



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

La contribución de la Universidad Autónoma Metropolitana a este número temático sobre el dengue suma tres artículos con enfoque multidimensional e innovador, donde la salud pública se entrelaza con el rigor de las ciencias. En el texto de Roberto Bernal, se propone un acercamiento hacia el control de esta arbovirosis a través de una amalgama de innovadores y complejos modelos matemáticos para adelantarse a la propagación de brotes. En el artículo del grupo de Gustavo Cruz-Bello se enfatiza el entrelazamiento del cambio climático y el daño al medio ambiente con la progresión creciente de la enfermedad; se propone un interesante enfoque hacia el análisis regional del riesgo. Finalmente, en el grupo de Eduardo González Zamora se propone el desarrollo de herramientas moleculares para frenar el avance del virus del dengue dentro del cuerpo humano. La UAM se suma a los esfuerzos nacionales dirigidos al control de esta compleja enfermedad infecciosa.

En este número la UAM también visibiliza un gran ejercicio de conservación y recuperación de ecosistemas realizado por el grupo de Rurik List: la reintroducción y el incremento de manadas de bisonte americano en el norte del país, que ayudan a la restauración de los pastizales.

De este modo, nuestra Universidad mantiene su firme apoyo a la revista *Ciencia* y expone una muestra de su extraordinaria fortaleza en una diversidad de disciplinas.

DR. MARIO DE LEO WINKLER

Director de Comunicación del Conocimiento, UAM

Gustavo Manuel Cruz-Bello, José Mauricio Galeana-Pizaña y Aldo Daniel Jiménez-Ortega



El dengue y el cambio ambiental: una amenaza que crece

Resumen

El dengue es la infección viral transmitida por insectos más extendida del planeta. Su expansión en México está ligada a factores socioambientales, como el aumento de la temperatura, las lluvias y la deforestación, que favorecen a sus transmisores. El riesgo ha crecido a nivel territorial, extendiéndose a zonas más templadas y de mayor altitud debido a cambios en el clima y en el uso del suelo.

Abstract

Dengue is the most widespread insect-borne viral infection on the planet. Its expansion in Mexico is linked to socio-environmental factors such as rising temperatures, rainfall, and deforestation, which favor its transmitters. The risk has grown at a territorial level, extending to more temperate and higher-altitude zones due to changes in climate and land use.

El dengue, un problema creciente

El dengue es la infección viral transmitida por insectos más extendida del planeta. Según la Organización Mundial de la Salud, la mitad de la población mundial corre el riesgo de contagiarse; en particular, quienes habitan en regiones tropicales y subtropicales. Afecta a más de 100 países y a más de 50 millones de personas cada año. En México, principalmente durante la temporada de lluvias, miles de personas enferman y los hospitales reciben a pacientes con fiebre alta, dolor intenso y complicaciones que pueden poner en riesgo la vida si no se tratan a tiempo. Reportes médicos indican que en los últimos años los casos han aumentado de forma importante y, aunque históricamente el dengue se concentraba en regiones tropicales como Veracruz, Chiapas y Tabasco, en tiempos recientes ha comenzado a aparecer en zonas de mayor altitud, como el Estado de México, Puebla e incluso Sonora.

El virus que causa el dengue se transmite principalmente por mosquitos del género *Aedes*. Sin embargo, la distribución geográfica de los mosquitos no explica por sí sola por qué la enfermedad aparece en algunos lugares y no en otros, ni por qué el dengue ha aumentado y se ha extendido a nuevas regiones del país.

■ **El ambiente también enferma**

■ Cuando pensamos en el dengue, normalmente imaginamos mosquitos, piquetes y agua estancada. Sin embargo, la ciencia médica y ecológica demuestra que la propagación de esta enfermedad responde a una escala mucho mayor: la salud de los ecosistemas. El dengue no depende de un único factor, sino de una compleja red de condiciones ambientales en la que los cambios en el uso del suelo y en el clima desempeñan un papel determinante.

Modificar los entornos naturales, ya sea mediante la pérdida de bosques o la expansión urbana y agrícola, altera el equilibrio ecológico, eliminando depredadores naturales del vector y acercando a las poblaciones humanas a los mosquitos. Si a esto sumamos la variabilidad climática global, el riesgo se multiplica. Entender el dengue requiere, por lo tanto, una mirada socioambiental que reconozca que, cuando el territorio se degrada, las condiciones para la transmisión de enfermedades se vuelven propicias.

■ **En busca de la relación ambiente-dengue**

■ Para entender cómo influye el ambiente en la propagación del dengue, realizamos un estudio con datos de casos de dengue en todos los municipios del país, junto con información sobre la temperatura, la lluvia y la pérdida de bosques, de 2010 a 2020.

La información sobre dengue provino de registros hospitalarios, mientras que la de bosques se obtuvo a partir de imágenes satelitales que permiten detectar en qué lugares se ha perdido la cobertura forestal a lo largo del tiempo. También utilizamos datos de temperatura y de precipitación, porque estos factores influyen directamente en la reproducción de los mosquitos transmisores de la enfermedad.

Con toda esta información, elaboramos mapas y utilizamos modelos estadísticos que nos permiten observar cómo varía el riesgo de dengue entre regiones y a lo largo de los años. Con ellos identificamos qué factores están más relacionados con el aumento del dengue y en qué partes del país el riesgo ha crecido más. Es decir, combinamos información sobre la salud, el clima y los cambios en los bosques para entender mejor por qué el dengue se está expandiendo en México.

■ **Así influyen el clima y la deforestación en el dengue en México**

■ En términos generales, cuando un municipio pierde parte de su cobertura forestal, aumenta el riesgo de dengue. Esto ocurre porque la deforestación modifica el ambiente local: cambia la temperatura, la humedad y la forma en que las personas y los mosquitos interactúan en el territorio.

También encontramos que el clima desempeña un papel muy importante. Los años con temperaturas más altas y mayores precipitaciones registran más casos de dengue. La lluvia favorece la formación de charcos y depósitos de agua donde se reproducen los mosquitos, mientras que la temperatura influye en la velocidad a la que estos se desarrollan y transmiten el virus, lo que aumenta el riesgo de epidemia.

■ **Dónde está aumentando el riesgo**

■ Al elaborar mapas de riesgo de distintos años, encontramos que el dengue no se distribuye de manera uniforme en México, sino que existen regiones donde el riesgo es mucho mayor y que, además, ha ido aumentando con el tiempo.

Las zonas de mayor riesgo se concentran principalmente en las regiones tropicales y costeras del país, como la península de Yucatán, la costa del Golfo de México y la del Pacífico. Estas regiones presentan condiciones de temperatura y humedad que favorecen la reproducción del mosquito transmisor del dengue. Sin embargo, los mapas también muestran que el riesgo no se ha mantenido estático, sino que ha cambiado con los años.

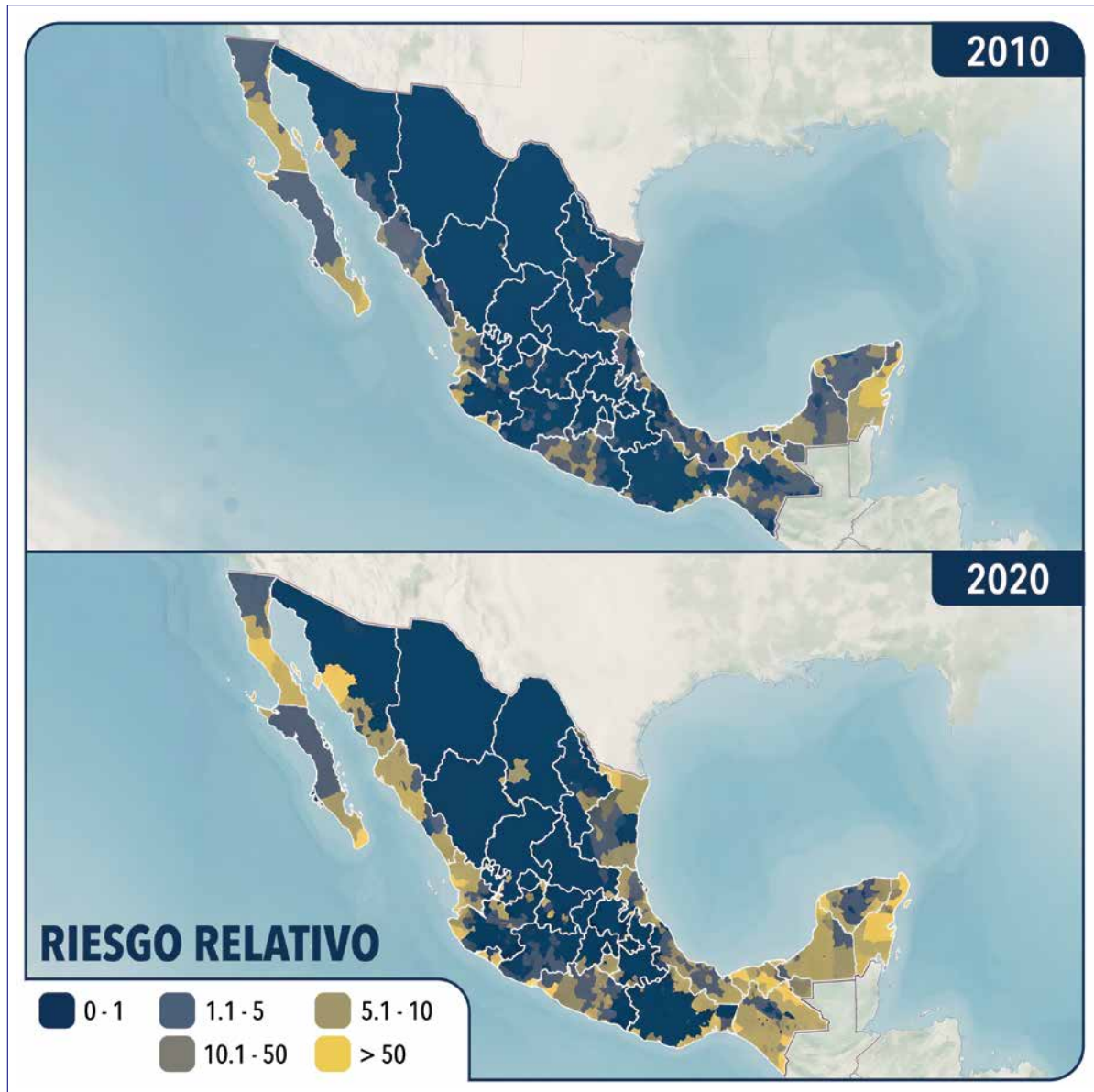


Figura 1. Riesgo relativo de infección por dengue en México en 2010 y 2020. Crédito: Gustavo Manuel Cruz-Bello.

Al comparar los mapas de diferentes periodos, observamos que entre 2015 y 2020 el riesgo de dengue aumentó en muchas regiones del país, incluso en lugares donde antes el problema era menor. Esto sugiere que el dengue se está expandiendo territorialmente, quizá como resultado de los cambios ambientales y territoriales antes mencionados.

Estos mapas identifican las zonas donde la población está más expuesta y en las que las autoridades de salud pueden enfocar sus acciones de prevención, como campañas de limpieza, control de mosquitos

y programas de salud pública. En otras palabras, los mapas de riesgo sirven como herramienta para anticipar dónde pueden ocurrir más casos de dengue en el futuro y para tomar decisiones que reduzcan el impacto de la enfermedad (Figura 1).

■ **Conclusión**

■ El dengue es una enfermedad que depende no sólo de los mosquitos y del virus, sino también del ambiente en el que vivimos. Factores como la temperatura,

la lluvia y la pérdida de bosques modifican geográficamente el riesgo de contagio. Esto nos demuestra que el dengue no debe entenderse únicamente como un problema médico, sino como un desafío socioambiental: la forma en que transformamos la agricultura, talamos los bosques o expandimos las ciudades influye directamente en la salud humana.

Entender esta compleja relación es fundamental para el futuro, especialmente en un contexto de cambio climático y de transformaciones aceleradas en el uso del suelo. La relevancia de combinar información sobre salud, clima y territorio radica en su aplicación práctica: permite identificar las zonas más vulnerables y diseñar mapas de riesgo para que las autoridades enfoquen sus esfuerzos de prevención de manera más efectiva.

Si queremos reducir el impacto de estas enfermedades, las campañas de salud pública ya no pueden depender únicamente de los hospitales y los medicamentos; deben integrarse con la planificación territorial y el cuidado de los ecosistemas. En última instancia, cuidar el ambiente también es una forma de cuidar nuestra propia salud.

Gustavo Manuel Cruz-Bello

Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa.
gcruz@cua.uam.mx

José Mauricio Galeana-Pizaña

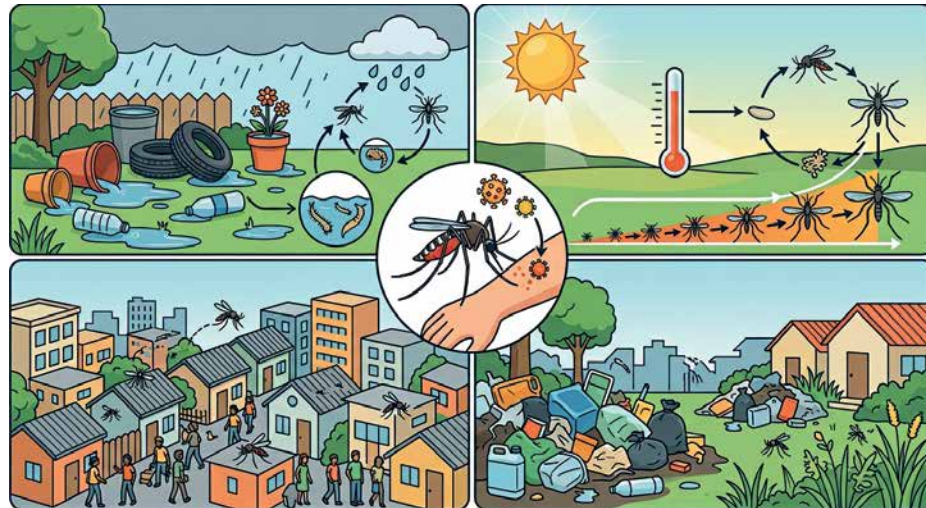
Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo).
mgaleana@centrogeo.edu.mx

Aldo Daniel Jiménez-Ortega

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo).
pd.ajimenez@centrogeo.edu.mx

Lecturas recomendadas

OMS (2023), “Dengue-Región de las Américas”, Organización Mundial de la Salud [en línea]. Disponible en: <<https://www.who.int/es/emergencias/disease-outbreak-news/item/2023-DON475>>, consultado el 2 de junio de 2026.



Yorhly A. Amador-Sánchez, Alejandro Islas-Jácome y Eduardo González-Zamora



Legos químicos: diseñando armas invisibles contra el dengue

Resumen

El dengue es una enfermedad viral transmitida por mosquitos, principalmente en zonas tropicales. Investigadores de la UAM combaten este reto mediante el uso reacciones de multicomponentes y herramientas computacionales. Este método permite diseñar moléculas bioactivas o “armas invisibles” para neutralizar virus como el dengue, el zika, el SARS-CoV-2, y otras enfermedades como el cáncer, optimizando recursos.

Abstract

Dengue is a viral disease transmitted by mosquitoes mainly in tropical areas. Researchers from the UAM are tackling this challenge through the use of multicomponent reactions and computational tools. This method allows for the design of bioactive molecules or “invisible weapons” to neutralize viruses like dengue, Zika, SARS-CoV-2, and other diseases like cancer, optimizing resources.

Un enemigo en expansión

El dengue es una enfermedad que va en aumento. Cada año, millones de personas se enferman en distintas partes del mundo, sobre todo en zonas tropicales. Esto se debe, en parte, a que el mosquito que lo transmite, *Aedes aegypti*, se ha expandido debido a factores como el cambio climático, el crecimiento de las ciudades y los viajes entre países. A pesar de los esfuerzos para prevenirlo, el dengue sigue siendo un problema importante de salud. Hoy en día no existen medicamentos ni vacunas realmente efectivos para tratarlo, lo que hace urgente encontrar nuevas soluciones. Pero ¿cómo se puede combatir algo tan pequeño como un virus? La respuesta está, en parte, en la química.

Cuando el virus del dengue entra a nuestro cuerpo, invade nuestras células y las utiliza como si fueran una fábrica para producir más virus. Para lograrlo, necesita ciertas “herramientas” internas. Una de las más importantes es una especie de “tijera molecular” llamada NS3. Esta herramienta le permite al virus cortar y orga-

nizar sus propias piezas para poder multiplicarse. Si lográramos desactivar esa “tijera”, el virus no podría replicarse. Por eso, una estrategia muy prometedora es diseñar y fabricar nuevas moléculas que funcionen como obstáculos, capaces de impedir que esta “tijera” haga su trabajo.

Objetivos de la investigación

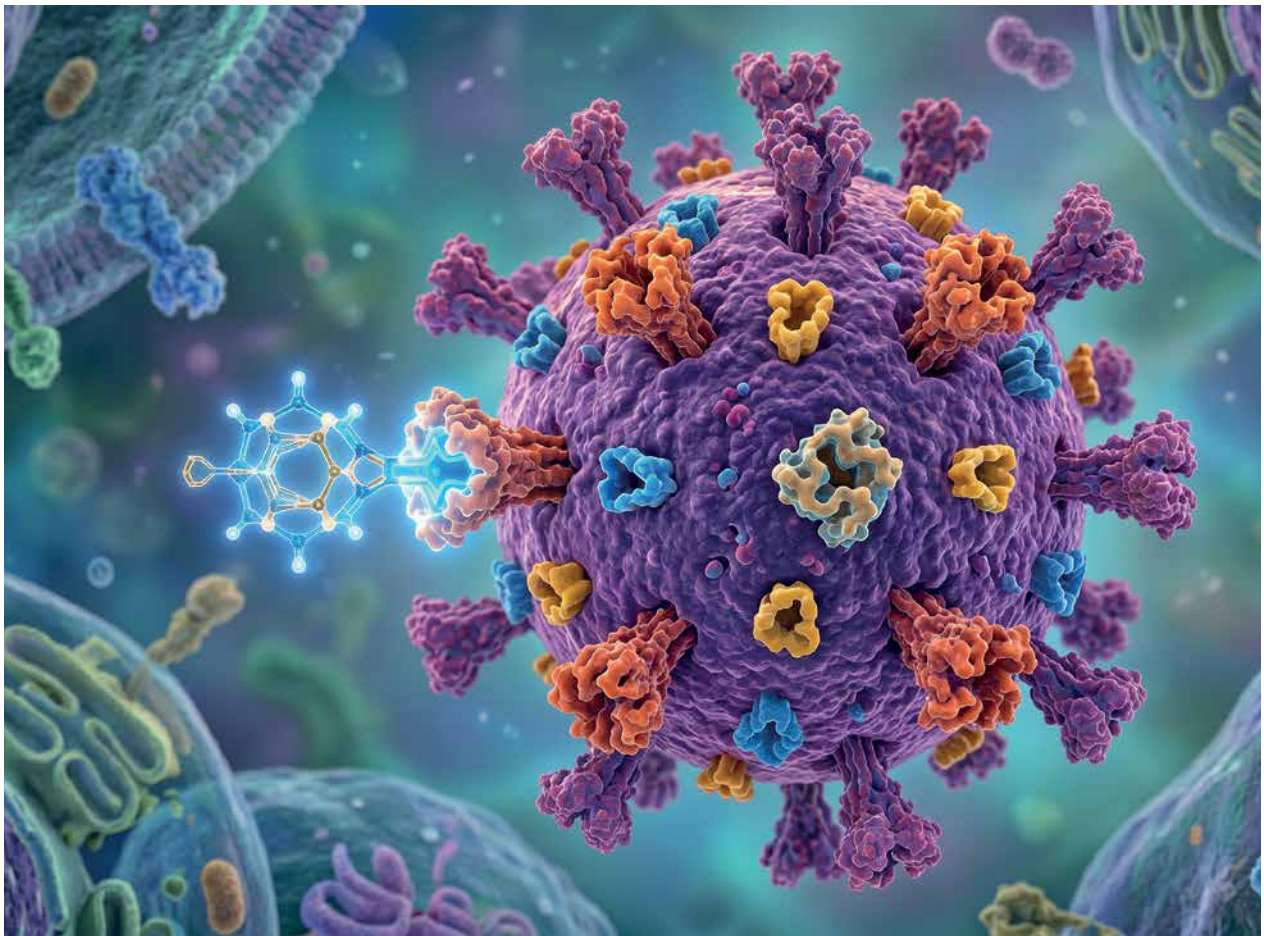
En nuestro trabajo partimos de una idea sencilla pero poderosa: si logramos bloquear alguna de las “herramientas” que el virus necesita para multiplicarse, podríamos frenar su avance dentro del cuerpo humano. Para ello, diseñamos una serie de armas invisibles –“moléculas especiales”– que actúan como bloqueadores del virus. Aunque sus nombres químicos son complejos, podemos imaginarlas como pequeñas piezas construidas a medida para cumplir una función específica. Una forma útil de entenderlo

es pensar en una llave y una cerradura. El virus tiene partes con formas muy específicas, como cerraduras, y sólo ciertas moléculas pueden encajar en ellas. Si se logra diseñar y fabricar la “llave” correcta, se puede impedir que el virus utilice esa parte esencial y, con ello, evitar que continúe replicándose.

Pero ¿cómo se construyen estas “llaves”? Aquí es donde entra una de las ideas más interesantes de nuestro trabajo. En lugar de fabricar cada molécula paso a paso, se utiliza una estrategia que se parece mucho a armar algo con piezas de Lego o a seguir una receta de cocina (Figura 1). Se mezclan varios ingredientes sencillos agregándolos uno tras otro, y, en un mismo proceso, se ensamblan esos bloques para formar una estructura más compleja. Este tipo de procesos se conocen como **reacciones de multicomponentes**, los cuales permiten generar rápidamente muchas moléculas diferentes sin necesidad de procesos adicionales, largos o complicados. Es como

Reacciones de multicomponentes

Reacción química en la que tres o más sustancias simples se combinan en un solo proceso para formar una molécula más compleja. Puede compararse con armar una figura de Lego utilizando varias piezas al mismo tiempo, en lugar de construirla paso a paso.



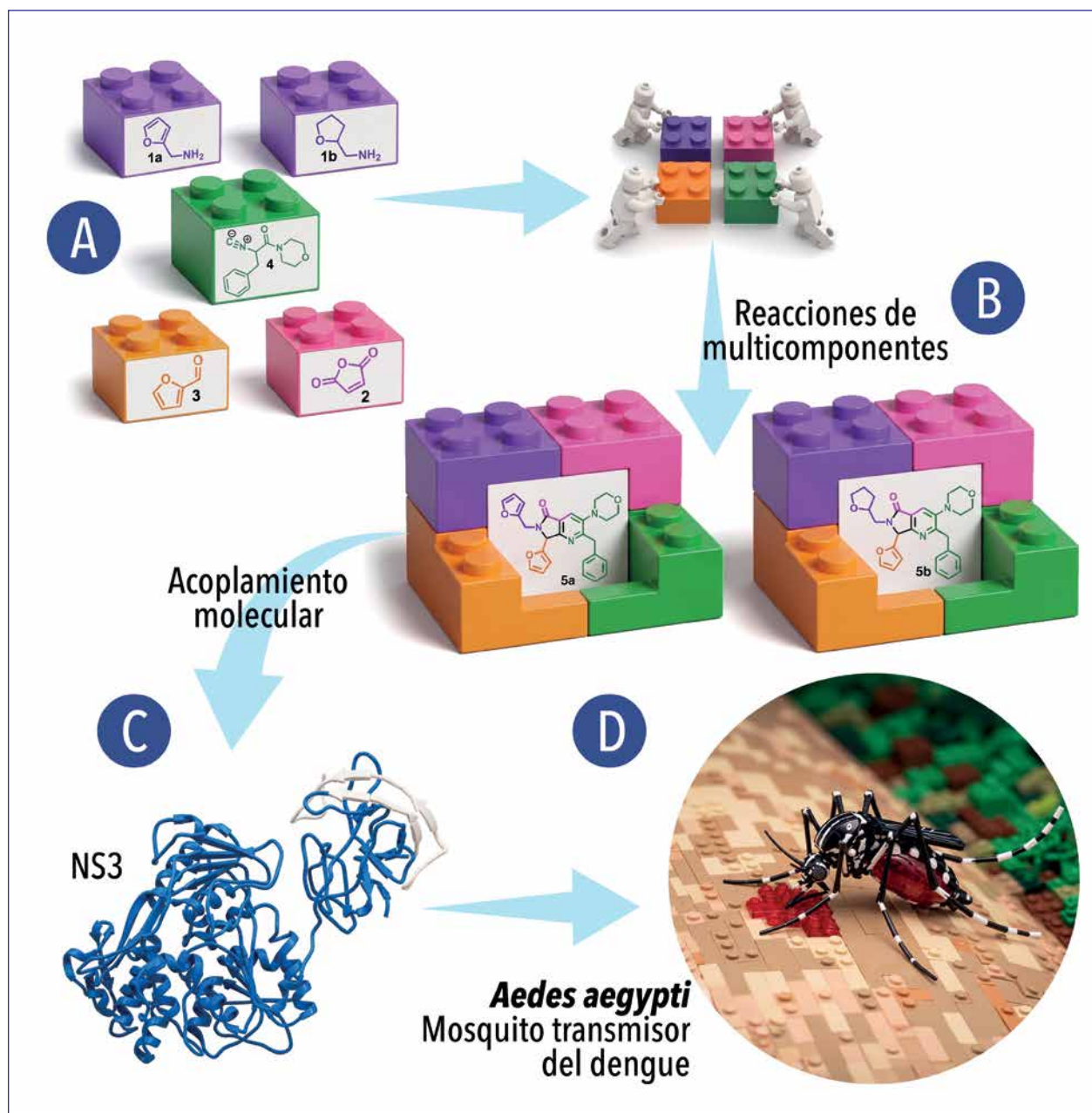


Figura 1. De la fabricación a la inhibición viral: diseño de armas invisibles (moléculas) contra el dengue mediante reacciones de multicomponentes. A) Bloques iniciales representados como piezas tipo Lego. B) Ensamblaje de estas piezas para formar las armas invisibles 5a y 5b. C) Proteína NS3 del virus del dengue, esencial para su replicación. D) Mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del dengue. Créditos de imagen: diseño y elaboración propia de los autores y Joaquín González Vázquez, con apoyo de la inteligencia artificial.

tener una cocina donde, con los mismos ingredientes básicos, se pueden preparar muchos platillos distintos simplemente cambiando las combinaciones. Gracias a este enfoque, hemos podido explorar una gran variedad de “llaves” moleculares y analizar cuál de ellas se ajusta mejor a la “tijera” del virus. Esto es importante porque, en el mundo de la química, pe-

queños cambios en la estructura pueden tener grandes consecuencias en su funcionamiento. Al evaluar estas moléculas, se encontró que algunas funcionaban mejor que otras.

En particular, dos de ellas, a las que nombramos como 5a y 5b, destacaron por su capacidad para reducir la replicación del virus dentro de las células.

La molécula 5a fue la más efectiva, pues con ella se logró disminuir de manera notable la actividad del virus, mientras que 5b también mostró un efecto importante, aunque ligeramente menor. Además, estas moléculas no sólo redujeron la señal que utilizamos para medir la actividad viral, también disminuyeron de manera directa la cantidad de virus presente en un paciente. Esto es clave, porque indica que esas armas invisibles (5a y 5b) realmente están interfiriendo en el proceso de multiplicación del virus, y no sólo produciendo un efecto indirecto. Para entender por qué algunas moléculas funcionan mejor que otras, utilizamos herramientas computacionales que permiten simular lo que ocurre a nivel molecular. Estas simulaciones son como una especie de “lupa digital” para observar cómo las armas invisibles se acercan, se acomodan y se ajustan dentro de la “tijera” del virus.

Gracias a estos estudios apoyados en el uso de computadoras fue posible entender que las moléculas más efectivas son aquellas que logran trabajar mejor con la “tijera” del virus, formando interacciones más estables, como una llave que entra perfectamente en una cerradura y que se mantiene en su lugar. En cambio, otras moléculas, aunque muy parecidas, no logran trabajar igual de bien, y, por eso, no funcionan de la misma manera. Otro aspecto interesante es que estas moléculas tienen diferentes “zonas” con propiedades distintas. Algunas zonas se sienten más cómodas en ambientes similares al aceite (grasos), mientras que otras prefieren el agua. Esta combinación es importante porque el interior de las proteínas del virus también tiene regiones con estas características, lo que permite que las moléculas se adapten mejor a su entorno.

En conjunto, todos estos resultados demuestran algo muy importante: en el mundo molecular, los detalles lo son todo. Cambios muy pequeños en la forma de una molécula pueden marcar la diferencia entre que algo funcione o no, y entender estos detalles permite el diseño y fabricación de nuevas estrategias para combatir enfermedades como el dengue.

■ **Más allá del laboratorio: ¿por qué importa esto?**

■ Aunque estos compuestos aún están lejos de convertirse en medicamentos, representan un paso importan-

te en la lucha contra el dengue. Este tipo de investigaciones demuestran que es posible diseñar moléculas específicas contra virus, identificar puntos clave donde atacarlos y acelerar el desarrollo de nuevos tratamientos con ayuda de herramientas computacionales. El dengue no es sólo un problema científico, sino también social. En países como México, cada año se registran miles de casos, especialmente en regiones tropicales del sureste, donde las condiciones favorecen la reproducción del mosquito transmisor. En muchas de estas zonas, el acceso a servicios de salud es limitado, lo que puede agravar las consecuencias de la enfermedad. Por ello, desarrollar nuevos medicamentos no es sólo un desafío científico, sino una necesidad. A largo plazo, este tipo de investigaciones podrían contribuir a reducir la presión sobre los sistemas de salud, mejorar la respuesta ante nuevos brotes, y ofrecer nuevas opciones para proteger a las poblaciones más vulnerables. En este contexto, la química no sólo se utiliza para diseñar y fabricar nuevas moléculas, sino que también abre la puerta a soluciones que pueden mejorar la salud y la calidad de vida de muchas personas.

■ **Conclusión: diseñar el futuro, molécula a molécula**

■ La lucha contra el dengue requiere nuevas estrategias y la química ofrece una de las más prometedoras: diseñar moléculas capaces de bloquear las “herramientas” que el virus necesita para multiplicarse. Mediante el uso de reacciones de multicomponentes, similares a un ensamblaje tipo Lego, es posible construir de forma rápida esas armas invisibles con potencial actividad antiviral. Aunque aún falta camino para que estas moléculas se conviertan en medicamentos, este trabajo muestra que es posible avanzar hacia nuevas soluciones, combinando experimentos y herramientas computacionales.

En países como México, donde el dengue es un problema recurrente, este tipo de investigaciones resulta especialmente relevante. En última instancia, cada molécula diseñada y fabricada representa un paso más hacia el desarrollo de estrategias más efectivas para controlar esta enfermedad. Todas las investigaciones presentadas en el artículo se realizan

en el Laboratorio de Química Orgánica, Óptica y Fármacoquímica dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa a cargo de los profesores Yoarhy A. Amador-Sánchez, Alejandro Islas-Jácome y Eduardo González-Zamora.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los participantes del manuscrito "In Vitro and In Silico Studies of Bis-furyl-pyrrolo[3,4-b]pyridin-5-ones on Dengue Virus", publicado en el *Journal of the Mexican Chemical Society* (2024, 68(1):170-183), por su valiosa contribución en el desarrollo experimental y generación de resultados. Asimismo, se reconoce el apoyo institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, por proporcionar las facilidades para la realización de esta investigación. Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el apoyo al proyecto de ciencia básica CBF-2025-I-3043.

Yoarhy A. Amador-Sánchez

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
yoarhy@xanum.uam.mx

Alejandro Islas-Jácome

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
aislas@izt.uam.mx

Eduardo González-Zamora

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
egz@xanum.uam.mx

Lecturas recomendadas

- Amador-Sánchez, Y. A., R. E. Blanco-Carapia, J. C. Flores-Reyes *et al.* (2025), "Química de multi-componentes: Iluminando el futuro con materiales fluorescentes", *Materiales Avanzados*, 5(8):70-76. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/iim.rma.2025.7.155>.
- Amautas (s. f.), "La síntesis orgánica y su papel en la industria química", *Amautas* [en línea]. Disponible en: <https://amautas.com/la-sintesis-organica-y-su-papel-en-la-industria-quimica/>, consultado el 2 de junio de 2026.
- Narro-Robles, J. y H. Gómez-Dantés (s. f.), "El dengue en México: un problema prioritario de salud pública", *Revista de Salud Pública de México* [en línea]. Disponible en: <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/4560/5012>, consultado el 2 de junio de 2026.
- National Geographic Latinoamérica (2024), *¿Qué es el dengue, cómo se contagia y cuánto duran los síntomas?* <https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2024/12/que-es-el-dengue-como-se-contagia-y-cuanto-duran-los-sintomas>.
- Novartis (2021), "5 pasos para desarrollar un medicamento", Novartis [en línea]. Disponible en: <https://www.novartis.com/es-es/stories/5-pasos-para-desarrollar-un-medicamento>, consultado el 2 de junio de 2026.
- Wikipedia (2026), "Descubrimiento de fármacos". Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Descubrimiento_de_f%C3%A1rmacos, consultado el 2 de junio de 2026.

Roberto Bernal Jaquez

Ecuaciones contra mosquitos: las matemáticas también son útiles para su control

Resumen

En muchos lugares de México, unas llantas abandonadas pueden convertirse en un reservorio para el dengue. Aquí te contamos cómo la lluvia, los mosquitos y la movilidad se conectan. Las matemáticas, las redes complejas y las redes neuronales ayudan a anticipar riesgos y a tomar mejores decisiones de salud pública. Así, una ecuación puede mirar donde el ojo no alcanza para salvar vidas.

Abstract

In many places in Mexico, abandoned tires can become a reservoir for dengue. In this article we describe how rain, mosquitoes, and mobility connect. Mathematics, complex networks, and neural networks help anticipate risks and make better public health decisions. Thus, an equation can give clarity where the eye cannot reach to save lives.

Introducción: los detectives de lo invisible

Imagina que eres un detective en una ciudad donde se está cometiendo un “crimen” biológico a gran escala. El culpable es minúsculo: el mosquito *Aedes aegypti*. No deja huellas dactilares, no tiene un patrón de ataque obvio a simple vista y se aprovecha de algo que todos hacemos: movernos y vivir.

Para combatirlo, la medicina y la biología son fundamentales; pero hay un aliado silencioso que ofrece una perspectiva distinta: las matemáticas. Mientras el médico cura al paciente, el matemático intenta entender el sistema. Para nosotros, la propagación del dengue no es una serie de eventos fortuitos, sino un conjunto de engranajes que se mueven siguiendo reglas lógicas. Si logramos traducir esas reglas al lenguaje de la matemática, podremos predecir el siguiente movimiento del enemigo. Este artículo es una invitación a mirar a través de los ojos de una persona experta en matemática para entender cómo desentrañamos la propagación de una enfermedad.



Objetivos

El objetivo principal es construir una herramienta que ayude a anticipar escenarios de riesgo de dengue. Para ello, se busca identificar qué factores pesan más en un brote: temperatura, lluvia, acumulación de agua, presencia de mosquitos, densidad de población y movimiento de personas entre colonias o ciudades.

El segundo objetivo es construir un simulador de futuro: un modelo capaz de predecir brotes –colonia por colonia– con suficiente anticipación para actuar.

El tercer objetivo es apoyar decisiones de salud pública. Si los recursos son limitados, conviene dirigirlos a los puntos donde pueden tener mayor efecto. Un **modelo matemático** bien alimentado con datos ayuda a decidir dónde reforzar campañas, cuándo fumigar y qué zonas requieren atención especial.

Metodología: ¿cómo se construye un motor de contagio?

Para un matemático, el contagio del dengue es un proceso de transferencia. No es que las personas se pasen el virus unas a otras como ocurre con la gripe; existe un intermediario con alas. Ahí es donde nuestras ecuaciones empiezan a dibujar el “motor” del problema.

Para estudiarlo, las matemáticas simplifican la realidad sin perder lo esencial. Una forma de hacerlo es dividir a la población en **compartimentos**: personas que pueden enfermarse, personas infectadas y personas recuperadas. Algo similar se hace con los mosquitos: algunos no portan el virus y otros sí pueden transmitirlo.

Cuando un mosquito pica a alguien infectado, el virus debe desarrollarse dentro del insecto antes de poder transmitirse. Si el mosquito sobrevive el tiempo

Compartimentos

Grupos de personas con el mismo estado frente a la enfermedad (sanas, infectadas, recuperadas) que los modelos usan para contar cuántos hay en cada categoría y a qué velocidad pasan de una a otra.

Modelo matemático

Representación simplificada de un problema real mediante números, relaciones y reglas que permiten entenderlo y hacer predicciones.

Criadero

Lugar donde el mosquito puede poner sus huevecillos y reproducirse, generalmente en agua estancada o acumulada.

suficiente, puede contagiar a alguien más. Nuestras ecuaciones “cuentan” ese tiempo con precisión: si el mosquito muere antes de que el virus alcance sus glándulas salivales, la cadena se rompe.

El clima también entra en el modelo. La lluvia genera **criaderos**, mientras que la temperatura modifica la vida del mosquito y la velocidad con la que el virus se desarrolla. Para capturar esta influencia, integramos modelos de inteligencia artificial: **redes neuronales** que ayudan a encontrar patrones en grandes cantidades de datos. Aprenden de los datos de lluvia, temperatura, humedad y reportes de casos para detectar señales tempranas. No “adivinan” el futuro, pero reconocen condiciones parecidas a las que antes acompañaron un aumento de casos.

Simulación estocástica

Ensayo por computadora de distintos escenarios posibles que incluye el azar, reconociendo que en la vida real los eventos no siempre ocurren exactamente igual.

Las redes neuronales con memoria larga a corto plazo (en inglés, *long short-term memory* o LSTM) aprenden los patrones históricos del clima y proyectan su comportamiento futuro, alimentando las ecuaciones del modelo epidemiológico.

Las personas, además, no se quedan quietas. Viajamos al trabajo, a la escuela o a visitar familiares. Si una persona infectada viaja de la zona A a la zona B, donde no hay casos, pero sí hay mosquitos, puede iniciar un nuevo brote. Para capturar esta dinámica usamos **redes complejas**: mapas matemáticos donde cada colonia es un punto y cada ruta –medios masivos de transporte, carretera, camino vecinal– es una conexión. El modelo calcula el flujo de personas y nos advierte dónde el virus podría viajar con ellas, identificando los nodos más críticos: mercados, terminales de transporte, espacios donde la densidad de mosquitos transmisores (también llamados “vectores”) y el flujo humano crean el caldo de cultivo perfecto para un brote.

Red compleja

Forma de representar muchos elementos conectados, como colonias, rutas, personas o lugares de una ciudad, para estudiar cómo fluye información o enfermedad entre ellos.



conectados y estudiar cómo se propaga el dengue de un lugar a otro.

Para probar qué estrategias funcionan mejor, recurrimos a la **simulación estocástica**; esto es, en nuestras computadoras creamos miles de “ciudades virtuales”, copias digitales de la realidad. En un universo virtual no hacemos nada; en otro fumigamos el 20% de las casas; en otro simulamos una ola de calor extrema. Al comparar estos universos paralelos, las matemáticas nos dicen cuál estrategia tiene mayor probabilidad de éxito.

El equipo humano de Modelación Matemática, Redes Complejas e Inteligencia Artificial para Salud Pública de la UAM busca construir herramientas que traduzcan datos en alertas útiles, comprensibles y oportunas.

Innovación: redes, datos e inteligencia artificial desde la UAM

En la UAM se realiza investigación en modelos matemáticos aplicados a salud pública, incluyendo el uso de redes complejas y redes neuronales. Las redes complejas permiten representar colonias, rutas, escuelas, mercados o zonas de trabajo como puntos

Incidencia social: de los números a la calle

El impacto de este trabajo es directo y tangible. Las matemáticas transforman la incertidumbre en estrategia. En lugar de lanzar insecticida por toda la ciudad –lo cual es costoso, contamina y genera resistencia en los mosquitos–, el modelo produce un “mapa de calor”. Las autoridades envían sus brigadas sólo a

las manzanas “calientes” donde el motor de contagio está a punto de encenderse, lo cual hace posible una fumigación inteligente, no fumigación masiva.

La utilidad de estos modelos no está sólo en la computadora, está en la calle. Si un modelo señala que una zona tiene alto riesgo, las autoridades pueden organizar campañas de limpieza, fumigación focalizada o comunicación preventiva antes de que aumenten los casos.

Los modelos también ayudan a las familias, mostrando qué acciones pequeñas pueden tener consecuencias grandes: retirar una llanta, tapar un tinaco, lavar un recipiente o voltear una cubeta no son detalles menores, son formas de cortar una cadena de transmisión.

Al predecir con semanas de antelación, los hospitales pueden prepararse, asegurar insumos y camas, y lanzar campañas de comunicación dirigidas. Las matemáticas dan confianza a quienes toman decisiones para actuar con firmeza.

■ **Conclusión: tu papel en la ecuación**

■ El combate al dengue no empieza únicamente en los hospitales. Muchas veces empieza en lugares cotidianos: un patio, una azotea, una llanta olvidada después de la lluvia. Las matemáticas permiten unir esas piezas y ver el patrón completo.

Una lluvia en un barrio, un viaje en autobús y la temperatura de una tarde se unen para formar un patrón que las ecuaciones pueden leer. Entender que las matemáticas son herramientas para salvar vidas cambia nuestra perspectiva de la ciencia: no son fórmulas en un pizarrón, son el lenguaje con el que podemos proteger a nuestra comunidad y ganar la batalla contra el mosquito.

Cuando ciencia, comunidad y salud pública trabajan juntas, una ecuación deja de ser algo lejano: se convierte en una herramienta para cuidar la vida.

Roberto Bernal Jaquez

Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa.

rbernal@cua.uam.mx

Lecturas recomendadas

Bonfil Olivera, M. (2001), “Modelos científicos”, *¿Cómo ves?*, 37, Divulgación de la Ciencia, UNAM [en línea]. Disponible en: <https://www.comoves.unam.mx/numeros/ojodemosca/37>, consultado el 3 de junio de 2026.

Castillo, N. (2013), “Redes sociales, nuevas herramientas para estimar el riesgo de epidemias”, *Ciencia UNAM* [en línea]. Disponible en: https://ciencia.unam.mx/leer/295/Redes_sociales_nuevas_herramientas_para_estimar_el_riesgo_de_epidemias, consultado el 3 de junio de 2026.

Olgún Lacunza, M. A. (2020), “Los modelos matemáticos son herramientas que pueden servir para diseñar políticas públicas y tomar decisiones que a veces son difíciles”, Instituto de Matemáticas, UNAM [en línea]. Disponible en: <https://www.matem.unam.mx/acerca-de/noticias/los-modelos-matematicos-son-herramientas-que-pueden-servir-para-diseñar-políticas-públicas-y-tomar-decisiones-que-a-veces-son-difíciles>, consultado el 3 de junio de 2026.

OMS (2024), “Dengue y dengue grave”, Organización Mundial de la Salud [en línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>, consultado el 3 de junio de 2026.

Secretaría de Salud (2016), “Dengue y las medidas preventivas”, Gobierno de México [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/articulos/dengue-y-las-medidas-preventivas>, consultado el 3 de junio de 2026.

UNAM-DGCS (2020), “Los patógenos se mueven con la gente por las rutas de transporte, las matemáticas son capaces de explicar cómo se dispersan los virus”, Instituto de Matemáticas, UNAM [en línea]. Disponible en: <https://www.matem.unam.mx/acerca-de/noticias/los-patogenos-se-mueven-con-la-gente-por-las-rutas-de-transporte-las-matematicas-son-capaces-de-explicar-como-se-dispersan-los-virus>, consultado el 3 de junio de 2026.

World Mosquito Program (s. f.), “Dengue”, World Mosquito Program [en línea]. Disponible en: <https://www.worldmosquitoprogram.org/es/dengue>, consultado el 3 de junio de 2026.

Rurik List, Alejandra Espinosa y Christian Javier Prado Hernández

La reintroducción del bisonte y la restauración de los pastizales en México

Resumen

El bisonte americano, especie nativa extinguida en México en el siglo XIX, ha sido reintroducido en el norte del país desde 2009. Actualmente existen cuatro manadas de conservación, con el propósito de restaurar las funciones ecológicas que estos mamíferos tuvieron en el pasado y que se espera contribuyan a la restauración de los pastizales, así como a recuperar la relación biocultural que tuvieron con pueblos originarios.

Abstract

The American bison, a native species that went extinct in Mexico in the 19th century, has been reintroduced to the north of the country since 2009. Currently, there are four conservation herds, with the purpose of recovering the ecological functions that these mammals had in the past and which are expected to contribute to the restoration of the grasslands, as well as to the rescue of the biocultural relationship they had with indigenous peoples.

Introducción

El bisonte americano (*Bison bison*) es parte de la fauna original de los estados del norte de México; sin embargo, se extinguió de nuestro país en la segunda mitad del siglo XIX. A lo largo del tiempo se fueron importando bisontes de los Estados Unidos a los zoológicos y ranchos privados de nuestro país, como animales de ornato mantenidos en áreas cercadas reducidas. Recientemente, México se unió a un esfuerzo para la recuperación continental del bisonte. Con la colaboración entre la academia, el gobierno y organizaciones civiles, en el 2009 se trajeron 23 bisontes del Parque Nacional de Wind Cave en Dakota del Sur, Estados Unidos, para formar una manada de conservación en la Reserva de la Biosfera Janos, Chihuahua, con la idea de regresar esta especie a los pastizales donde habitaba históricamente.



Un tercio de la superficie terrestre está ocupada por pastizales nativos, ecosistemas donde los pastos y hierbas son la vegetación dominante y puede haber algunos árboles y arbustos aislados o estar completamente abiertos. Estos ecosistemas suelen estar sobre suelos profundos, fértiles, por lo que en la época de lluvia hay un gran crecimiento de **biomasa**; prácticamente todo el suelo está cubierto de alimento para los herbívoros. Gracias a esto, las mayores concentraciones y migraciones de mamíferos terrestres grandes se han dado en los pastizales; la más notable fue la del bison americano, pero fueron cazados casi hasta la extinción y quedaron menos de 1 000 individuos a finales del siglo XIX.

Los pastizales son de los ecosistemas más amenazados y menos protegidos globalmente. Al ser reemplazados los grandes herbívoros por ganado, muchos sitios con pastizal se están degradando por el sobrepastoreo del ganado vacuno. Debido a la fertilidad

de sus suelos, los pastizales se están perdiendo a una velocidad alarmante, al ser convertidos en tierras agrícolas o debido a la expansión de las zonas urbanas y la **fragmentación** del paisaje por carreteras y cercos ganaderos que limitan el movimiento de la fauna silvestre. En conjunto, estos problemas han causado la reducción de la biodiversidad y han acercado a muchas especies a la extinción.

Como consecuencia del incremento en la temperatura y en la duración de los periodos de sequía, se seca mucho la vegetación, lo que a su vez aumenta la frecuencia e intensidad de incendios devastadores; los bosques en todo el mundo se están quemando, liberando a la atmósfera el carbono almacenado en la madera. En cambio, los pastizales evolucionaron con la presencia del fuego como un factor de la dinámica ecológica que ayuda a mantenerlos como ecosistemas abiertos. En éstos, la mayor parte de la biomasa es subterránea, se encuentra almacenada en

Fragmentación

Proceso por el cual los ecosistemas se dividen en fragmentos más pequeños que soportan menos especies.

Biomasa

Materia orgánica (plantas, animales, microorganismos y sus restos) compuesta por carbono capturado del aire. En los pastizales, la biomasa subterránea retiene ese carbono, incluso cuando ocurren incendios.

el complejo sistema de raíces, de forma que cuando un incendio arrasa un pastizal, solamente se quema la parte de la vegetación que está sobre el suelo, que se renueva en la primera temporada de lluvias, mientras la mayor parte del carbono queda protegido en la biomasa del suelo.

Biocultural
Interdependencia entre la biodiversidad y las culturas, resultado de la interacción a lo largo del tiempo.

El bisonte es el mayor mamífero terrestre del continente, y después de la llegada de los europeos a América, se estima que habitaban alrededor de 30 millones de bisontes. La combinación de su tamaño, capacidad de desplazamiento y número de individuos ha influido en los pastizales de forma extraordinaria: aumentaban la biodiversidad, cambiaban los patrones de incendios naturales y daban sustento e identidad cultural a los habitantes originales de estas regiones. Es por esto que nuestro grupo decidió trabajar con el bisonte en México.

Objetivos del trabajo

Un objetivo del Área Académica en Biología de la Conservación de la UAM Lerma es impulsar la recuperación del bisonte como una estrategia para contribuir a la restauración de los pastizales del norte de México. Esto requiere de la **reintroducción** de bisontes dentro del área que ocuparon históricamente en el país y de la investigación sobre los efectos que las actividades de los bisontes generan en los ecosistemas a lo largo del tiempo. También nos interesa reconectar a la gente con el bisonte, particularmente a los grupos originarios que interactuaron con ellos a lo largo de cientos o miles de años.

Reintroducción
Proceso de regresar a los individuos de una especie a un lugar del cual desaparecieron.

Métodos de investigación

Realizamos una revisión de los estudios que han evaluado el efecto de los bisontes en los ecosistemas en los que habitan, para determinar los efectos que potencialmente se podrán observar en los ecosistemas de México tras su reintroducción. Promovemos y participamos de los esfuerzos de reintroducción de bisontes en distintos sitios, para dar seguimiento a los cambios que sucedan tras el regreso de manadas de bisontes. También revisamos la literatura y entrevistamos gente de la nación N'dee/N'nee/Ndé,

llamados “apaches” por los colonizadores, para documentar la importancia cultural que tuvo el bisonte para ellos. Facilitamos el contacto entre los sitios de reintroducción y los N'dee/N'nee/Ndé para contribuir a la recuperación de la relación **biocultural** con esta especie.

Innovación

Como resultado de un importante esfuerzo de colaboración y derivado de los 23 bisontes originales, en México existen ya cuatro manadas de conservación, las primeras en el país, que mantienen alrededor de 438 individuos en Janos, Chihuahua; 140 en Maderas del Carmen, Coahuila, y en el último año se formaron dos manadas más: una en Cuatrociénegas, Coahuila, con 44 bisontes, y otra en Cuenca Los Ojos, en Agua Prieta, Sonora, con 29 bisontes, que en conjunto están utilizando alrededor de 50 000 hectáreas de pastizales y matorrales. Esto representa un logro notable para la conservación de la biodiversidad en México y un gran avance hacia la recuperación biocultural del bisonte.

El cambio climático requiere acciones urgentes para reducir los gases en la atmósfera que lo causan, principalmente el carbono. La conservación de pastizales que aún se encuentran en buen estado y la restauración de los que se han degradado ayuda a almacenar el carbono en el sistema de raíces de los pastizales. Al reintroducir bisontes, regresan funciones (**Figura 1**) que se perdieron de estos ecosistemas. Ayudan a dispersar las semillas que se pegan en el pelo de estos mamíferos. Su excremento, orina y cadáveres fertilizan el suelo, ayudando al crecimiento de los pastos. Se alimentan de nopales, que han proliferado por la ausencia de herbívoros nativos que los consumían, con lo que abren el pastizal. De forma similar, se frotan contra los arbustos y árboles, derribándolos, y con ello mantienen el pastizal como un ecosistema abierto. Sus excrementos son aprovechados por los escarabajos peloteros, que los entierran y con ello almacenan en el suelo el carbono contenido en estos desechos orgánicos. Al revolcarse para darse baños de tierra los bisontes crean depresiones donde



Figura 1. Las actividades de los bisontes, como: *a)* revolcarse; *b)* rascarse contra árboles y arbustos; *c)* pastar; *d)* alimentarse de forma selectiva; *e)* beber, y *f)* pisotear la vegetación, modifican a las especies que se encuentran en esos lugares y el funcionamiento de los ecosistemas. Además, los bisontes contribuyen a: *g)* dispersar semillas; *h)*, *i)* y *j)* reciclar los nutrientes; *k)* crear hábitat, así como a *l)* y *m)* proveer recursos a otras especies. Ilustración basada en fotos de Rurik List, con diseño de Karla Pelz Serrano y diseño gráfico de Joaquín González Vázquez y asistencia de inteligencia artificial.

durante las lluvias se acumula el agua, favoreciendo la presencia de animales que requieren de los charcos. Por esto, la reintroducción del bisonte en México es una estrategia innovadora para restaurar los pastizales; su futuro es prometedor y se está despertando un entusiasmo por este carismático mamífero. Para que persista, se requiere mantener los pastizales existentes

y regresar a su condición de pastizal a las grandes extensiones que han sido invadidas por matorrales. De hecho, el mismo bisonte contribuye a esta reconversión mediante sus actividades. Necesitamos evaluar periódicamente los cambios en los ecosistemas para conocer qué está pasando e intervenir oportunamente si se requieren acciones de manejo.

■ Incidencia social

■ Ante la crisis que enfrenta la biodiversidad, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo del 2021 al 2030 la Década de la Restauración Ecológica y 2026 como el Año Internacional de los Pastizales y los Pastores, por lo que el trabajo de reintroducción de bisontes encaja perfectamente en ambas prioridades reconocidas globalmente, y confiamos en que contribuirá al almacenamiento del carbono y a la restauración de los pastizales del norte de México.

Como los bisontes, los N'dee/N'nee/Ndé fueron perseguidos por los gobiernos de México y Estados Unidos, y para sobrevivir se vieron forzados a hacerse pasar por mexicanos, escondiendo su lengua y su cultura. Recientemente, han comenzado a recuperar su identidad, sus raíces y están reaprendiendo su idioma y costumbres con ayuda de las tribus —que es como se identifican ellos en Estados Unidos—, que al ser confinadas a reservas pudieron mantener su lengua y tradiciones. El movimiento de los bisontes para formar las dos manadas más recientes permitió que representantes de la nación N'dee/N'nee/Ndé participaran con ceremonias para despedir a los bisontes antes de su viaje y darles la bienvenida a su llegada a los nuevos sitios, lo que no había sucedido en México en 150 años.

Uno de los retos que enfrenta la reintroducción del bison, como en el caso de otras especies, es la aceptación pública. Mediante divulgación a través de conferencias y medios de comunicación, estamos contribuyendo a que el bison sea reconocido como parte de la fauna nativa de México y despertando el interés en apoyar los esfuerzos para su recuperación, lo que ha facilitado que se abran las puertas para crear nuevas manadas.

Rurik List

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Ambientales, Área Académica en Biología de la Conservación.

r.list@correo.ler.uam.mx

Alejandra Espinosa

Universidad Autónoma Metropolitana, Licenciatura en Biología Ambiental.

ale.espinslv@gmail.com

Christian Javier Prado Hernández

Universidad Autónoma Metropolitana, Licenciatura en Biología Ambiental.

christianph21@gmail.com

Lecturas recomendadas

List, R. (2004), “Pastizales: una delgada capa verde entre el cielo y la tierra”, *Especies: Revista sobre Conservación y Biodiversidad*, 18-23. Disponible en: https://naturalia.org.mx/publicaciones/Pastizales_entre_cielo_tierra.pdf, consultado el 3 de junio de 2026.

List, R. (2006), “Bisonte americano: el migrante que se negó a extinguirse”, *Especies: Revista sobre Conservación y Biodiversidad*, 8-14. Disponible en: <https://naturalia.org.mx/publicaciones/BisonteAmericano.pdf>, consultado el 3 de junio de 2026.

Semarnat-Conanp (2019), *Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Bisonte (Bison bison)*, Se-

cretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [en línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/500223/PACE_Bisonte2.pdf, consultado el 3 de junio de 2026.

Soto Chica, J. (2021), “1935. Cacería humana de apaches en el México revolucionario”, *Desperta Ferro* [en línea]. Disponible en: <https://www.despertaferro-ediciones.com/2021/mexico-1935-caceria-humana-apaches-broncos/>, consultado el 3 de junio de 2026.