

Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. Una revisión sistemática

Implication of climate change on the appearance of the risk of dengue transmission by *Aedes aegypti* and its adaptation to local environmental conditions. A systematic review

Milena Britos¹ 

¹ Centro para el Desarrollo de la Investigación Científica. Asunción, Paraguay.

Autor correspondiente: milebritosb011@gmail.com

Resumen: El cambio climático es un calentamiento global, consecuencia de la producción de gases de efecto invernadero y produce un exceso de calor en las capas inferiores de la atmosfera. Estos cambios en el clima pueden ocasionar alteraciones en los ciclos de vida de varias especies como los mosquitos de *Aedes aegypti*, considerado un vector importante de transmisión de enfermedades. El objetivo de este trabajo fue realizar una búsqueda sistemática de artículos referentes a la posible relación entre el cambio climático y la aparición del riesgo de transmisión de la fiebre de dengue por *Ae. aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. Para ello se realizó una búsqueda sistemática en tres bases de datos diferentes: Scopus, Google Scholar y CICC (Springer link, Scielo, DOAJ) Se tuvieron en cuenta 3 preguntas clave de los cuales derivaron las palabras clave de búsqueda y sentencias lógicas. Se obtuvo un flujograma donde se aprecia como el número de búsqueda se redujo de 651 a 27 artículos científicos. Factores como la urbanización, la falta de servicios básico y variaciones en la temperatura, humedad ambiental y precipitaciones pueden aumentar el riesgo de epidemias a nivel global ya que varios insectos y en especial el *Ae. Aegypti* cambian para adaptarse a las condiciones ambientales locales.

Palabras clave: cambio climático, epidemias, riesgo epidemiológico, variables ambientales, *Aedes aegypti*.



Abstract: Climate change is global warming, a consequence of the production of greenhouse gases and produces excess heat in the lower layers of the atmosphere. These changes in the climate can lead to alterations in the life cycles of several species such as *Ae. aegypti* mosquitoes, considered an important disease transmission vector. The objective of this work was to carry out a brief systematic search of articles related to the possible relationship between climate change and the appearance of the risk of transmission of dengue fever by *Ae. aegypti* and its adaptation to local environmental conditions. For this, a systematic search was carried out in three different databases: Scopus, Google Scholar and CICC (Springer link, Scielo, DOAJ). Three key questions were taken from which the search keywords and logical sentences were derived. A flowchart was obtained showing how the search number was reduced from 651 to 27 scientific articles. Factors such as urbanization, lack of basic services, and variations in temperature, environmental humidity, and precipitation can increase the risk of epidemics at a global level, since various insects, especially *Ae. aegypti* change to adapt to local environmental conditions.

Keywords: climate change, epidemics, epidemiological risk, environmental variables, *Aedes aegypti*.

1. INTRODUCCIÓN

El dengue, el zika y chikungunya son enfermedades vectoriales transmitidas y causadas por el mosquito *Aedes aegypti* y representan un gran impacto para la salud pública. Además, la variabilidad del clima desempeña un papel importante en la dinámica de transmisión de estas enfermedades mencionadas y otras enfermedades transmisibles por vectores. Hay una robusta evidencia de que el cambio climático tiene relación con la aparición de brotes de enfermedades⁽¹⁾

Las condiciones climáticas y la dinámica de transmisión de enfermedades arbovirales están interrelacionadas y a medida que acumulamos mayor conocimiento e información sobre los parámetros meteorológicos, observamos el impacto del cambio climático, que puede y debe mitigarse. Durante los últimos 50 años, los patrones de enfermedades arbovirales emergentes han cambiado de manera significativa, donde se evidencian aumentos importantes en el número de casos y un aumento en la carga de la enfermedad⁽²⁾. Varias condiciones climáticas como nubosidad, temperatura ambiental, punto de rocío y precipitaciones muestran cierta relación con el surgimiento de casos de dengue y también variaciones en los estadios larvarios de *Ae. aegypti*. Si analizamos las interacciones complejas entre el clima y la incidencia del dengue se proporcionaría fácilmente, una adecuada implementación de

sistema de vigilancia que pueda brindar informaciones valdezas que apoyen la toma de decisiones en cuanto a la predicción y al control del vector de dengue⁽³⁾.

Debido a la problemática que representa el impacto del cambio climático con relación al comportamiento del *Ae. aegypti*, el objetivo de este trabajo fue realizar una breve búsqueda sistemática de artículos relacionados a la posible relación entre el cambio climático y la aparición del riesgo de transmisión de la fiebre de dengue por *Ae. aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Esta revisión se realizó utilizando el método PRISMA⁽⁴⁾. Se centró en un conjunto de 27 documentos revisados por pares y comunicaciones nacionales directamente relevantes a cambio climático y *Aedes aegypti* y sus riesgos epidemiológicos. Para identificar este conjunto de artículos, las elecciones y las combinaciones de palabras clave fueron en base a 3 preguntas de investigación:

- 1- ¿El cambio climático es un factor determinante para la aparición y aumento de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti*?
2. ¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático aumentan el riesgo epidemiológico en una población?
3. ¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático modifican la morfogeometría de algunos vectores como el *Aedes aegypti*?

La búsqueda de literatura y selección de material para la presente revisión se centró en tres bases de datos para la búsqueda: Google Scholar, Scopus y CICO. Los elementos se conservaron para su inclusión en éste conjunto básico si:

1. Se referían directamente a alguna de las preguntas de investigación.
2. Se brindaban alguna otra información que lleve a contestar las preguntas de investigación.
3. Se trataban de publicaciones de revistas científicas, artículos científicos completos, relativamente recientes (desde 2000 y luego una precisión posterior desde 2012 al 2021).
4. Comunicaciones nacionales que ayuden a responder las preguntas de investigación.
5. Estudios que muestren asociaciones y/o correlaciones entre las variables planteadas.

Los criterios de exclusión fueron básicamente artículos publicados antes del 2000 y documentos sin mención del año de publicación; además, se eliminaron los artículos repetidos.

Se utilizaron las siguientes sentencias lógicas de búsqueda:

1. “climate change” and epidemics (español e inglés)
2. “climate change” and “epidemiological risk” (español e inglés)
3. “Aedes aegypti” and morphi biometric (español e inglés)
4. “climate change” and epidemics and Aedes aegypti.
5. “Association of climate change with Aedes” (español e inglés)

En la Figura 1 se muestra el algoritmo aplicado para la selección de los artículos propuestos en esta revisión. Cabe mencionar que las publicaciones de Consoli y De Oliveira, 1994, WHO, 2019 y Sorper, 1967 no fueron incluidas entre los seleccionados, sino que dan apoyo a la descripción básica del vector y fueron identificados como base para la elaboración de la revisión.

3. RESULTADOS

Se utilizaron tres artículos para la introducción. Además 24 artículos para responder a las preguntas de investigación planteadas en esta revisión y la discusión de los mismos (Tabla 1).

3.1. Arbovirus y *Aedes aegypti*

El mosquito vector de varias enfermedades, el *Ae. aegypti*, proviene originalmente del viejo mundo, probablemente de la región de Etiopía, ya que fue descrito originalmente en Egipto. Acompañó al hombre en su migración por el mundo y se estableció donde los cambios provocados por él propiciaron su proliferación, es considerado cosmopolita, habitando regiones tropicales y subtropicales. A consecuencia de la distribución pasiva del hombre, esta especie tiene a menudo distribución geográfica discontinua, por lo tanto, está presente en regiones donde se la transportó y donde encontró condiciones favorables para reproducirse y prosperar. Se encuentran en zonas de alta concentración humana y raramente en ambientes semisilvestres, donde la población humana es más escasa. Fue introducido en Brasil durante el periodo colonial en la época de tráfico de esclavos⁽⁵⁾. Ya en 1967, Soper⁽⁶⁾, hablaba sobre la distribución de estos insectos y como prácticamente todos los puertos marítimos de las zonas tropicales y templadas del mundo, han sido visitadas repetidamente por el *Ae. aegypti*. Además, menciona que los ferrocarriles han

vido otro de los protagonistas en la distribución de *Ae. aegypti*, lejos de las costas y puertos donde se ha encontrado al vector solo en los alrededores de los ferrocarriles.

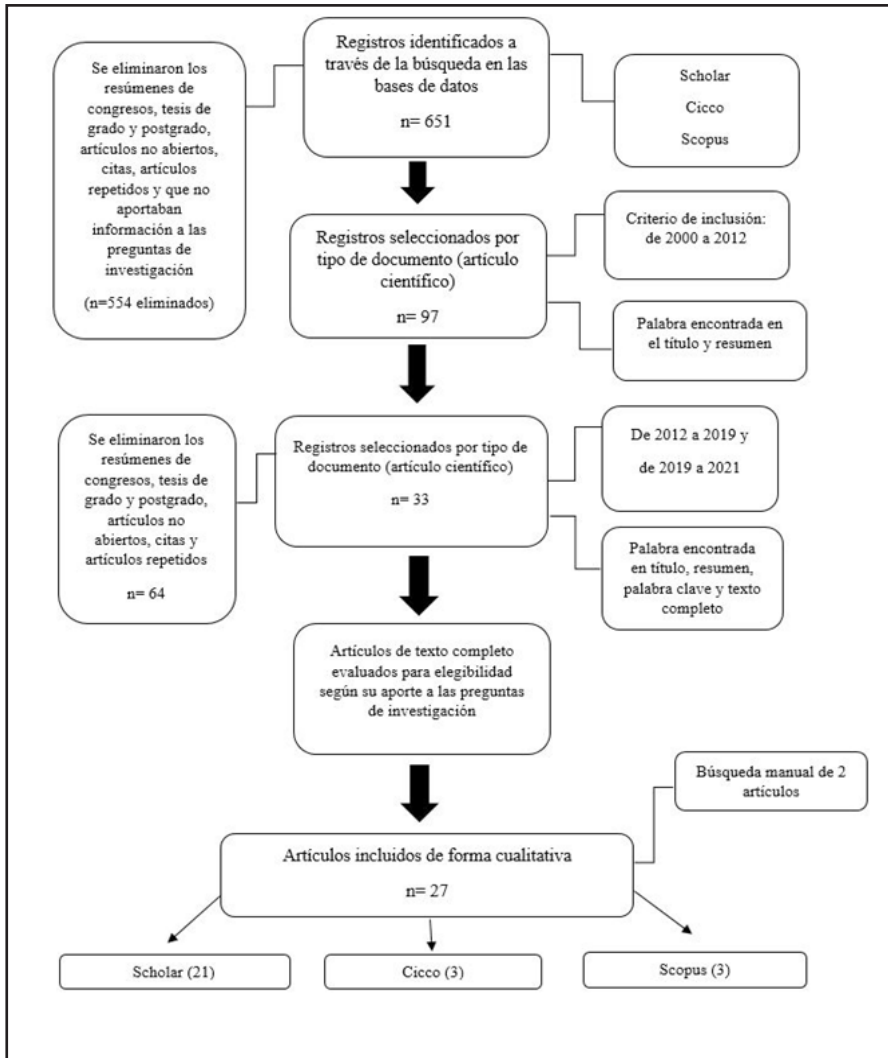


Figura 1. Flujo de la revisión sistemática del alcance y razones para la inclusión.

3.2. ¿El cambio climático es un factor determinante para la aparición y aumento de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti*?

Las enfermedades virales que son generalmente transmitidas por artrópodos hematófagos, son enfermedades febriles y agudas que se dispersan en regiones tropicales y subtropicales, donde por lo menos 2500 millones de personas viven en áreas de alto riesgo; por lo que son realmente un problema para salud pública⁽⁷⁾.

En la actualidad y desde hace algunos años, el mosquito *Ae. aegypti* es considerado uno de los problemas que impacta severamente a la salud pública debido a su papel transmisor y a que se lo considera el mosquito que más depende del ambiente urbano. El hábitat donde se desarrolla está íntimamente relacionado con las condiciones domiciliarias y peri domiciliarias que ofrece el modo de vida de las poblaciones humanas; por eso es considerado un mosquito doméstico urbano y periurbano y su distribución se incrementa gracias al aumento de sitios propicios para la puesta de huevos y desarrollo de etapas inmaduras⁽⁸⁾.

Por su parte, la OMS describe al dengue de la siguiente manera:

“El dengue es una infección viral transmitida por mosquitos. La infección causa una enfermedad similar a la gripe y, en ocasiones, se convierte en una complicación potencialmente mortal llamada dengue grave. La incidencia global del dengue ha crecido dramáticamente en las últimas décadas. Cerca de la mitad de la población mundial está ahora en riesgo. El dengue grave es una de las principales causas de enfermedad grave y muerte entre los niños en algunos países asiáticos y latinoamericanos. No existe un tratamiento específico para el dengue / dengue grave, pero la detección temprana y el acceso a la atención médica adecuada reducen las tasas de mortalidad por debajo del 1%. La prevención y el control dependen de medidas efectivas de control de vectores”⁽⁹⁾.

Según López y Molina; el clima produce un impacto sobre una gran parte de artrópodos, mencionan que es muy probable que el efecto del cambio climático sobre las enfermedades transmitidas por artrópodos se evidenciará al variarse los límites de temperatura, ya que la capacidad vectorial varía significativamente en torno a los 30° y 32 °La variación estacional

La variación estacional e interanual en la incidencia de enfermedades son más notables para las enfermedades transmitidas por artrópodos, ya que los reservorios de vectores son muy susceptibles a los cambios de temporada⁽²⁾.

Tabla 1. Artículos científicos incluidos según la pregunta de investigación planteada y su posterior discusión

¿El cambio climático es un factor determinante para la aparición y aumento de enfermedades transmitidas por Aedes aegypti ?	¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático aumentan el riesgo epidemiológico en una población?	¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático modifican la morfogeometría de algunos vectores como el Aedes aegypti ?
Beserra, E. Freitas, E. De Souza, J. Fernandes, C. & Santos, K. Ciclo de vida de <i>Aedes Stegomyia aegypti</i> (Diptera, Culicidae) en aguas con diferentes características.	Anoopkumar A. & Aneesh E. A critical assessment of mosquito control and the influence of climate change on mosquito-borne disease epidemics.	Azil AH, Long SA, Ritchie SA, Williams CR: The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of <i>Aedes aegypti</i> abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia
2009	2021	2010
Dash, A.; Rajesh, B.; Temmy, S.; & Mourya, D. Emerging and re-emerging arboviral diseases in Southeast Asia	Dash, A.; Rajesh, B.; Temmy, S.; & Mourya, D. Emerging and re-emerging arboviral diseases in Southeast Asia	Cazorla, D. Diferenciación morfométrica multivariante entre hembras de dos especies crípticas de <i>Lutzomyia</i> subgénero <i>Helcocyrtomyia</i> (Diptera: Psychodidae)
2013	2013	2009
Gould, E.; & Higgs, S. Impacto del cambio climático y otros factores en las enfermedades emergentes por arbovirus.	Helmersson, J.; Rocklöv, J.; Seweb, M.; Brännströmd.; A. Climate change may enable <i>Aedes aegypti</i> infestation in major European cities by 2100.	Jirakanjanakit, N.; Leemingsawat, S.; Thongrunkiat, S.; Apiwathnasorn C.; Singhaniyom, S.; Bellec, C.; y Dujardi, J. Influence of larval density or food variation on the geometry of the wing of <i>Aedes (Stegomyia) aegypti</i> .
2009	2019	2007
Jirakanjanakit, N.; Leemingsawat, S.; Thongrunkiat, S.; Apiwathnasorn C.; Singhaniyom, S.; Bellec, C.; y Dujardi, J. Influence of larval density or food variation on the geometry of the wing of <i>Aedes (Stegomyia) aegypti</i> .	Jirakanjanakit, N.; Leemingsawat, S.; Thongrunkiat, S.; Apiwathnasorn C.; Singhaniyom, S.; Bellec, C.; y Dujardi, J. Influence of larval density or food variation on the geometry of the wing of <i>Aedes (Stegomyia) aegypti</i> .	López, R & Molina, R. Cambio Climático en España y enfermedades infecciosas y Parasitarias transmitidas por Artrópodos y Roedores
2007	2007	2005

Britos M. Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. Una revisión sistemática

López, R & Molina, R. Cambio Climático en España y enfermedades infecciosas y Parasitarias transmitidas por Artropodos y Roedores	2005	López, R & Molina, R. Cambio Climático en España y enfermedades infecciosas y Parasitarias transmitidas por Artropodos y Roedores	2005	Robert, M. A., Stewart-Ibarra, A. M., & Estallo, E. L. Climate change and viral emergence: evidence from Aedes-borne arboviruses	2020
Márquez Benítez Y, Monroy Cortés KJ, Martínez Montenegro EG, Peña García VH, Monroy Díaz AL. Influencia de la temperatura ambiental en el mosquito Aedes spp y la transmisión del virus del dengue	2019	Márquez Benítez Y, Monroy Cortés KJ, Martínez Montenegro EG, Peña García VH, Monroy Díaz AL. Influencia de la temperatura ambiental en el mosquito Aedes spp y la transmisión del virus del dengue	2019	Wilk-da-Silva R, de Souza Leal Diniz MMC, Marrelli MT, Wilke ABB. Wing morphometric variability in Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) from different urban built environments	2018
Robert, M. A., Stewart-Ibarra, A. M., & Estallo, E. L. Climate change and viral emergence: evidence from Aedes-borne arboviruses	2020	Ochoa, S.; Chacón, K.; Rivera, B, y Sánchez. Enfermedades transmitidas por vectores y cambio climático.	2017	Chaiphongpachara, T., Juijayan, N. y Chansukh, KK. Análisis de la geometría del ala de Aedes aegypti (Diptera, Culicidae), un vector del virus del dengue, de múltiples ubicaciones geográficas de Samut Songkhram, Tailandia	2018
Sandoval, Miguel. Arbovirosis febriles agudas: Ecoepidemiología y diagnóstico.	2019	Wilk-da-Silva R, de Souza Leal Diniz MMC, Marrelli MT, Wilke ABB. Wing morphometric variability in Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) from different urban built environments	2018	Ayorinde, A.; Oboh, B.; and Otubanko O. Differentiation of some populations of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) in three areas of Lagos State, Nigeria, using wing morphometry	2016
Villamizar, A y Carvajal, L. 2012. Influencia de los cambios climático en la definición del sexo en el Aedes aegypti y su impacto en las epidemias de dengue	2012	Zamora-Ramírez, M. G., Latournerie-Cerino, M. E., Sánchez-López, A. R., González-Ramos, I. A., & Bustamante-Montes, L. P. El impacto del cambio climático en la prevalencia del Dengue en México	2021	Alto BW, Lounibos LP, Mores CN, Reiskind MH. Larval competition alters susceptibility of adult Aedes mosquitoes to dengue infection	2007

Britos M. Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por Aedes aegypti y su adaptación a las condiciones ambientales locales. Una revisión sistemática

Reinhold, J. M., Lazzari, C. R., & Lahondère, C. Effects of the environmental temperature on <i>Aedes aegypti</i> and <i>Aedes albopictus</i> mosquitoes: a review	2018	Lowe R, Gasparrini A, Van Meerbeeck CJ, Lippi CA, Mahon R. Nonlinear and delayed impacts of climate on dengue risk in Barbados: A modelling study	2018
Zamora-Ramírez, M. G., Latournerie-Cerino, M. E., Sánchez-López, A. R., González-Ramos, I. A., & Bustamante-Montes, L. El impacto del cambio climático en la prevalencia del Dengue en México	2021	Mweya CN, Kimera SI, Stanley G, Misinzo G, boera LEG. Climate Change Influences Potential Distribution of Infected <i>Aedes aegypti</i> Co-Occurrence with Dengue Epidemics Risk Areas in Tanzania.	2016
Lee, H. F, Fei, J., Chan, C. Y., Pei, Q., Jia, X., & Yue, R. P. Climate change and epidemics in Chinese history: A multi-scalar analysis.	2017	Galindo, M.& Contreras, C. Geomedicina y la tecnología espacial aplicada al caso de los vectores en salud humana. COLECCIÓN SALUD HUMANA Vigilancia sindrómica y alerta epidemiológica	2018
Palaniyandi, M. Effects of daily weather on <i>Aedes</i> genus (Culicidae: Diptera) arthropod mosquito vectors profusion and dengue epidemics transmission: A systematic review.	2021		

Britos M. Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales locales. Una revisión sistemática

En el trabajo que lleva por nombre “Emerging and re-emerging arboviral diseases in Southeast Asia” se menciona y se da hincapié en que los artrópodos dependen del clima, que el clima es un factor específico para causar epidemias, y además el efecto del clima en la alteración de los ciclos naturales está bien documentado, el cambio climático desempeña un rol principal en la dinámica de transmisión de las enfermedades transmitidas por artrópodos⁽¹¹⁾.

El cambio climático provoca aumentos en las temperaturas globales y patrones de precipitación, estos contribuyen a la expansión de enfermedades transmitidas por insectos especialmente por mosquitos, dado el aumento indirecto de criaderos que se originan después de las lluvias y en muchos casos la aceleración de los ciclos de vida de los mosquitos, contribuyendo a su vez a la dispersión de éstos^(12,13,14,10).

Según Villamizar y colaboradores, no se descarta que exista una estrecha correlación entre el aumento de la temperatura ambiental y el patrón de comportamiento de epidemias. Demostraron que en condiciones de laboratorio, a una temperatura de 28°C se favorece el desarrollo de las hembras⁽¹⁵⁾.

3.3. ¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático aumentan el riesgo epidemiológico en una población?

El vector *Ae. aegypti* posee una rápida tasa de desarrollo y alta supervivencia mencionada por Marquez, et al.⁽¹³⁾ estos demostraron que tanto la tasa de desarrollo y la supervivencia pueden variar en respuesta factores bióticos y abióticos del ambiente. Entre estos factores se resalta la temperatura, ésta variable puede desempeñar una cuantiosa influencia en la capacidad vectorial, al impactar en la dinámica de la población del mosquito y en el ciclo biológico.

Asimismo, López Molina⁽¹⁰⁾ mencionan que la temperatura es el factor más crítico ya que de él depende la densidad vectorial y la capacidad vectorial, o sea, aumenta o disminuye la supervivencia del vector, cambia la vulnerabilidad de dicho vector a los patógenos, variando su periodo de incubación y su patrón de transmisión estacional. Al aumentar la temperatura del agua, se reduce el tiempo de maduración de las larvas de estos mosquitos y en consecuencia aumenta el número de crías. Además, minimiza el paso de huevo a imago (adulto) reduciéndose el tamaño de las etapas inmaduras (larvas) y obteniéndose adultos en un tiempo más corto pero estos adultos son más pequeños y por lo general las hembras tienen que alimentarse con sangre más veces para llegar a poner huevos, o sea, aumenta la tasa de inoculación. Estos autores mencionan también que el tiempo que tarda el artrópodo desde

que se infecta, hasta llegar a ser transmisor guarda relación directa con la temperatura ambiental, cuando la temperatura aumenta, el periodo que tarda en convertirse en un mosquito capaz de transmitir la enfermedad, es menor; con lo cual aumentaría el riesgo epidemiológico en una población.

Dash y sus colaboradores mencionan que, con el gradual incremento de las temperaturas de la superficie conjuntamente con el crecimiento desbordado de los espacios urbanos implica el aumento de la vulnerabilidad global y el comercio, representando un riesgo para las poblaciones ya que los arbovirus continuarán emergiendo en sitios nuevos. La evaluación e identificación de riesgos y las acciones de preparación ante brotes son de suma importancia ya que la vigilancia evidencia dónde ha aparecido la enfermedad y dejan huellas sobre cómo el agente infeccioso puede diseminarse en la naturaleza⁽¹¹⁾.

Ochoa y sus colaboradores en su trabajo “Enfermedades transmitidas por vectores y Cambio climático”⁽¹⁶⁾ mencionan que varios grupos de investigación por todo el mundo, han generado modelos predictivos para evidenciar la redistribución e incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores, así como las poblaciones en riesgo. Y tratan de demostrar la relación directa entre el cambio climático, la falta de servicios básicos en las áreas urbanas y las enfermedades transmitidas por vectores.

Varios autores coinciden en que la urbanización y el desarrollo económico mundial son otros factores importante que aumentan el riesgo epidemiológico y el patrón de transmisión de enfermedades transmitidas por mosquitos ya que aumenta la densidad de hospederos humanos susceptibles y vulnerables al vector, que viven en condiciones de higiene escaso en los países pobres, aumentando de esta manera la tasa de transmisión, pero teniendo el mismo número de vectores^(10,17,18). Así también si se reporta aumento en la pluviosidad aumenta el número de criaderos⁽¹²⁾.

El cambio climático favorece que *Ae. aegypti* infeste nuevas localidades. En consecuencia, permite que los arbovirus que transmite el mosquito, por ejemplo, el dengue, el chikungunya, el zika y la fiebre amarilla, emerjan en áreas previamente no infectadas. Mediante la utilización de un modelo matemático basado en procesos empíricos, se estudió la viabilidad de infestación de *Ae. aegypti*, evaluando el potencial de éste insecto para establecerse en Europa durante el siglo XXI mediante la simulación de cinco modelos climáticos sobre la base de los datos establecidos del escenario global de cambio climático. Los resultados indicaron que bajas emisiones de carbono producirían mínimos cambios en la situación actual durante todo el siglo XXI, en contraste en un futuro con alto contenido de carbono, una gran parte del sur de Europa corre

el riesgo de ser invadida por *Ae. Aegypti*⁽¹⁹⁾.

3.4. ¿Las variables ambientales asociadas al cambio climático modifican la morfogeometría de algunos vectores como el *Aedes aegypti*?

Por su parte, la morfometría es una herramienta que permite indagar sobre la potencial diversidad de las especies, ha permitido describir diferencias morfológicas de poblaciones de insectos de importancia médica provenientes de diferentes regiones⁽²⁰⁾. En el caso de *Ae. aegypti* ha sido utilizada para evaluar a través del estudio de alas y otras partes del cuerpo, como las condiciones del ambiente pueden ocasionar cambios en la morfología del vector^(12,17).

Varias poblaciones locales de mosquitos pueden cambiar, para lograr adaptarse mejor a las condiciones ambientales locales⁽¹⁴⁾. Jirakanjanakit 2007 y sus colaboradores en su trabajo "Influence of larval density or food variation on the geometry of the wing of *Aedes (Stegomyia) aegypti*" demostraron que las condiciones del hábitat local provocan cambios en la morfología del vector. Tomando como variables la densidad larvaria y la calidad del alimento junto con la temperatura y que está relacionado íntimamente con su capacidad vectorial, mencionan que el tamaño y el peso de los mosquitos puede decirnos algo acerca de su capacidad como vector, demostrando que existe variación métrica de *Ae. aegypti* entre las poblaciones naturales. Además, mencionan que los cambios inducidos por el medio ambiente afectan principalmente el tamaño del insecto y que estos cambios son predecibles⁽¹²⁾.

Varios parámetros meteorológicos pueden determinar la frecuencia de arbovirus, de hecho, estos factores pueden alterar el metabolismo, la ovoposición de las hembras del mosquito y el tamaño corporal alterando su morfología⁽²¹⁾. A su vez López y Molina⁽¹⁰⁾ mencionan que se producen adultos más pequeños con mayor capacidad de ingesta al aumentar la temperatura del agua donde se crían estos vectores.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La mayoría de los autores señalan que varias poblaciones locales de mosquitos pueden cambiar, para lograr adaptarse mejor a las condiciones ambientales locales^(14,17,12). Uno de los factores abióticos más importantes es la temperatura ambiental, del cual depende la vida de los insectos. Los mosquitos como el *Ae. aegypti* han podido así colonizar varios tipos de hábitats, las predicciones indican que el cambio climático afectará la distribución de estos mosquitos⁽²²⁾. Los mismos autores mencionan en una revisión que se ha encontrado diferentes resultados en cuanto a la sobrevivencia del *Ae. aegypti*

dependiendo de la zona de origen de estas poblaciones y que tolerantes son al frío y calor, indicando que el tiempo de desarrollo desde la eclosión de la primera larva hasta la emergencia del imago fue menor a mayor temperatura y que presentan correlaciones con la densidad y disponibilidad de recursos.

A su vez, Zamora y colaboradores⁽²³⁾ mencionan que si la temperatura ambiental promedio, se aleja de la temperatura promedio óptima para el desarrollo larvario del *Ae. aegypti* (aproximadamente a 29°C), se produce un aumento en el rango de temperatura diurna incrementando la capacidad reproductiva y vectorial, aunque los mismos autores están de acuerdo en que la interacción entre las fluctuaciones de temperatura y la capacidad vectorial son aún más complejas y depende del grado de variación diaria de temperatura modificada por el cambio climático en el planeta.

Según el estudio "Climate change and epidemics in Chinese history: A multi-scale analysis" se demostró que existe correlación entre el clima y las epidemias en china en varios sitios geográficos, los brotes se relacionaban negativamente con la temperatura, mencionando además que la fuerza de correlación de ambas variables, se reduce en niveles geográficos más bajos⁽²⁴⁾.

Palaniyandi, menciona que el aumento o disminución de los mosquitos vectores y epidemias de dengue se deben a los factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones, alegan que los mosquitos obtienen un ambiente propicio para su longevidad y supervivencia, así como para la incubación del virus entre temperaturas mayores a 21°C y menores o iguales a 34°C, además mencionan que la humedad relativa óptima se encuentra entre 70 y 90%. Estos factores están correlacionados significativamente con la abundancia de mosquitos y las epidemias de dengue⁽²⁵⁾.

Lowe y colaboradores⁽²⁶⁾ utilizaron modelos no lineales y un modelo mixto jerárquico para inferir el riesgo de brotes de dengue y comprender la asociación exposición-retraso-respuesta entre el riesgo relativo del dengue y los indicadores climáticos clave. Demostraron que las condiciones de sequía seguidas de periodos de lluvias intensas, brindan un ambiente óptimo para la aparición de brotes de dengue ya que las condiciones de sequía demostraron asociaciones positivas con el aumento de brotes para periodos largos y las lluvias intensas se asociaban negativamente al aumento de riesgo en periodos cortos.

Así mismo Mweya y colaboradores⁽²⁷⁾ utilizaron modelos de nichos ecológicos con 19 variables bioclimáticas y predicciones de cambio climático para predecir el riesgo de epidemias y generar mapas de riesgo de distribución

de *Ae. aegypti* infectados en Tanzania, demostraron que 12 de esas variables contribuyeron significativamente al modelo resaltando a las precipitaciones en el mes más seco y la amplitud diurna media para el escenario climático actual y para el escenario climático del 2050 las variables que contribuyeron significativamente al modelo fueron las precipitaciones en el mes más seco y el rango diurno medio.

Ayorinde y colaboradores describieron en su trabajo "Differentiation of some populations of *Ae. aegypti* (Diptera: Culicidae) in three areas of Lagos State, Nigeria, using wing morphometry"⁽²⁸⁾ que la diversidad poblacional de mosquitos es uno de los problemas más importantes medicamente hablando; es así que utilizaron la morfometría de las alas, para identificar la variación de especies entre algunas poblaciones de *Ae. aegypti* en tres áreas del estado de Lagos en Nigeria. Identificaron tres grupos de *Ae. aegypti*, y las diferencias en las longitudes de las alas y los puntos de observación en las venas de arrastre sugieren una posible divergencia morfológica entre las poblaciones. Desde el punto de vista fisiológico una controversia se ha planteado en cuanto a la capacidad vectorial de los mosquitos según el tamaño. Alto et al 2007 menciona que aquellos insectos que son más pequeños pueden transmitir más porque requieren sucesivos repastos sanguíneos, pudiendo transmitir el virus a más individuos⁽²⁹⁾; sin embargo, Chaiphongpachara y colaboradores⁽³⁰⁾ atribuyen mayor capacidad a aquellas hembras de mayor tamaño, por tener⁽³⁰⁾ una mayor longevidad en el ambiente y por ende mayor tiempo para transmitir al virus.

En marzo de 2018 en la República del Paraguay la Secretaria del ambiente, SEAM (hoy llamado Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADES) declaró contingencia ambiental por 90 días con el fin de adoptar medidas necesarias por todos los sectores a modo de evitar el aumento de los casos de dengue, pero los esfuerzos talvez no bastaron o no fueron los suficientes ya que según informes periodísticos de periódicos nacionales, a pesar de que se redujo el número de enfermos por arbovirus, en el primer semestre del 2019 ya se reportaron 65.000 casos de dengue⁽³¹⁾. Teniendo en cuenta el historial de Paraguay con las epidemias de dengue, el reconocimiento del riesgo a nivel oficial es fundamental.

Para Galindo⁽³²⁾ el acceso a la información, la educación y la comunicación tendrán el papel fundamental en el control del dengue, zika y chikungunya. Así, en palabras del autor, la vigilancia epidemiológica no solo enfrenta el reto de la notificación del riesgo en tiempo real, sino de un nuevo paradigma interdisciplinario que incluya la innovación tecnológica, fundamental para ganar terreno al vector que presenta una importante valencia ecológica. Se utilizaron 12 artículos para redactar la discusión.

Existen numerosas brechas en el conocimiento en cuanto a esta compleja relación que se establece entre esta especie y las variables bioclimáticas, lo cual abre y da luz para futuros estudios cuyo objetivo sea predecir los cambios en la distribución, abundancia y variaciones fenotípicas de varias especies de artrópodos y en especial del *Ae. aegypti* bajo diferentes escenarios de cambio climático. Para ello es de suma importancia determinar características de las poblaciones vectoriales y los factores determinantes que permiten la aparición de arbovirosis. Con el fin de evitar su dispersión se requiere de estrategias innovadoras que permitan establecer medidas preventivas basadas en el conocimiento de vectores y las condiciones del entorno donde se mueven.

5. CONCLUSIÓN

En la presente revisión se analizó la influencia del cambio climático sobre el vector *Ae. aegypti*, se determinó que las condiciones ambientales pueden influir en la biología del vector y que el efecto del cambio climático puede desempeñar un rol importante en la dinámica de transmisión. Factores como la urbanización, la falta de servicios básico y variaciones en la temperatura y humedad ambiental y precipitaciones pueden aumentar el riesgo de epidemias a nivel global. Para adaptarse mejor a las condiciones ambientales locales, los mosquitos de diferentes sitios pueden cambiar su morfología corporal y alar, estos pueden ser detectables con la herramienta de la morfometría clásica y lineal.

CONFLICTO DE INTERÉS

La autora declara que no existe ningún tipo de conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rao NV, Nagendra H. Epidemics and climate change in India. *Ciencia actual*, 2020;119(12):1919-1926.
2. Gould E, Higgs S. Impacto del cambio climático y otros factores en las enfermedades emergentes por arbovirus. *Transacciones de la Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2009. 103(2):109-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.07.025>
3. Betancourt J; Llambias J, Pestano E, Leon R. Interacción de variables climáticas con el dengue y el mosquito *Aedes aegypti* en el municipio Camagüey. *Rev Cubana Med Trop* [online]. 2017;69(1):1-10.

4. Urrutia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y meta análisis. *Med Clin (Barc)*. 2010;135(11):507-511
5. Consoli R, Oliveira L. Mosquitos de importancia sanitaria en Brasil. Rio de Janeiro :Fundación Oswaldo Cruz. Edit Fiocruz; 1994.
6. Soper FL. *Aedes aegypti* and yellow fever. *Bulletin of the World Health Organization*, 1967;36(4):521.
7. Sandoval M. Arbovirosis febriles agudas: Ecoepidemiología y diagnóstico. *Med Gen Fam*. 2019;(1).
8. Beserra E, Freitas E, De Souza J, Fernandes C, Santos K. Ciclo de vida de *Aedes Stegomyia aegypti* (Diptera, Culicidae) en aguas con diferentes características. *Iheringia, Sér. Zool*. 2009;9(3). <https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000300008>
9. WHO. Dengue. 2019. Disponible en: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
10. López R, Molina R. Cambio Climático en España y enfermedades infecciosas y Parasitarias transmitidas por Artrópodos y Roedores. *Rev Esp Salud Pública* 2005;79:177-190
11. Dash A, Rajesh B, Temmy S, Mourya D. Emerging and re-emerging arboviral diseases in Southeast Asia. *J Vector Borne* 2013;50.
12. Jirakanjanakit N, Leemingsawat S, Thongrunkiat S, Apiwathnasorn C, Singhaniyom S, Bellec C, Dujardi J. Influence of larval density or food variation on the geometry of the wing of *Aedes (Stegomyia) aegypti*. *Tropical Medicine and International Health*. 2007;12(11):1354–1360. doi:10.1111/j.1365-3156.2007.01919
13. Márquez Benítez Y, Monroy Cortés KJ, Martínez Montenegro EG, Peña García VH, Monroy Díaz AL. Influencia de la temperatura ambiental en el mosquito *Aedes spp* y la transmisión del virus del dengue. *Rev CES Med*. 2019; 33(1):42-50
14. Robert MA, Stewart-Ibarra AM, Estallo EL. Climate change and viral emergence: evidence from *Aedes*-borne arboviruses. *Current opinion in virology*. 2020;40:41-47.

15. Villamizar A, Carvajal L. Influencia de los cambios climático en la definición del sexo en el *Aedes aegypti* y su impacto en las epidemias de dengue. Revista Facultad de Salud. 2012;4-2:11-24.
16. Ochoa S, Chacón K, Rivera B, Sánchez L. Enfermedades transmitidas por vectores y cambio climático. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2017. 25(72):118-128.
17. Wilk-da-Silva R, de Souza Leal Diniz MMC, Marrelli MT, Wilke ABB. Wing morphometric variability in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from different urban built environments. Parasit Vectors. 2018 Oct 26;11(1):561. doi: <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3154-4>
18. Anoopkumar A, Aneesh E. A critical assessment of mosquito control and the influence of climate change on mosquito-borne disease epidemics. Environment Development and Sustainability. 2021;10:179-192.
19. Helmersson J, Rocklöv J, Seweb M, Brännströmd A. Climate change may enable *Aedes aegypti* infestation in major European cities by 2100. Environmental Research. 2019;172:693-699.
20. Cazorla D. Diferenciación morfométrica multivariante entre hembras de dos especies crípticas de *Lutzomyia* subgénero *Helcocyrtomyia* (Diptera: Psychodidae). Revista Colombiana de Entomología. 2009;35(2):197-201. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882009000200015&lng=en&tlng=
21. Azil AH, Long SA, Ritchie SA, Williams CR, The development of predictive tools for pre-emptive dengue vector control: a study of *Aedes aegypti* abundance and meteorological variables in North Queensland, Australia. Trop Med Int Health 2010, 15:1190-1197.
22. Reinhold JM, Lazzari CR, Lahondère C. Effects of the environmental temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes: a review. Insects. 2018;9(4):158
23. Zamora-Ramírez MG, Latournerie-Cerino ME, Sánchez-López AR, González-Ramos IA, Bustamante-Montes LP. El impacto del cambio climático en la prevalencia del Dengue en México. Salud Jalisco, 2021;7(3),156-163.
24. Lee HF, Fei J, Chan CY, Pei Q, Jia X, Yue RP. Climate change and epidemics in Chinese history: A multi-scalar analysis. Social science &

- medicine. 2017;174:53–63. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2016.12.020>
25. M Palaniyandi. Effects of daily weather on Aedes genus (Culicidae: Diptera) arthropod mosquito vectors profusion and dengue epidemics transmission: A systematic review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 2021;3(2):171-177.
 26. Lowe R, Gasparrini A, Van Meerbeeck CJ, Lippi CA, Mahon R, et al. Nonlinear and delayed impacts of climate on dengue risk in Barbados: A modelling study. *PLOS Medicine* 2018;15(7):e1002613. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002613>
 27. Mweya CN, Kimera SI, Stanley G, Misinzo G, Mboera LEG Climate Change Influences Potential Distribution of Infected Aedes aegypti Co-Occurrence with Dengue Epidemics Risk Areas in Tanzania. *Plos One* 2019 11(9): e0162649. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162649>
 28. Ayorinde A, Oboh B, Otubanjo O. Differentiation of some populations of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) in three areas of Lagos State, Nigeria, using wing morphometry. *International Journal of Tropical Insect Science*. 2016;36(4):171– 176. Disponible en:10.1017/S1742758416000151
 29. Alto BW, Lounibos LP, Mores CN, Reiskind MH. Larval competition alters susceptibility of adult Aedes mosquitoes to dengue infection. *Proc Biol Sci*. 2008 Feb 22;275(1633):463-71. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1497>
 30. Chaiphongpachara T, Juijayen N, Chansukh KK. Wing Geometry Analysis of Aedes aegypti (Diptera, Culicidae), a Dengue Virus Vector, from Multiple Geographical Locations of Samut Songkhram, Thailand. *Journal of arthropod-borne diseases*. 2018;12(4):351–360.
 31. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.Vigilancia epidemiológica de Dengue en el Paraguay. *Boletín Epidemiológico República del Paraguay*. 2002(39):1-4.
 32. Galindo M, Contreras C. Geomedicina y la tecnología espacial aplicada al caso de los vectores en salud humana. *Colección Salud Humana*. 2018.