico 4 se muestra las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales en los últimos 3 años y su relación con los casos mensuales de dengue, se observa una correlación del incremento de los casos de dengue con temperaturas entre 20 y 25°C.

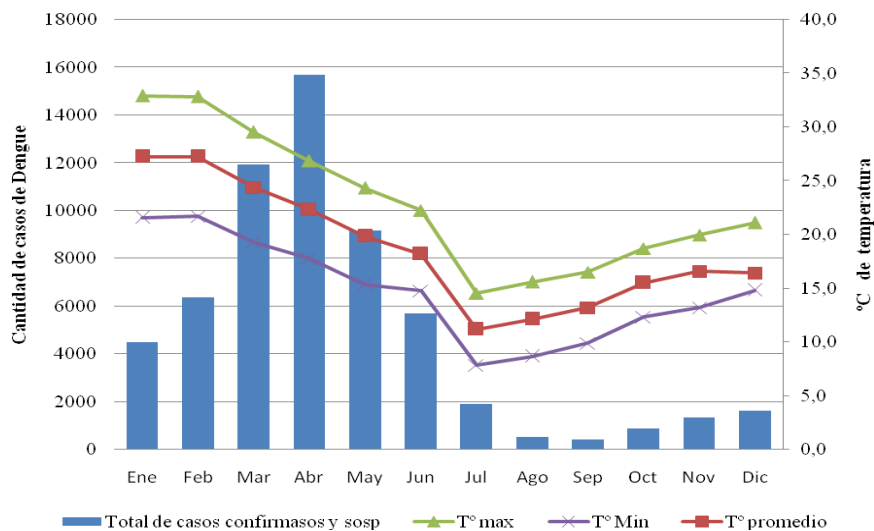


Gráfico 4. Temperaturas ambientales mensuales en los años 2012, 2013 y 2014 en el Paraguay y casos de dengue.

Asimismo, en el gráfico 5 se señala la cantidad de lluvia caída por mes en relación al número de casos. Puede observarse que el mayor número de casos se observó en los meses más lluviosos, así como en los más cálidos.

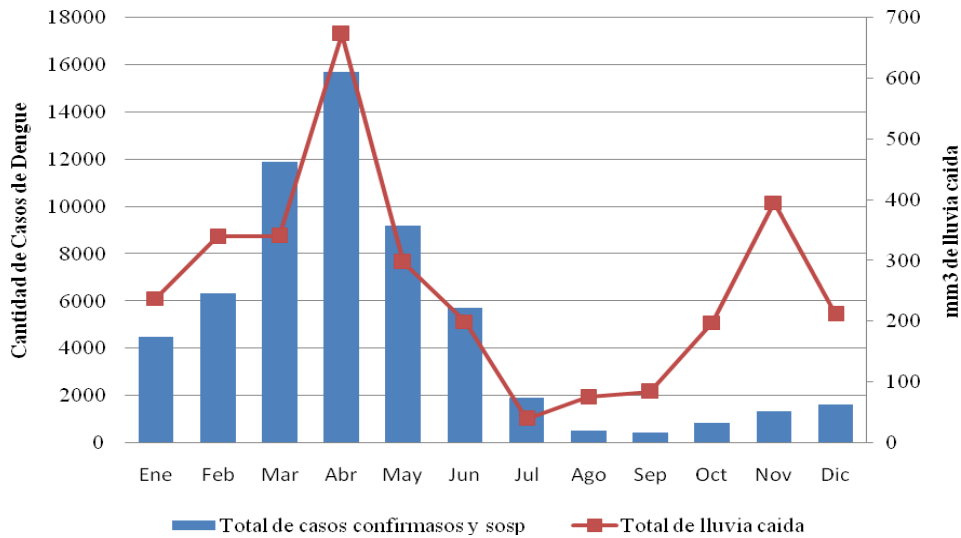


Gráfico 5. Total de lluvia caída por mes y casos confirmados de Dengue en el Paraguay

Al analizar en forma separada la influencia de ambas variables climáticas, pudo observarse que el principal factor que se correlacionó con los casos de dengue fue la magnitud de las precipitaciones (Gráfico 6, r de Pearson de 0.6214), y en menor grado la temperatura (Gráfico 7, r de Pearson 0,4082).

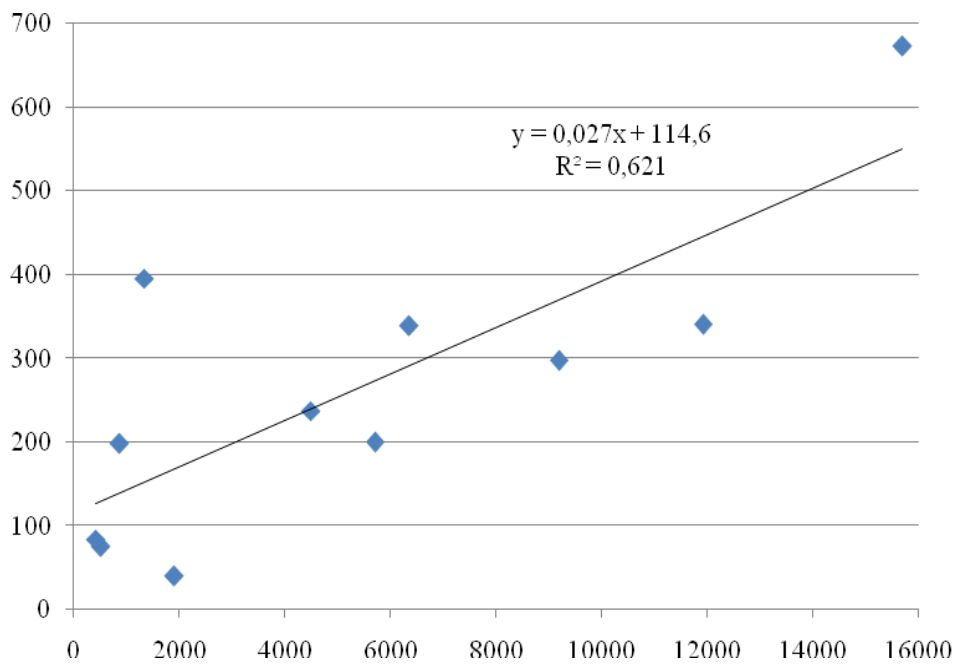


Gráfico 6. Relación de lluvia caída por mes y casos de Dengue en el Paraguay.

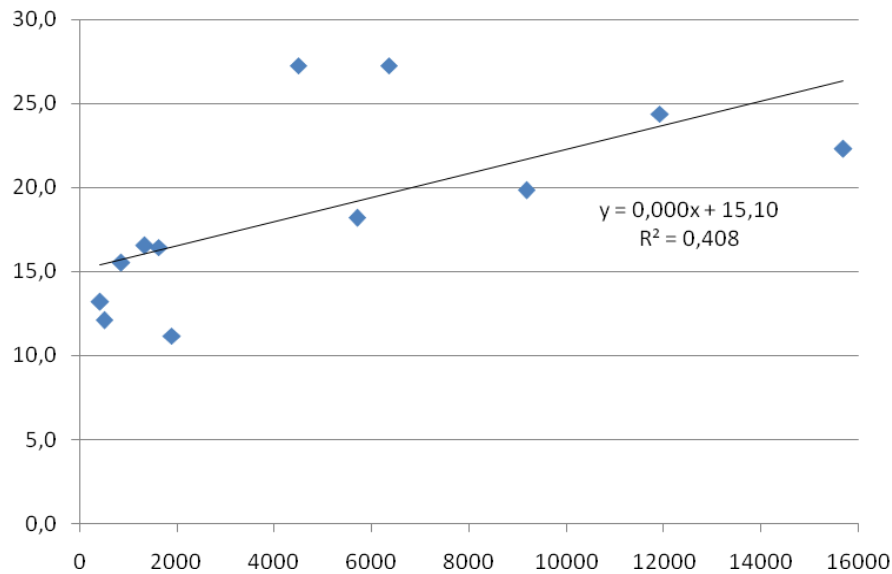


Gráfico 7. Relación entre temperatura ambiental y casos de dengue en el Paraguay.

Conclusiones

El sistema climático de la tierra influye de manera incalculable en la vida humana, y aunque el análisis de la acción del clima sobre la salud solo data de hace algunas décadas, esta asociación es cada vez más frecuente, y se considera que el cambio climático es una de las más grandes amenazas para la salud a la cual el mundo jamás se ha enfrentado^(2-5,32,33).

Los seres vivos tienden a la evolución y con ello a la adaptación a los distintos escenarios que se presentan. Los artrópodos pueden regular su temperatura interna modificando su comportamiento, no pueden hacerlo fisiológicamente y, por lo tanto, dependen totalmente del clima para su supervivencia y desarrollo.

La temperatura a nivel mundial muestra aumentos constantes de manera anual, y estos cambios temporales y espaciales de la temperatura, las precipitaciones y la humedad afectan a la biología de los vectores y de los huéspedes intermedios, y por ende terminará afectando el ciclo de vida de los mismos, con el consecuente riesgo de transmisión de enfermedades.

Las actividades humanas, principalmente relacionadas al consumo de combustible fósil con la consecuente liberación de gases como el CO₂ y otros gases causan un efecto de tipo invernadero que aumenta la crisis ambiental alterando en forma acelerada el clima en la atmósfera, con otros efectos ambientales como el aumento del nivel de agua en distintas regiones, así como sucesiones de sequías e inundaciones en diferentes partes del mundo.

En los últimos años se ha observado una gran reemergencia de enfermedades que se limitaban solo a zonas tropicales, como el dengue y así como otras como la fiebre amarilla, Chikungunya, fiebre del Nilo occidental con un aumento sostenido en el número de casos así como afectación de nuevas áreas geográficas.

La demostración de la correlación de los casos de dengue en el Paraguay con variables climáticas, principalmente el ritmo de las precipitaciones, muestra el gran impacto del clima en las enfermedades transmitidas por vectores.

Referencias Bibliográficas

1. Reiter P.: Climate Change and Mosquito-Borne Disease. *Environ Health Perspect* 2001; 109 (suppl 1):141-161.
2. Khasnis A.A., Nettleman M.D.: Global warming and infectious Disease. *Arch Med Research* 2005; 36: 689-696.
3. Patz JA, Khaliq M. Global climate change and health: challenges for future practitioners. *JAMA* 2002; 287: 2283-2284.
4. Patz J.A., Kovats R.S.: Hotspots in climate change and human health. *BMJ* 2002;325:1094-1098.
5. Haines A, Patz JA. Health effects of climate change. *JAMA* 2004;291:99-103.
6. Kenneth L., Gage K.L., Burkot T.R., Eisen R.J., Hayes E.H.: Climate and vectorborne diseases. *Am J Prev Med* 2008;35:436-450.
7. Gubler D.J.. Resurgent vector-borne diseases as a global health problem. *Emerg Infect Dis* 1998; 4: 442-450.
8. Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 1997; 277: 364-367.
9. Climate. Environmental Protection Agency. (yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/Climate.html)
10. Hay SI, Cox J, Rogers DJ, Randolph SE, Stern DI, Shanks GD, Myers MF, Snow RW. Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature* 2002;415:905-909.
11. Bayoh MN, Lindsay SW. Effect of temperature on the development of the aquatic stages of *Anopheles gambiae sensu stricto* (Diptera: Culicidae). *Bull Entomol Res* 2003; 93: 375–381.
12. Jetten TH, Focks DA. Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming. *Am J Trop Med Hyg* 1997; 57:285-297.
13. Patz JA, Martens WJM, Focks DA, Jetten TH. Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation models of global climate change. *Environ Health Perspect* 1998; 106:147-153.
14. Gage KL, Burkot TR, Eisen RJ, Hayes EB: Climate and Vectorborne Diseases. *Am J Prev Med* 2008; 35:436-450.
15. Patz JA, Olson SH. Climate change and health: global to local influences on disease risk. *Ann Trop Med Parasitol* 2006; 100: 535-49.
16. Halstead SB. Dengue. *Lancet*. 2007; 370:1644-52.
17. Bäck AT, Lundkvist A. Dengue viruses-an overview. *Infect Ecol Epidemiol*. 2013; 18839. doi: 10.3402/iee.v3i0.19839.
18. Halstead SB, Suaya JA, Shepard DS. The burden of dengue infection. *Lancet*. 2007; 369:1410-1.
19. Araya S, Avalos C, Duarte M, Sanabria G, Apodaca S, Lovera D, Arbo A. Comportamiento clínico del dengue en niños en los últimos años en Paraguay. *Rev. Inst. Med. Trop. (Paraguay)* 2010; 5: 14-19.
20. Arbo A. Dengue: nuevos conceptos terapéuticos. *Pediatría (Paraguay)* 2009; 36: 7-8.
21. Arbo AA, Basualdo W, Bogado N, Iramain R, Lovera D, Pavlicih V. Manejo de Casos de Dengue durante Epidemias. *Pediatría (Paraguay)* 2011; 38:57-62.
22. Lovera D, Araya S, Mesquita MJ, Avalos C, Ledesma S, Arbo A. Prospective applicability study of the new dengue classification system for clinical management in children. *Pediatr Infect Dis J*. 2014 (en prensa)
23. Johansson MA, Dominici F, Glass GE. Local and global effects of climate on dengue transmission in Puerto Rico. *PLoS Negl Trop Dis* 2009; 3: e382.
24. Watts DM, Burke DS, Harrison BA, Whitmire RE, Nisalak A. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *Am J Trop Med Hyg* 1987; 36: 143-52.

25. Rohani A, Wong YC, Zamre I, Lee HL, Zurainee MN. The effect of extrinsic incubation temperature on development of dengue serotype 2 and 4 viruses in *Aedes aegypti* (L.). *Southeast Asian J Trop Med PublicHealth* 2009; 40 : 942-50.
26. Rueda LM, Patel KJ, Axtell RC, Stinner RE. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 1990; 27:892-8.
27. Brunkard JM, Cifuentes E, Rothenberg SJ. Assessing the roles of temperature, precipitation and ENSO in dengue reemergence on the Texas -Mexico border region. *Salud Publica Mex* 2008; 50: 227-34.
28. Rigau-Pérez JG, Ayuso-Lamadrid A, Wolff DR, Reiter P, Kuno G. Dengue severity throughout seasonal changes in incidence in Puerto Rico, 1989-1992. *Am J Trop Med Hvg* 1994; 51: 408-15.
29. Kovats RS, Bouma MJ, Hajat S, Worrall E, Haines A. El Niño and health. *Lancet* 2003; 362: 1481-1489.
30. Nicholls, N.: El Niño-Southern Oscillation and Vector-Borne Disease. *Lancet* 1993; 342:1284-1285.
31. Guzmán MGD, Kourí GD, Pelegrino JLL. Enfermedades virales emergentes. *Rev Cubana Med Trop.* 2001; 53: 5-15.
32. Zell R.: Global climate change and the emergence/re-emergence of infectious diseases. *Int. J. Med. Microbiol.* 2004; 293 (Suppl. 37):16-26.
33. Sutherst RW. Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin Microbiol Rev* 2004; 17: 136-73.