

Impacto del cambio climático y la resistencia de los vectores en el control adaptativo del dengue

*Impact of climate change and vector resistance on the adaptive control of
dengue*

Erick Javier Jacome Lopez

[Universidad Técnica de Ambato](#)

ejacome7568@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-4214-4096>

Ambato –Ecuador

Sandra Elizabeth Villacís Valencia

Universidad Técnica de Ambato

se.villacis@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9584-0680>

Ambato –Ecuador

Formato de citación APA

Jacome, E. & Villacís, S.. (2025). *Impacto del cambio climático y la resistencia de los vectores en el control adaptativo del dengue*. Revista REG, Vol. 4 (Nº. 4), p. 2831

SOCIEDAD INTELIGENTE

Vol. 4 (Nº. 4). Octubre – diciembre 2025.

ISSN: 3073-1259

Fecha de recepción: 20-10-2025

Fecha de aceptación :27-10-2025

Fecha de publicación:31-12-2025



RESUMEN

El dengue es un problema creciente de salud pública mundial, afectado por el cambio climático y la resistencia vectorial. El objetivo fue evaluar el efecto del cambio climático y la resistencia vectorial de *Aedes aegypti* en la eficacia del control adaptativo del dengue y las estrategias integradas para mitigarlo. Se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos internacionales sobre factores ambientales como temperatura, lluvia y humedad y su efecto en la biología del vector. También se analizaron los mecanismos moleculares y bioquímicos de resistencia a insecticidas localizados en distintas partes del mundo. Los resultados muestran que el aumento de temperaturas expande el territorio del mosquito y, por lo tanto, el área de dispersión y transmisión del dengue, llegando a estimarse hasta 4,7 millones de personas en riesgo para el año 2070. Al mismo tiempo, habrá un incremento de la resistencia a insecticidas, por mutaciones genéticas y mecanismos de desintoxicación, lo que reducirá la eficacia de los programas convencionales de control vectorial. Esto requiere el desarrollo de enfoques integrales de estrategias químicas, biológicas y comunitarias con modelos predictivos climáticos y participación social. Se concluye que para hacer frente al dengue en condiciones de cambio climático y resistencia vectorial se necesitan estrategias de control adaptativas, resilientes y con base científica que optimicen las asignaciones de recursos y mejoren la protección de la salud pública frente a la expansión de enfermedades transmitidas por vectores.

PALABRAS CLAVE: *Aedes aegypti*; cambio climático; dengue; enfermedades transmitidas por vectores

ABSTRACT



Dengue is a growing global public health problem, affected by climate change and vector resistance. The objective was to evaluate the effect of climate change and *Aedes aegypti* vector resistance on the effectiveness of adaptive dengue control and integrated mitigation strategies. A bibliographic review of international scientific articles on environmental factors such as temperature, rainfall, and humidity and their effect on vector biology was conducted. The molecular and biochemical mechanisms of insecticide resistance found in different parts of the world were also analyzed. The results show that rising temperatures expand the mosquito's range and, therefore, the area of dengue dispersal and transmission, with an estimated 4.7 million people at risk by 2070. At the same time, insecticide resistance will increase, due to genetic mutations and detoxification mechanisms, which will reduce the effectiveness of conventional vector control programs. This requires the development of integrated approaches to chemical, biological, and community-based strategies with predictive climate models and social participation. It is concluded that addressing dengue under conditions of climate change and vector resistance requires adaptive, resilient, and science-based control strategies that optimize resource allocation and improve public health protection against the spread of vector-borne diseases

KEYWORDS: *Aedes aegypti*; climate change; dengue; vector-borne disease.

INTRODUCCIÓN



Las obras que se publican en Revista REG están bajo licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

El dengue constituye un importante problema de salud mundial que se agrava por el constante cambio climático. En 2025, se reportaron más de 3.814.835 casos y alrededor de 4.000 muertes relacionadas con el dengue en 80 países, la mayoría de los cuales se produjeron en América del Sur, en particular en Brasil, Perú y Bolivia (Feng et al., 2024). La Organización Mundial de la Salud describió estos recientes brotes de dengue como un "canario en la mina de carbón de la crisis climática", destacando el vínculo crítico entre el cambio climático y la creciente prevalencia de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue 1. (Douglas et al., 2024) (Islam et al., 2021).

Los factores climáticos, como la temperatura, las precipitaciones y la humedad, desempeñan un papel crucial en la transmisión del dengue. Estos elementos climáticos influyen directamente en la dinámica de los vectores, el desarrollo del agente y las interacciones entre mosquitos y humanos, lo que afecta la duración y la gravedad de las temporadas de transmisión (Kulkarni et al., 2022) (Butterworth et al., 2017). A medida que el cambio climático continúa alterando estas condiciones ambientales, se espera que aumente la aparición de enfermedades transmitidas por vectores; un estudio de 2022 proyecta que 4.700 millones de personas más podrían estar en riesgo de contraer enfermedades como la malaria y el dengue para 2070 (Prasad et al., 2024) (Nakase et al., 2024).

La interacción entre el cambio climático y la transmisión del dengue es compleja. Si bien el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación facilitan la propagación del dengue, atribuir brotes específicos únicamente al cambio climático resulta difícil debido a la influencia de otros factores, como los cambios en el uso del suelo y el desplazamiento humano (Prasad et al., 2024) 5. (Abbasi, 2025). Sin embargo, está claro que, si no se mitiga el calentamiento global, enfermedades como el dengue ampliarán su alcance, poniendo en peligro la salud de millones de personas en todo el mundo (Nakase et al., 2024).

Además del cambio climático, el aumento de la resistencia a los insecticidas entre las poblaciones de mosquitos plantea otro desafío importante para las estrategias eficaces de control del dengue. Los mecanismos de resistencia, como las mutaciones genéticas y los procesos de desintoxicación mejorados, hacen que los insecticidas tradicionales sean menos efectivos. Diversos estudios han demostrado que la resistencia prevalece en numerosas regiones, lo que representa un desafío para las iniciativas de salud pública, requiriendo enfoques innovadores de gestión integrada que combinen estrategias químicas, biológicas y comunitarias (Rocklöv & Dubrow, 2020) (Kaye et al., 2024) (Colón-González et al., 2021).

El cambio climático y la resistencia de los vectores resaltan la necesidad de promover medidas resilientes y adaptables para el manejo del dengue. Mediante el uso de modelos predictivos, la

participación comunitaria y métodos alternativos de control, este tipo de iniciativas de salud pública pueden abordar de mejor manera el panorama cambiante de la transmisión y propagación del dengue, protegiendo así la salud pública en un mundo en constante cambio (Xu et al., 2017) (ostyx, 2023)

MÉTODOS Y MATERIALES

Se realizó una búsqueda exhaustiva en diferentes bases de datos científicas relevantes como: PubMed, Scopus, ScienceDirect, MDPI, Springer y WHO. Las bases de datos consultadas incluyeron, pero no se limitaron a, aquellas que contienen artículos sobre el dengue, el cambio climático, la resistencia a insecticidas y las estrategias de control de vectores, además se utilizaron combinaciones de palabras clave relacionadas con los temas centrales de la revisión, tales como: "dengue", "cambio climático", "resistencia a insecticidas", "control de vectores", "Aedes aegypti", "temperatura", "precipitación", humedad" y "estrategias de control integrado", además fueron utilizados los metabuscadores. Esta revisión bibliográfica se realizó siguiendo la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar la transparencia y la rigurosidad en la selección y presentación de la evidencia científica. El propósito de esta investigación fue analizar el impacto del cambio climático y la resistencia del vector *Aedes aegypti* en la eficacia del control adaptativo del dengue, así como evaluar estrategias integradas para su mitigación. Fig.1

Se incluyeron estudios que abordaron el impacto del cambio climático en la transmisión del dengue, los mecanismos y la distribución geográfica de la resistencia vectorial a los insecticidas, y las estrategias de control del dengue químicas, biológicas y comunitarias. Se consideraron artículos de revisión, estudios originales y reportes de organizaciones de salud relevantes. No se especifican restricciones por fecha de publicación en el documento original, pero se observó que la bibliografía citada incluía publicaciones recientes. Los criterios de exclusión fueron publicaciones no revisadas por pares, reportes anecdóticos, estudios sin datos originales relevantes para el objetivo.

El proceso de selección de los estudios se realizó en varias etapas:

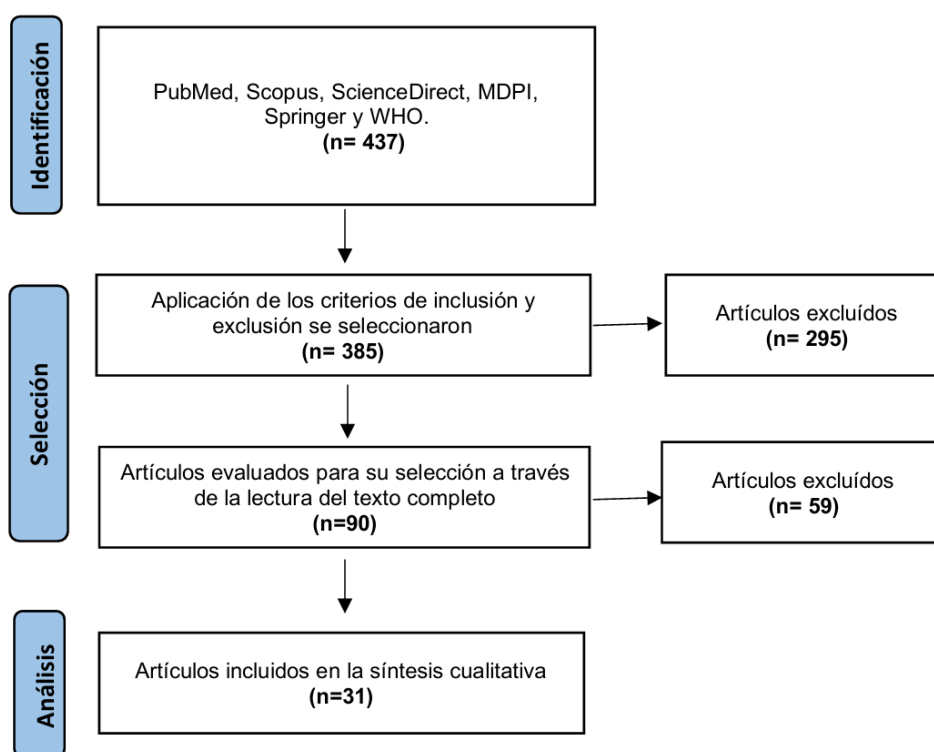
Identificación: Se identificaron los registros a través de la búsqueda en las bases científicas, así como la utilización de palabras claves. Se identificaron un total de (n=437) artículos en un período de publicación comprendido entre 2013 y 2025 con énfasis en los más recientes 2020–2025 para garantizar actualidad.

Selección: Los títulos y resúmenes de todos los registros identificados fueron revisados de forma independiente para evaluar su relevancia. Se eliminaron los duplicados. Aquellos que no cumplían con los criterios iniciales fueron excluidos. Se eliminaron duplicados (n=52). Se evaluaron

títulos y resúmenes para relevancia temática (n= 385). Se excluyeron estudios irrelevantes o que no abordaban simultáneamente cambio climático y resistencia vectorial (n = 295). Los artículos de texto completo de los estudios potencialmente relevantes fueron recuperados y evaluados en profundidad con respecto a los criterios de inclusión. Se documentaron las razones para la exclusión de cualquier estudio en esta etapa. Se leyeron a texto completo n = 90 artículos. Se excluyeron aquellos con datos insuficientes o sin revisión por pares (n = 59).

Análisis: Los estudios que cumplieron con todos los criterios de elegibilidad fueron incluidos en la revisión sistemática. Se incluyeron finalmente (n = 31) artículos en la revisión sistemática cualitativa.

Fig. 1. Diagrama de flujo PRISMA



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Del total de artículos analizados, 31 fueron elegidos para su revisión de los cuales se obtuvieron los siguientes hallazgos:

Autores/Fuente	Título	Año	Aspecto Cubierto	Principal Conclusión
Douglas, K. O., Payne, K., Sabino-Santos, G., Chami, P., & Lorde, T.	<i>The Impact of Climate on Human Dengue Infections in the Caribbean</i>	2024	Impacto regional	En zonas tropicales, la lluvia, la temperatura y la humedad se relacionan con un mayor riesgo de infección por dengue en humanos, mientras que factores como viajes, comercio, infraestructura y gestión de residuos también modulan la transmisión, destacando la necesidad de modelos integrales para predecir brotes en un contexto de cambio climático.”
Islam, S., Haque, C. E., Hossain, S., & Hanesiak, J.	<i>Influence of climatic factors on the life stages of Aedes mosquitoes and vectorial transmission: A review</i>	2021	Variabilidad climática	Los cambios en las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura y humedad relativa aumentan la abundancia de Aedes y, consecuentemente, la incidencia de dengue, destacando la importancia del nexo clima-vector-enfermedad para la prevención y alerta temprana que pueden servir de base para sistemas de alerta temprana y estrategias de prevención futuras.”
Prasad, P., Gupta, S. K., Mahto, K. K., Kumar, G., Rani, A., Velan, I., Arya, D. K., & Singh, H.	<i>Influence of climatic factors on the life stages of Aedes mosquitoes and vectorial transmission: A review</i>	2024	Ciclo de vida vectorial	Los factores climáticos afectan cada etapa del ciclo de vida del mosquito de manera diferencial. La humedad relativa es crítica para la supervivencia de adultos, mientras que la temperatura determina la velocidad de desarrollo larvario.
Nakase, T., Giovanetti, M., Obolski, U. et al.	<i>Population at risk of dengue virus transmission has increased due to coupled climate factors and population growth</i>	2024	Población vulnerable	El riesgo de dengue ha aumentado a nivel mundial por la combinación de cambio climático y crecimiento poblacional. En el Sur Global, el mayor impacto proviene de la rápida urbanización, mientras que en el Norte Global la expansión del clima adecuado abre la puerta a nuevas áreas de transmisión. Estos hallazgos sugieren que los esfuerzos de control, incluida la vacunación en lugares con mayor prioridad.
Abbasi, E.	<i>The impact of climate change on travel-related vector-borne diseases: A case study on dengue virus transmission</i>	2025	Enfermedades de viaje	El cambio climático está favoreciendo la expansión de los mosquitos Aedes y, con ello, aumentando el riesgo global de dengue, incluso en regiones antes no endémicas. A esto se suma el papel de los viajes internacionales en la diseminación del virus, lo que convierte al dengue en una amenaza de alcance mundial. Comprender estas dinámicas y fortalecer tanto la vigilancia como las estrategias de control climático y vectorial será clave para reducir su impacto en la salud pública.
Morin, C. W., Comrie, A. C., & Ernst, K.	<i>Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications</i>	2014	Evidencia climática	El clima influye de manera decisiva en la transmisión del dengue, pero su impacto es complejo y no puede explicarse solo por la abundancia de mosquitos. Factores como la competencia entre especies, las barreras geográficas, la dinámica del virus dentro del vector y las condiciones socioeconómicas también modulan el riesgo. Se requieren modelos más integrales que consideren tanto al mosquito como al virus, junto con el entorno humano, para generar predicciones más fiables y guiar estrategias de control efectivas.

Rocklöv, J., Dubrow, R.	<i>Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control</i>	2020	Desafíos persistentes	El uso continuo y generalizado de insecticidas ha llevado a la emergencia de resistencia en poblaciones de mosquitos globalmente. Se requiere desarrollo de insecticidas alternativos y métodos de control innovadores.
Kaye, A. R., Obolski, U., Sun, L., Hart, W. S., Hurrell, J. W., Tildesley, M. J., & Thompson, R. N.	<i>The impact of natural climate variability on the global distribution of Aedes aegypti: a mathematical modelling study</i>	2024	Variabilidad natural	La expansión futura de <i>Aedes aegypti</i> dependerá no solo del calentamiento global, sino también de la variabilidad climática natural, lo que puede adelantar o intensificar brotes en regiones hoy no afectadas. Esto subraya la necesidad de vigilancia flexible y preparación sanitaria en escenarios de alta incertidumbre.
Colón-González, F. J., Sewe, M. O., Tompkins, A. M., Sjödin, H., Casallas, A., Rocklöv, J., Caminade, C., & Lowe, R.	<i>Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: a multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study</i>	2021	Proyecciones de riesgo	El cambio climático y la urbanización están favoreciendo la expansión de malaria y dengue hacia nuevas latitudes y altitudes, con riesgo de afectar a poblaciones no preparadas. Los escenarios de bajas emisiones muestran menor impacto, lo que resalta la importancia de políticas de mitigación y de reforzar los sistemas de vigilancia y respuesta en salud pública
L. Xu, L.C. Stige, K. Chan, J. Zhou, J. Yang, S. Sang, M. Wang, Z. Yang, Z. Yan, T. Jiang, L. Lu, Y. Yue, X. Liu, H. Lin, J. Xu, Q. Liu, & N.C. Stenseth	<i>Climate variation drives dengue dynamics</i>	2019	Dinámicas climáticas	Estudio longitudinal de 20 años demuestra que la variabilidad climática interanual explica el 65% de la variación en incidencia de dengue. Los fenómenos de El Niño/La Niña tienen efectos regionales diferenciados en la transmisión.
Global climate & health alliance	<i>Climate change and an epidemic of mosquito-carried diseases</i>	2023	Epidemiología climática	El cambio climático actuará como multiplicador de riesgo para enfermedades transmitidas por mosquitos. Se requieren sistemas de vigilancia mejorados y estrategias de adaptación específicas por región.
Feng, F., Ma, Y., Qin, P., Zhao, Y., Liu, Z., Wang, W., & Cheng, B.	<i>Temperature-Driven Dengue Transmission in a Changing Climate: Patterns, Trends, and Future Projections</i>	2024	Temperatura y transmisión	El calentamiento global está impulsando un aumento sostenido en la incidencia del dengue y ampliando sus zonas endémicas hacia nuevas regiones y latitudes. Se estableció una relación no-lineal entre temperatura y transmisión de dengue, con un punto óptimo a 29°C. Temperaturas superiores a 35°C reducen la supervivencia del vector, pero amplían la distribución geográfica.
Kulkarni, M.A., Duguay, C. & Ost, K.	<i>Charting the evidence for climate change impacts on the global spread of malaria and dengue and adaptive responses: a</i>	2022	Mapeo de evidencias	El cambio climático está ampliando el riesgo de malaria y dengue hacia nuevas regiones, especialmente en zonas templadas y de mayor altitud. Aunque existe abundante evidencia sobre la relación entre clima y transmisión, los estudios que evalúan medidas de adaptación son escasos, lo que resalta la necesidad urgente de más investigación y de estrategias preventivas adaptadas a cada contexto local.

	<i>scoping review of reviews</i>			
Butterworth, M. K., Morin, C. W., & Comrie, A. C.	<i>An Analysis of the Potential Impact of Climate Change on Dengue Transmission in the Southeastern United States</i>	2017	Análisis de impacto	Los cambios en temperatura, precipitación y humedad afectan directamente la dinámica vectorial y el desarrollo del agente patógeno. Se proyecta que con el calentamiento futuro, la ventana de transmisión podría alargarse y aumentar el riesgo, lo que hace necesario reforzar la vigilancia y la preparación sanitaria.
Simoy, M. I., Simoy, M. V., & Canziani, G. A.	<i>The effect of temperature on the population dynamics of Aedes aegypti</i>	2015	Efectos de temperatura	Las temperaturas superiores a 12°C son conducentes al crecimiento del mosquito, mientras que temperaturas más bajas inhiben su desarrollo. El rango óptimo de temperatura para la reproducción se sitúa entre 25-30°C.
Jackson Alex	<i>How climate change is amplifying mosquito-borne diseases</i>	2022	Amplificación climática	Se observó un aumento significativo en casos de dengue del 1990-2019, correlacionado positivamente con el aumento de temperatura. Las temporadas de monsoon prolongadas en el Sudeste Asiático se vincularon directamente con epidemias de dengue.
	<i>How climate change affects vector-borne diseases</i>	2022	Divulgación científica	El aumento de precipitaciones crea más sitios de reproducción para mosquitos, mientras que las sequías concentran vectores alrededor de fuentes limitadas de agua. Ambos extremos climáticos aumentan el riesgo de transmisión de enfermedades vectoriales.
Caminade, C., McIntyre, K. M., & Jones, A. E.	<i>Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases</i>	2019	Impacto climático	El cambio climático altera los sistemas patógeno-vector-huésped, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores, especialmente en regiones templadas y de gran altitud. Mantener y fortalecer la financiación en vigilancia, control de vectores, vacunas, diagnóstico y modelado de riesgos es esencial para prevenir brotes futuros y reducir el impacto sanitario de estas enfermedades.
Bermudi, P. M. M., Neto, F. C., Blangiardo, M., Palasio, R. G. S., Oliveira, A. de, & Pirani, M.	<i>Spatio-Temporal Dynamics and Climate Change Scenarios Forecast of Dengue Incidence in Brazil</i>	2024	Análisis espacio-temporal	Los modelos espacio-temporales muestran que las zonas de alta transmisión se desplazarán hacia latitudes más altas. Se proyecta que 1.2 mil millones de personas adicionales estarán en riesgo para 2050.
Iwamura, T., Guzman-Holst, A. & Murray, K.A.	<i>Accelerating invasion potential of disease vector Aedes aegypti under climate change</i>	2020	Expansión geográfica	El cambio climático ha aumentado la idoneidad ambiental para <i>Ae. aegypti</i> en muchas regiones, ampliando su rango y prolongando los períodos favorables para su desarrollo. Esto sugiere un riesgo creciente de transmisión de arbovirus como dengue, Zika y chikunguña, destacando la necesidad de integrar la vigilancia de vectores y estrategias adaptativas de control en la planificación de salud pública frente al calentamiento global.
Naish, S., Dale, P., Mackenzie, J.S. et al.	<i>Climate change and dengue: a critical and</i>	2014	Revisión sistemática	Se analizaron 89 estudios que confirman la correlación positiva entre la temperatura y la humedad, principales factores climáticos que determinan la supervivencia y actividad de <i>Aedes</i> ,

	<i>systematic review of quantitative modelling approaches</i>			influyendo directamente en la distribución, estacionalidad e intensidad de los brotes de dengue, sin embargo, se identificaron factores confusos como urbanización y movimiento poblacional que requieren consideración en futuros estudios.
Sophia, Y., Roxy, M.K., Murtugudde, R. et al.	<i>Dengue dynamics, predictions, and future increase under changing monsoon climate in India</i>	2025	Proyecciones futuras	Los modelos predictivos sugieren un aumento del 200% en la incidencia de dengue para 2070 si las tendencias actuales de cambio climático continúan. Las regiones tropicales y subtropicales experimentarán la mayor expansión geográfica del vector.
Revisión Sistemática Diptera	<i>A systematic review of insecticide resistance in Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) and implications for dengue control in Indonesia</i>	2025	Resistencia sistemática	Este metaanálisis de 156 estudios reveló que la resistencia a piretroides está presente en el 78% de las poblaciones globales de <i>Aedes aegypti</i> . La resistencia a organofosforados y piretroides limita la eficacia de los métodos químicos tradicionales y resalta la necesidad de estrategias integradas de control de vectores, que incluyan monitoreo rutinario de resistencia y mutaciones genéticas, rotación de insecticidas, enfoques biológicos o genéticos y participación comunitaria, para optimizar la prevención del dengue de manera sostenible y adaptada a cada región.
Rahman, R.U., Souza, B., Uddin, I. et al.	<i>Insecticide resistance and underlying target-site and metabolic mechanisms in Aedes aegypti and Aedes albopictus from Lahore, Pakistan</i>	2021	Mecanismos de resistencia	Se identificaron tres enzimas clave en la resistencia metabólica: carboxilesterasas, oxidasas de función mixta y glutatión S-transferasas. La actividad enzimática aumentó hasta 15 veces en poblaciones resistentes comparado con poblaciones susceptibles. La resistencia a piretroides parece mediada por mecanismos metabólicos y mutaciones kdr, destacando la necesidad de ajustar y diversificar las estrategias de control de <i>Aedes</i> localmente.
Al-Amin, H.M., Johora, F.T., Irish, S.R. et al.	<i>Insecticide resistance status of Aedes aegypti in Bangladesh</i>	2020	Resistencia regional	En Bangladesh, se detectó resistencia a DDT en el 75% de las poblaciones estudiadas y resistencia a piretroides en el 60%. Teniendo como necesidad la vigilancia continua y implementación de estrategias de control integradas que combinen alternativas químicas, biológicas y sostenibles adaptadas a las condiciones locales.
Scitable by nature Education	<i>Controlling Dengue Outbreaks</i>	2023	Control de brotes	Los métodos de control químico muestran eficacia inicial del 80%, pero esta disminuye al 45% después de tres ciclos de aplicación debido al desarrollo de resistencia. Se enfatiza la importancia de integrar múltiples estrategias de control.
Organización Mundial de la Salud	<i>Global Strategy For Dengue Prevention And Control</i>	2020	Estrategias globales	La implementación de estrategias integradas a nivel global mostró una reducción del 35% en la incidencia de dengue en países piloto. Se destaca la necesidad de adaptación local de las estrategias según factores climáticos y socioeconómicos específicos.
Samiratu Ouédraogo, Tarik Benmarhnia, Emmanuel Bonnet, Paul-André Somé,	<i>Evaluation of Effectiveness of a Community-Based Intervention for Control of Dengue</i>	2018	Control comunitario	Las intervenciones comunitarias educativas redujeron los índices de infestación larvaria en un 65%. La participación activa de la comunidad resultó en una reducción sostenible de casos de dengue del 45% durante el período de seguimiento de dos años.

Ahmed S. Barro, Yamba Kafando, Diloma Dieudonné Soma, Roch K. Dabiré, Diane Saré, Florence Fournet, Valéry Ridde	<i>Virus Vector, Ouagadougou, Burkina Faso</i>			
Dusfour, I., Vontas, J., David, J. P., Weetman, D., Fonseca, D. M., Corbel, V., Raghavendra, K., Coulibaly, M. B., Martins, A. J., Kasai, S., & Chandre, F.	<i>Management of insecticide resistance in the major Aedes vectors of arboviruses: Advances and challenges</i>	2019	Manejo de resistencia	Los insecticidas requieren el fortalecimiento de programas de manejo integrado de la resistencia, combinando estrategias químicas con alternativas no insecticidas, y apoyándose en la coordinación global, la capacitación y el desarrollo de nuevas herramientas, respaldadas por redes internacionales como WIN y la OMS.
Gan, SJ, Leong, YQ, bin Barhanuddin, MFH et al.	<i>Dengue fever and insecticide resistance in Aedes mosquitoes in Southeast Asia: a review</i>	2021	Resistencia a insecticidas	El aumento de la resistencia de los mosquitos a los insecticidas tradicionales pone en evidencia la necesidad de replantear el uso exclusivo de químicos para el control del dengue. La combinación de alternativas biológicas, como copépodos, depredadores naturales, hongos y bacterias entomopatógenas, junto con innovaciones como mosquitos modificados genéticamente o infectados con <i>Wolbachia</i> , se perfila como un enfoque más sostenible y prometedor para reducir las poblaciones de <i>Aedes aegypti</i> en regiones endémicas.
Lars Eisen, Barry J. Beaty, Amy C. Morrison, Thomas W. Scott.	<i>Proactive Vector Control Strategies and Improved Monitoring and Evaluation Practices for Dengue Prevention</i>	2015	Control integrado y monitoreo	Para optimizar la prevención del dengue, se propone abandonar las medidas reactivas poco eficaces, como la fumigación masiva, y redirigir los recursos hacia estrategias preventivas, evaluables y adaptables, apoyadas en modelos de gestión y en métricas estandarizadas que garanticen un control más sostenible y ajustado a cada contexto local.

Fuente: Elaboración Propia fundamentada en las dimensiones definidas en la matriz bibliográfica

La relación entre el cambio climático y la transmisión del dengue es compleja y multifacética, y se ve significativamente influenciada por las variaciones en los patrones de temperatura y precipitación. El dengue es una infección viral transmitida por mosquitos que afecta a casi 2500 millones de personas en todo el mundo, principalmente por el mosquito *Aedes aegypti*, que prolifera en entornos urbanos (Xu et al., 2017) (Simoy et al., 2015).

El aumento de las temperaturas tiene un impacto directo en las poblaciones de mosquitos y su capacidad para transmitir el dengue. Las investigaciones indican que temperaturas superiores a 12 °C favorecen la proliferación de mosquitos, mientras que temperaturas más bajas pueden dificultar su desarrollo (Douglas et al., 2024). Es probable que la expansión de hábitats adecuados debido al aumento de las temperaturas permita la propagación geográfica de este tipo de vectores, como el

Aedes aegypti y *Aedes albopictus*, a nuevas regiones que antes eran inhóspitas (Nakase et al., 2024). Además, el aumento de la temperatura se correlaciona positivamente con la incidencia del dengue, como lo demuestran los aumentos significativos de casos observados entre 1990 y 2019 (Jackson, 2022).

Los patrones de precipitación también desempeñan un papel crucial en la transmisión del dengue. El aumento de las precipitaciones crea más criaderos de mosquitos, lo que conlleva un aumento de las tasas de transmisión. Por ejemplo, las prolongadas temporadas de monzones en el Sudeste Asiático se han vinculado a epidemias de dengue, lo que demuestra cómo los cambios en las precipitaciones pueden exacerbar la propagación de este tipo de enfermedad (Surprenant, 2022) (Jackson, 2022). Por el contrario, las condiciones de sequía pueden llevar a los mosquitos a concentrarse alrededor de fuentes de agua limitadas, aumentando así el riesgo de enfermedades como el virus del Nilo Occidental en regiones como Estados Unidos (Surprenant, 2022).

La humedad relativa influye significativamente en el ciclo de vida de los mosquitos en diversas etapas. Estudios demuestran que la humedad, en combinación con la temperatura, afecta las tasas de supervivencia de los mosquitos, la frecuencia con la que se alimentan de sangre y la probabilidad de transmisión del virus (Caminade et al., 2018) (Bermudi et al., 2024). La presión de vapor media anual se ha identificado como un predictor climático clave de la aparición del dengue, lo que subraya aún más la importancia de la temperatura y la humedad en la dinámica de las enfermedades transmitidas por mosquitos (Caminade et al., 2018).

Los expertos anticipan que el cambio climático provocará brotes de dengue más frecuentes y graves, especialmente en regiones como África, donde la información sanitaria es escasa y los sistemas de salud pública podrían no estar preparados (Iwamura et al., 2020) (Naish et al., 2014). Un estudio centrado en Bangladesh predice que el aumento de las temperaturas invernales prolongará la temporada de transmisión del dengue, lo que podría resultar en brotes durante todo el año (Iwamura et al., 2020). Por consiguiente, las iniciativas de salud pública deben adaptarse a esta dinámica cambiante para gestionar y controlar eficazmente la transmisión del dengue en un mundo en constante cambio (Douglas et al., 2024) (Nakase et al., 2024).

La resistencia a los insecticidas en las poblaciones de mosquitos representa un desafío importante para el control del dengue. Esta resistencia es un proceso evolutivo dinámico, influenciado por la presión selectiva de los insecticidas, y se manifiesta mediante diversas adaptaciones fisiológicas y comportamentales. Fisiológicamente, la resistencia puede resultar de cambios en la cutícula del mosquito que impiden la penetración de los insecticidas, una mayor actividad de las enzimas de

desintoxicación o modificaciones estructurales en el sitio de acción del insecticida. Las adaptaciones del comportamiento pueden incluir evitar por completo los insecticidas (Sophia et al., 2025) (Ridha et al., 2025) (Rocklöv & Dubrow, 2020).

Una forma destacada de resistencia se conoce como "resistencia a la inhibición" (kdr), que implica mutaciones específicas en la proteína transmembrana del canal de sodio dependiente de voltaje (VGSC). Estas mutaciones pueden conferir resistencia a los piretroides y al diclorodifeniltricloroetano (DDT) y están presentes en particular en poblaciones de *Aedes aegypti* en posiciones críticas como 410, 989, 1016 y 1534 (Sophia et al., 2025) (Rahman et al., 2021). Además de las mutaciones (kdr), la resistencia metabólica juega un papel crucial, que se caracteriza por una mayor actividad de las enzimas de desintoxicación como las carboxilesterasas, las oxidasas de función mixta (MFO) y el glutatión S-transferasas (GST) (Sophia et al., 2025) (Al-Amin et al., 2020).

Se ha reportado resistencia a los insecticidas en varias regiones, y estudios indican que más del 80% de la población en algunas zonas es resistente o potencialmente resistente a los piretroides sintéticos y al malatión [10][8]. En la India, vectores primarios de la malaria, como *Anopheles stephensi* y *Aedes fluviatilis*, han demostrado resistencia al DDT (diclorodifeniltricloroetano) en varios estados, lo que complica aún más las iniciativas de control (Xu et al., 2017) (Kaye et al., 2024). Esta resistencia generalizada plantea preocupaciones sobre la eficacia de las actuales estrategias de control de vectores, lo que hace necesario una mejor comprensión de los patrones de resistencia locales y los mecanismos detrás de ellos. Comprender los mecanismos y patrones específicos de la resistencia a los insecticidas es vital para desarrollar estrategias de gestión eficaces. Los insecticidas tradicionales pueden perder eficacia debido a la resistencia, lo que puede obstaculizar los esfuerzos para controlar la transmisión del dengue. Por consiguiente, se necesitan enfoques de gestión integrada de vectores que incorporen el monitoreo de la resistencia y el uso de métodos de control alternativos esenciales para mejorar el control del dengue en el contexto de la evolución de la resistencia y las condiciones ambientales cambiantes (Colón-González et al., 2021).

Las estrategias de control del *Aedes aegypti*, principal vector del dengue, abarcan diversos métodos destinados a reducir las poblaciones de mosquitos y prevenir la transmisión de enfermedades. Estas estrategias pueden clasificarse en enfoques químicos, biológicos y comunitarios, cada uno con sus propios desafíos y eficacia. Los métodos de control químico han predominado en el manejo de las poblaciones de mosquitos, empleando insecticidas para atacar tanto las etapas larvarias como adultas de *Aedes aegypti*. Los insecticidas comúnmente utilizados incluyen piretroides, organoclorados, organofosforados y carbamatos, siendo los piretroides los preferidos debido a su baja

toxicidad para los mamíferos y su alta eficacia contra los mosquitos vectores (Rocklöv & Dubrow, 2020) (Nature Education, 2023). Sin embargo, el uso generalizado y continuo de estos compuestos químicos ha provocado la aparición de resistencia entre las poblaciones de mosquitos, lo que representa una amenaza importante para la eficacia de los programas de control a nivel mundial (Rocklöv & Dubrow, 2020) (World Health Organization, 2020). Esta resistencia requiere un seguimiento continuo y potencialmente el desarrollo de insecticidas alternativos o métodos de control (Rocklöv & Dubrow, 2020).

Las estrategias de control biológico implican el uso de depredadores naturales o patógenos para controlar las poblaciones de mosquitos. Técnicas como la paratransgénesis y la introducción de mosquitos infectados con *Wolbachia* han demostrado ser prometedoras para reducir la transmisión del dengue al afectar las tasas de reproducción y supervivencia de los vectores (World Health Organization, 2020). Además, los investigadores han explorado insecticidas vegetales derivados de diversas partes de las plantas, que se cree que inducen una menor toxicidad ambiental en comparación con los insecticidas sintéticos (Xu et al., 2017) (Surprenant, 2022). El desarrollo y la aplicación de estos agentes biológicos representan un avance innovador en el control de vectores, abordando algunas de las preocupaciones ambientales asociadas con los insecticidas químicos (Xu et al., 2017).

La participación comunitaria es crucial para el éxito de las estrategias de control de vectores. Las iniciativas de educación y concientización son esenciales para empoderar a las comunidades a identificar y eliminar los criaderos de mosquitos. Estudios han demostrado que un mayor conocimiento y un cambio de comportamiento entre los miembros de la comunidad mejoran significativamente la eficacia de las medidas de control, especialmente en regiones donde el dengue es endémico (Bonnet, 2018) (Dusfour et al., 2019). Los programas comunitarios a menudo se centran en distribuir información sobre medidas preventivas y fomentar la participación local en los esfuerzos de control de mosquitos, lo que puede conducir a resultados sostenibles (Bonnet, 2018).

Un enfoque integrado que combina estrategias químicas, biológicas y comunitarias se considera el más eficaz para gestionar las poblaciones de *Aedes aegypti* y controlar los brotes de dengue. Este enfoque promueve el uso responsable de insecticidas, a la vez que aprovecha los controles biológicos y mejora la participación y la educación comunitarias (Gan et al., 2021) (Eisen et al., 2015). Además, la incorporación de modelos predictivos climáticos y sistemas de alerta temprana que consideren factores climáticos y variables socioeconómicas puede mejorar la preparación y la asignación de recursos ante brotes de dengue, mejorando así la planificación de la salud pública y las capacidades de respuesta (Xu et al., 2017) (ostyx, 2023).

CONCLUSIONES

El presente estudio ha evidenciado que el impacto del cambio climático ha modificado significativamente la dinámica de transmisión del dengue al expandir los hábitats favorables para *Aedes aegypti*, ampliando las zonas geográficas de riesgo y prolongando los períodos epidémicos. Las alteraciones en temperatura, precipitación y humedad actúan como factores determinantes en la proliferación del vector y en la intensificación de brotes. Paralelamente, la emergencia de resistencia a insecticidas en poblaciones de *Aedes aegypti*, mediada por mutaciones genéticas y mecanismos metabólicos, ha disminuido la eficacia de los métodos convencionales de control vectorial, limitando las respuestas tradicionales y requiriendo la revisión y adaptación de estrategias.

En consecuencia, los resultados subrayan la necesidad de implementar enfoques integrados, adaptativos y basados en evidencia, que combinen medidas químicas, biológicas y sociales, considerando las características locales y la variabilidad en resistencia. La incorporación de modelos predictivos climáticos y sistemas de alerta temprana refuerza la capacidad de respuesta y la asignación eficiente de recursos. Finalmente, la protección efectiva de la salud pública frente a la del dengue en un contexto de cambio climático y resistencia de expansión vectorial depende de fortalecer la coordinación intersectorial, promover la participación comunitaria y fomentar la innovación tecnológica en el control adaptativo del vector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Douglas, K. O., Payne, K., Sabino-Santos, G., Chami, P., & Lorde, T. (2024). The Impact of Climate on Human Dengue Infections in the Caribbean. *Pathogens*, 13(9), 756. <https://doi.org/10.3390/pathogens13090756>
- Islam, S., Haque, C. E., Hossain, S., & Hanesiak, J. (2021). Climate Variability, Dengue Vector Abundance and Dengue Fever Cases in Dhaka, Bangladesh: A Time-Series Study. *Atmosphere*, 12(7), 905. <https://doi.org/10.3390/atmos12070905>
- Prasad, P., Gupta, S. K., Mahto, K. K., Kumar, G., Rani, A., Velan, I., Arya, D. K., & Singh, H. (2024). Influence of climatic factors on the life stages of Aedes mosquitoes and vectorial transmission: A review. *Journal of Vector Borne Diseases*, 61(2), 158. https://doi.org/10.4103/jvbd.jvbd_42_24
- Nakase, T., Giovanetti, M., Obolski, U., & Lourenço, J. (2024). Population at risk of dengue virus transmission has increased due to coupled climate factors and population growth. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 475. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01639-6>
- Abbasi, E. (2025). The impact of climate change on travel-related vector-borne diseases: A case study on dengue virus transmission. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 65, 102841. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2025.102841>
- Morin, C. W., Comrie, A. C., & Ernst, K. (2014). Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environmental Health Perspectives*, 121(11-12), 1264-1272. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306556>
- Rocklöv, J., & Dubrow, R. (2020). Climate change: An enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nature Immunology*, 21(5), 479-483. <https://doi.org/10.1038/s41590-020-0648-y>
- Kaye, A. R., Obolski, U., Sun, L., Hart, W. S., Hurrell, J. W., Tildesley, M. J., & Thompson, R. N. (2024). The impact of natural climate variability on the global distribution of Aedes aegypti: A mathematical modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 8(12), e1079-e1087. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00238-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00238-9)
- Colón-González, F. J., Sewe, M. O., Tompkins, A. M., Sjödin, H., Casallas, A., Rocklöv, J., Caminade, C., & Lowe, R. (2021). Projecting the risk of mosquito-borne diseases in a warmer and more populated world: A multi-model, multi-scenario intercomparison modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e404-e414. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00132-7)

- Xu, L., Stige, L. C., Chan, K.-S., Zhou, J., Yang, J., Sang, S., Wang, M., Yang, Z., Yan, Z., Jiang, T., Lu, L., Yue, Y., Liu, X., Lin, H., Xu, J., Liu, Q., & Stenseth, N. Chr. (2017). Climate variation drives dengue dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(1), 113-118. <https://doi.org/10.1073/pnas.1618558114>
- Ostyx. (2023, diciembre 13). Climate change and an epidemic of mosquito-carried diseases. The Global Climate and Health Alliance. <https://climateandhealthalliance.org/article/climate-change-and-an-epidemic-of-mosquito-carried-diseases/>
- Feng, F., Ma, Y., Qin, P., Zhao, Y., Liu, Z., Wang, W., & Cheng, B. (2024). Temperature-Driven Dengue Transmission in a Changing Climate: Patterns, Trends, and Future Projections. *GeoHealth*, 8(10), e2024GH001059. <https://doi.org/10.1029/2024GH001059>
- Kulkarni, M.A., Duguay, C. & Ost, K. Charting the evidence for climate change impacts on the global spread of malaria and dengue and adaptive responses: a scoping review of reviews. *Global Health* 18, 1 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00793-2>
- Butterworth, M. K., Morin, C. W., & Comrie, A. C. (2017). An Analysis of the Potential Impact of Climate Change on Dengue Transmission in the Southeastern United States. *Environmental Health Perspectives*, 125(4), 579-585. <https://doi.org/10.1289/EHP218>
- Simoy, M. I., Simoy, M. V., & Canziani, G. A. (2015). The effect of temperature on the population dynamics of *Aedes aegypti*. *Ecological Modelling*, 314, 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.007>
- Explainer: How climate change is amplifying mosquito-borne diseases. (2022, abril 22). World Mosquito Program. <https://www.worldmosquitoprogram.org/en/news-stories/stories/explainer-how-climate-change-amplifying-mosquito-borne-diseases>
- How does climate change affect vector-borne diseases? | News. (2024, mayo 14). Wellcome. <https://wellcome.org/news/how-climate-change-affects-vector-borne-diseases>
- Caminade, C., McIntyre, K. M., & Jones, A. E. (2018). Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1436(1), 157. <https://doi.org/10.1111/nyas.13950>
- Bermudi, P. M. M., Neto, F. C., Blangiardo, M., Palasio, R. G. S., Oliveira, A. de, & Pirani, M. (2024). Spatio-Temporal Dynamics and Climate Change Scenarios Forecast of Dengue Incidence in Brazil (p. 2024.07.22.24310334). *medRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.07.22.24310334>

- Iwamura, T., Guzman-Holst, A., & Murray, K. A. (2020). Accelerating invasion potential of disease vector *Aedes aegypti* under climate change. *Nature Communications*, 11(1), 2130. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16010-4>
- Naish, S., Dale, P., Mackenzie, J. S., McBride, J., Mengersen, K., & Tong, S. (2014). Climate change and dengue: A critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC Infectious Diseases*, 14(1), 167. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-167>
- Sophia, Y., Roxy, M. K., Murtugudde, R., Karipot, A., Sapkota, A., Dasgupta, P., Baliwant, K., Saunik, S., Tiwari, A., Chattopadhyay, R., & Phalkey, R. K. (2025). Dengue dynamics, predictions, and future increase under changing monsoon climate in India. *Scientific Reports*, 15(1), 1637. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85437-w>
- Ridha, M. R., Yudhastuti, R., Notobroto, H. B., Hidajat, M. C., Diyanah, K. C., Jassey, B., & Rahmah, G. M. (s. f.). A systematic review of insecticide resistance in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) and implications for dengue control in Indonesia.
- Rahman, R. U., Souza, B., Uddin, I., Carrara, L., Brito, L. P., Costa, M. M., Mahmood, M. A., Khan, S., Lima, J. B. P., & Martins, A. J. (2021). Insecticide resistance and underlying targets-site and metabolic mechanisms in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from Lahore, Pakistan. *Scientific Reports*, 11(1), 4555. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83465-w>
- A I-Amin, H. M., Johora, F. T., Irish, S. R., Hossainey, M. R. H., Vizcaino, L., Paul, K. K., Khan, W. A., Haque, R., Alam, M. S., & Lenhart, A. (2020). Insecticide resistance status of *Aedes aegypti* in Bangladesh. *Parasites & Vectors*, 13(1), 622. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04503-6>
- Controlling Dengue Outbreaks | Learn Science at Scitable. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2025, de <https://www.nature.com/scitable/topicpage/controlling-dengue-outbreaks-22403714/>
- World Health Organization. (2020). Global strategy for dengue prevention and control 2012-2020. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/75303>
- Samiratou Ouédraogo, Tarik Benmarhnia, Emmanuel Bonnet, Paul-André Somé, Ahmed S. Barro, Yamba Kafando, Diloma Dieudonné Soma, & Roch K. Dabiré, Diane Saré, Florence Fournet, Valéry Ridde. (s. f.). Evaluation of Effectiveness of a Community-Based Intervention for Control of Dengue Virus Vector, Ouagadougou, Burkina Faso. Burkina Faso.
- Dusfour, I., Vontas, J., David, J.-P., Weetman, D., Fonseca, D. M., Corbel, V., Raghavendra, K., Coulibaly, M. B., Martins, A. J., Kasai, S., & Chandre, F. (2019). Management of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses: Advances and challenges. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 13(10), e0007615. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007615>

30. Gan, S. J., Leong, Y. Q., bin Barhanuddin, M. F. H., Wong, S. T., Wong, S. F., Mak, J. W., & Ahmad, R. B. (2021). Dengue fever and insecticide resistance in Aedes mosquitoes in Southeast Asia: A review. *Parasites & Vectors*, 14(1), 315. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04785-4>
- Eisen, L., Beaty, B. J., Morrison, A. C., & Scott, T. W. (2015). Proactive Vector Control Strategies and Improved Monitoring and Evaluation Practices for Dengue Prevention. *Journal of Medical Entomology*, 46(6), 1245-1255. <https://doi.org/10.1603/033.046.0601>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

