

No. 3T

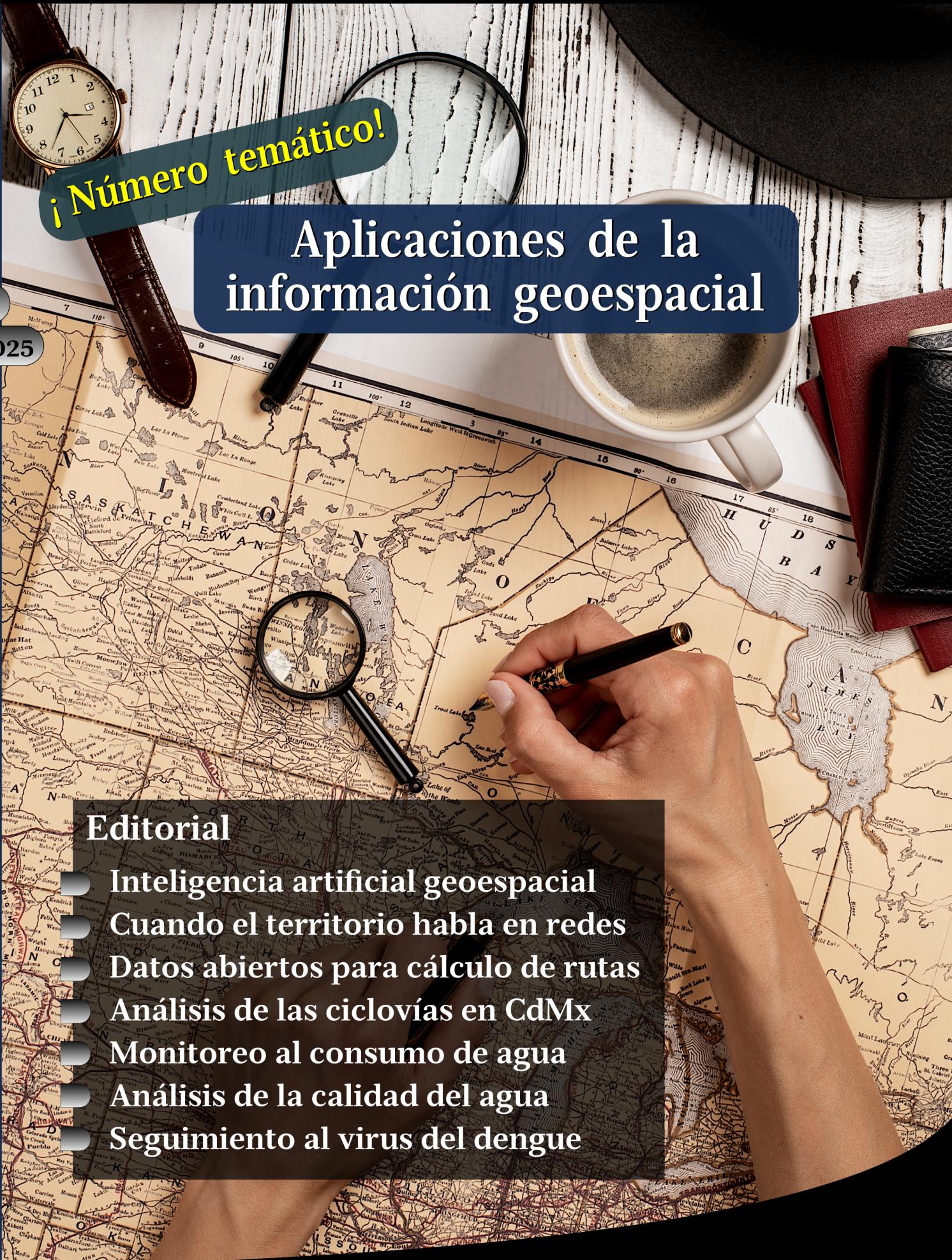
Nov. 2025

¡Número temático!

Aplicaciones de la información geoespacial

Editorial

- Inteligencia artificial geoespacial
- Cuando el territorio habla en redes
- Datos abiertos para cálculo de rutas
- Análisis de las ciclovías en CdMx
- Monitoreo al consumo de agua
- Análisis de la calidad del agua
- Seguimiento al virus del dengue



Portada

Designed by Freepik (www.freepik.com)

"View of person using world travel map with magnifying glass"

https://www.freepik.com/free-photo/view-person-using-world-travel-map-with-magnifying-glass_28478758.htm

Editor responsable:

Dr. Salvador Godoy-Calderón

Comité editorial:

Dra. Blanca Lidia Miranda Valencia

Dra. Miriam Pescador Rojas

Dr. René Luna García

Editor invitado:

Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz

Información legal

Katra, Número 3T, Volúmen noviembre 2025, es una publicación anual editada por Dr. Salvador Godoy Calderón. Cádiz sur 77, Colonia Insurgentes-Mixcoac, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03920, Ciudad de México, México. Tel. 5554599218. Editor responsable: Dr. Salvador Godoy Calderón. Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2025-021418562600-102. ISSN: 2992-8648.

Las opiniones expresadas por los autores de artículos no necesariamente reflejan la postura del editor responsable de esta publicación, ni de los integrantes del comité editorial. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

Contenido

Editorial

- Salvador Godoy Calderón 1

El poder de la inteligencia artificial aplicada a la información geográfica

- Eduardo Eloy Loza-Pacheco, Rodrigo Cadena-Martínez, Dulce Loza-Pacheco 4

Cuando el territorio habla en redes: IA geoespacial en la crisis de gasolina del 2019 en México

- Roberto Zagal-Flores, Violeta Shaid Benítez-Valerio, Joel Omar Juárez-Gambino 13

Uso de datos abiertos para la planeación de rutas en la CDMX

- José Giovanni Guzmán Lugo, Adriana Lara López 23

Análisis geoespacial de ciclovías y estaciones de bicicletas en la Ciudad de México

- Magdalena Saldaña Pérez, Alberto Silva Guzmán, Abdiel Reyes Vera,
Gabriela Elisa Sued 35

Monitoreo del consumo de agua en los hogares de la CDMX utilizando internet de las cosas

- Carlos Guzmán Sánchez Mejorada, Miguel Torres Ruiz, Rolando Quintero 47

Análisis de calidad del agua usando Ciencia de Datos

- Eduardo Orozco Perez, Miguel Felix Mata Rivera, Issis Claudette Romero Ibarra,
Roberto Eswart Zagal Flores, Cristian Barria Huidobro 58

Análisis geoespacial de defunciones causadas por el virus del dengue en México

- Miguel Alcaraz Vázquez, Jesús Emanuel Saldaña Pérez, Gustavo Adolfo Alonso Silverio..... 74

Editorial

Reza un conocido refrán popular: "*no hay plazo que no se cumpla, ni deuda que no se pague*". Y para **Katra**, uno de esos momentos ha llegado. Conformar números temáticos ha sido uno de los objetivos más anhelados para nuestra revista desde sus inicios. En el artículo editorial del volúmen 2 (2024) de **Katra** escribí:

"Preparar números especiales temáticos, es una tarea titánica que deberá comenzar a desarrollarse y continuar durante los siguientes años."

Mencioné algunos temas atractivos para ese objetivo y también comprometí un tanto el camino a seguir cuando mencioné que:

"Haremos nuestro mejor esfuerzo por cristalizar esos proyectos en el menor tiempo posible, pero sin perder la calidad obligada."

Particularmente, adelanté que:

"... para el momento en que se publique el segundo volumen de **Katra**, ya habrá comenzado el proceso de diseño de un primer número temático extra para el año 2025. Y nuevamente, sólo el tiempo evidenciará la calidad de nuestro esfuerzo, así como los cambios y adaptaciones que deberemos asumir para darle vida a un medio de divulgación como **Katra**."

Pues efectivamente, el tiempo nos ha alcanzado y un año después de esos comentarios, me resulta en extremo gratificante poder presentar el primer número temático de la revista **Katra**, el volúmen 3T dedicado por completo a *aplicaciones de la información geoespacial*; un área de conocimiento y aplicación, relativamente

poco publicitada, pero que silenciosamente se ha convertido en un requisito tecnológico *sine qua non* de las sociedades modernas.

En esencia, al procesar datos sobre fenómenos que incluyen una ubicación en el tiempo y en el espacio, se abre la posibilidad para crear sistemas computacionales que automáticamente pueden monitorear e incluso gestionar procesos complejos como el tránsito de vehículos en una ciudad, los procesos de siembra, cuidado y cosecha en áreas de cultivo, el flujo y calidad del agua potable, el flujo de energía eléctrica en alguna red de alimentación, la entrega de ayuda humanitaria en zonas afectadas por desastres naturales, el rastreo de enfermedades específicas, el seguimiento de actividades delictivas, así como una infinidad de otras aplicaciones en las que, la componente geográfica, es la parte medular del sistema.

En este número temático, presentamos una selección de proyectos de procesamiento de datos geoespaciales, y que contribuyen de diferentes modos a una mejor comprensión de esa disciplina, pero al mismo tiempo, forman parte de ese esfuerzo tecnológico para colaborar en la solución de problemas reales, algunos de los cuales no ocupan un lugar relevante en la conciencia de nuestra sociedad ni de los servidores públicos. Ejemplo de ello son dos artículos que, desde diferentes perspectivas, presentan proyectos que estudian y dan seguimiento a la calidad, distribución y consumo del agua potable en la Ciudad de México.

También presenta este número, artículos que versan sobre el análisis de las ciclovías y estaciones de bicicletas, el seguimiento geoespacial al virus del dengue y la planeación de rutas vehiculares a partir de conjuntos de datos abiertos. No resulta una sorpresa que todos los artículos, en mayor o menor medida, se involucran con algoritmos y metodologías, tanto de inteligencia artificial, como de minería de datos. Los potenciales beneficios de integrar esas y otras disciplinas

científicas y tecnológicas con el procesamiento de datos geoespaciales, están siendo actualmente exploradas y experimentadas por una gran cantidad de investigadores que anticipan las nuevas formas, modalidades y paradigmas que a corto plazo comenzarán a experimentar todas las sociedades.

Finalmente, y en honor a la verdad, debo aclarar que el comentario que hice hace un año, sobre el diseño de un número temático extra para **Katra**, se cumplió sólo parcialmente, ya que el número temático que ahora presentamos *NO* es un número *extra*, sino un número regular que es temático. La razón para ello es justamente que, como lo dije en aquel momento, se trata de una tarea titánica y simplemente la fuerza de trabajo no resultó suficiente para publicar, durante este año, el número regular y además un número temático extra. Y es justo por esa razón, que no puedo terminar este artículo editorial sin reconocer y agradecer el apoyo del *Dr. Miguel Jesús Torres Ruiz*, quien fungiendo como *editor invitado*, estableció y coordinó la selección de autores invitados a presentar un artículo en este número. Sin su colaboración no habría sido posible lograr este resultado.

Por todo lo anterior, la experiencia de lograr este nuevo volúmen de **Katra** ha sido intensa pero muy satisfactoria, y el tiempo llegó para que los lectores juzguen y califiquen la calidad de nuestro esfuerzo.

*Dr. Salvador Godoy C.
Noviembre, 2025.*

El poder de la inteligencia artificial aplicada a la información geográfica

Eduardo Eloy Loza-Pacheco eduardo.loza@acatlan.unam.mx
Rodrigo Cadena-Martínez rodrigo.cadena@unade.edu.mx
Dulce Loza-Pacheco dulce.lp@gmail.com

En la actualidad, la información geográfica se ha consolidado como un pilar fundamental para la comprensión y gestión de nuestro entorno global. Desde los rudimentarios mapas cartográficos hasta las sofisticadas plataformas digitales interactivas, la evolución del acceso a datos espaciales ha sido exponencial. Esta transformación ha abierto nuevas posibilidades para el análisis territorial, la planificación urbana, el monitoreo ambiental y muchas otras aplicaciones clave para la gestión sostenible de los recursos. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una herramienta poderosa que permite procesar y analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales con rapidez y precisión. Gracias a su capacidad para identificar patrones complejos y generar modelos predictivos, la IA está redefiniendo la forma en que interpretamos el territorio y tomamos decisiones informadas. Este artículo explora cómo la IA está revolucionando el uso de la información geográfica y facilitando decisiones más inteligentes en sectores como la agricultura, la gestión urbana y el medio ambiente.

Fundamentos de la información geográfica y su digitalización

La información geográfica abarca todo dato asociado a una ubicación específica en la superficie terrestre, incluyendo coordenadas geográficas y atributos intrínsecos como el uso del suelo, las condiciones climáticas, la densidad poblacional o la infraestructura existente. Esta información permite describir, analizar y entender fenómenos espaciales, siendo fundamental para la planificación territorial, la gestión de recursos naturales, la seguridad, el

transporte, la agricultura, la salud pública, entre otros sectores. Su valor radica en que no solo proporciona datos puntuales, sino que permite establecer relaciones espaciales entre distintos elementos del entorno. Existen múltiples fuentes de información geográfica, como los censos, los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sensores remotos y las imágenes satelitales. Estas fuentes se integran en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas que permiten almacenar, visualizar, analizar y modelar información geoespacial de manera dinámica e interactiva. Gracias a ellos, es posible construir mapas temáticos, simular escenarios futuros o evaluar el impacto de políticas públicas. La información geográfica es esencial en la toma de decisiones basada en evidencia, ya que ofrece una visión integral del espacio que habitamos. En la era digital, el acceso a grandes volúmenes de datos geográficos, combinados con tecnologías como la inteligencia artificial, ha multiplicado sus posibilidades de análisis y aplicación, haciendo de la geografía una ciencia clave para enfrentar desafíos globales como el cambio climático, la urbanización acelerada y la gestión de riesgos. En este contexto, comprender qué es la información geográfica y cómo se puede aprovechar tecnológicamente es fundamental para ciudadanos, gobiernos y empresas por igual.

Aporte de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial se define como un conjunto de técnicas computacionales que dotan a las máquinas de la capacidad de aprender y tomar decisiones a partir de datos. Dentro de este campo, destacan subdisciplinas como el aprendizaje automático (*Machine Learning*), las redes neuronales artificiales y el aprendizaje profundo (*Deep Learning*), las cuales son instrumentales para modelar relaciones complejas entre datos y generar predicciones con una precisión notable.

En el ámbito de la información geográfica, la IA ha demostrado ser particularmente eficaz en tareas que históricamente requerían un esfuerzo humano considerable y análisis prolongados. Entre algunas de sus aplicaciones más relevantes se encuentran (Fig. 1):

- **Clasificación automática de coberturas del suelo:** Algoritmos de aprendizaje supervisado pueden identificar y mapear automáticamente diferentes tipos de uso de suelo (bosques, cultivos, zonas urbanas, cuerpos de agua) a partir de imágenes satelitales o aéreas.
- **Detección de patrones espaciales irregulares:** La IA puede identificar anomalías o conglomerados inusuales en datos geoespaciales, lo cual es crucial para detectar la propagación de enfermedades, focos de delincuencia o cambios ambientales súbitos.
- **Segmentación de imágenes satelitales:** Las redes neuronales convolucionales (parte del aprendizaje profundo) son excepcionalmente eficientes para segmentar objetos dentro de imágenes, permitiendo delimitar con precisión carreteras, edificios o masas de agua.
- **Generación de mapas temáticos automatizados:** La IA puede automatizar la creación de mapas basados en la interpretación de grandes conjuntos de datos, ahorrando tiempo y recursos.
- **Predicción de fenómenos geográficos:** Mediante el análisis de datos históricos y en tiempo real (climáticos, topográficos, etc.), la IA puede predecir con alta precisión eventos como inundaciones, deslizamientos de tierra o incendios forestales, apoyando la gestión de riesgos.

Estos sistemas son capaces de aprender a partir de grandes conjuntos de datos históricos y ajustarse en función de nuevas observaciones, lo que los convierte en herramientas adaptativas de gran valor. Un aspecto fundamental de la IA es su capacidad para reducir el tiempo y esfuerzo requeridos en el procesamiento de datos geoespaciales, lo cual antes implicaba trabajo manual y análisis prolongados.

Algunas aplicaciones relevantes en el ámbito de la información geográfica

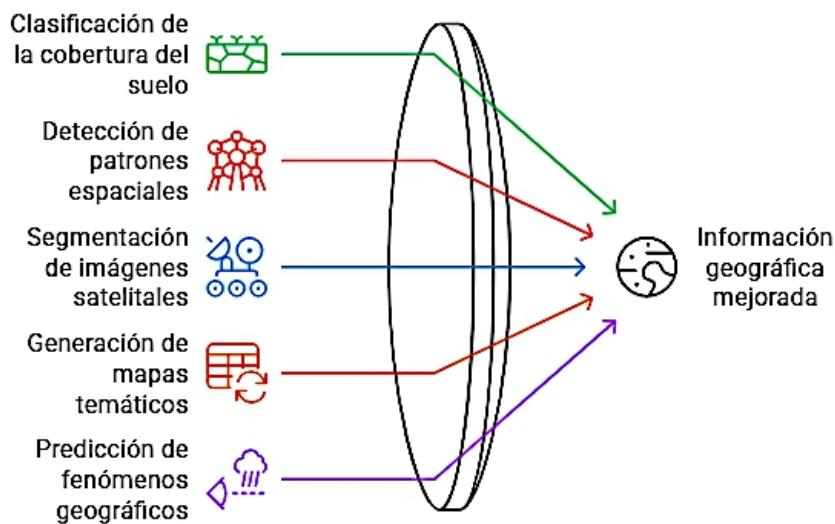


Figura 1. Aplicaciones relevantes

Hoy en día, mediante algoritmos entrenados, es posible obtener clasificaciones del uso de suelo en cuestión de minutos, evaluar cambios en la cobertura forestal y proyectar escenarios futuros con alta precisión. Además, la combinación de IA con sensores remotos, imágenes hiperespectrales y datos del Internet de las Cosas (IoT) ha mejorado sustancialmente la precisión en la detección y seguimiento de fenómenos geográficos.

Este tipo de análisis permite una toma de decisiones más informada tanto en el ámbito público como privado. Por ejemplo, los gobiernos pueden optimizar la planificación urbana y las estrategias de mitigación ante desastres, mientras que empresas pueden optimizar rutas logísticas, identificar oportunidades de inversión o gestionar sus recursos de manera más eficiente. En conjunto, la inteligencia artificial no solo potencia la capacidad de interpretar el espacio geográfico, sino que lo convierte en una dimensión de análisis dinámica, predictiva e integral.

Aplicaciones reales y casos destacados

Las aplicaciones de la inteligencia artificial en la información geográfica son numerosas y cada vez más diversas (Fig. 2). A continuación, se detallan algunas de las más significativas:

- **Agricultura de Precisión:** La IA, combinada con sensores, imágenes satelitales y drones, permite monitorear el estado de los cultivos, detectar plagas en etapas tempranas y optimizar el uso de recursos vitales como el agua, fertilizantes y pesticidas. Estos sistemas no solo incrementan el rendimiento de las cosechas, sino que también fomentan prácticas agrícolas más sostenibles, reduciendo el impacto ambiental. Un caso de éxito es el uso de IA para segmentar imágenes multiespectrales de drones y detectar con precisión zonas de estrés hídrico en viñedos, permitiendo un riego localizado y eficiente.
- **Ciudades Inteligentes (*Smart Cities*):** La IA es un motor clave en la creación de ciudades inteligentes, analizando grandes volúmenes de datos relacionados con la movilidad urbana, el consumo energético, la gestión de residuos y la seguridad. Algoritmos avanzados permiten detectar patrones de tráfico en tiempo real, optimizar rutas de transporte público y planificar la expansión urbana con base en datos actualizados y reales. Por ejemplo, ciudades como Singapur utilizan IA para predecir la demanda de transporte y ajustar las frecuencias de autobuses, reduciendo la congestión.
- **Monitoreo Ambiental:** La inteligencia artificial se aplica al análisis de imágenes satelitales para detectar y cuantificar cambios en los ecosistemas, tales como la deforestación, la desertificación, la contaminación de cuerpos de agua o el retroceso de glaciares. Estos análisis proporcionan información crucial para la toma de decisiones oportunas en la gestión de recursos naturales y la protección de áreas vulnerables. Un ejemplo notable es el uso de IA por organizaciones como Global Forest Watch para monitorear la deforestación en la Amazonía en tiempo casi real.

- **Gestión de Desastres:** La IA ha demostrado ser fundamental para anticipar y responder a eventos extremos mediante modelos predictivos que integran variables climáticas, topográficas y sociales. En regiones propensas a huracanes o incendios forestales, se utilizan mapas de riesgo generados por IA para coordinar evacuaciones, establecer alertas tempranas y optimizar la respuesta de los equipos de emergencia. En California, modelos de IA se emplean para predecir la trayectoria y propagación de incendios forestales basándose en el viento, la topografía y la vegetación, mejorando la evacuación y el despliegue de recursos.
- **Salud Pública:** La IA aplicada a la información geográfica permite rastrear la propagación de enfermedades infecciosas, identificar zonas con alta vulnerabilidad epidemiológica y planificar intervenciones sanitarias dirigidas. Durante la pandemia de COVID-19, se utilizaron sistemas de IA geoespaciales para mapear puntos calientes de contagio y optimizar la distribución de recursos médicos.

Estos casos muestran cómo la IA no solo amplifica el valor de la información geográfica, sino que la transforma en una herramienta estratégica indispensable para abordar problemas complejos con soluciones basadas en evidencia y datos precisos.

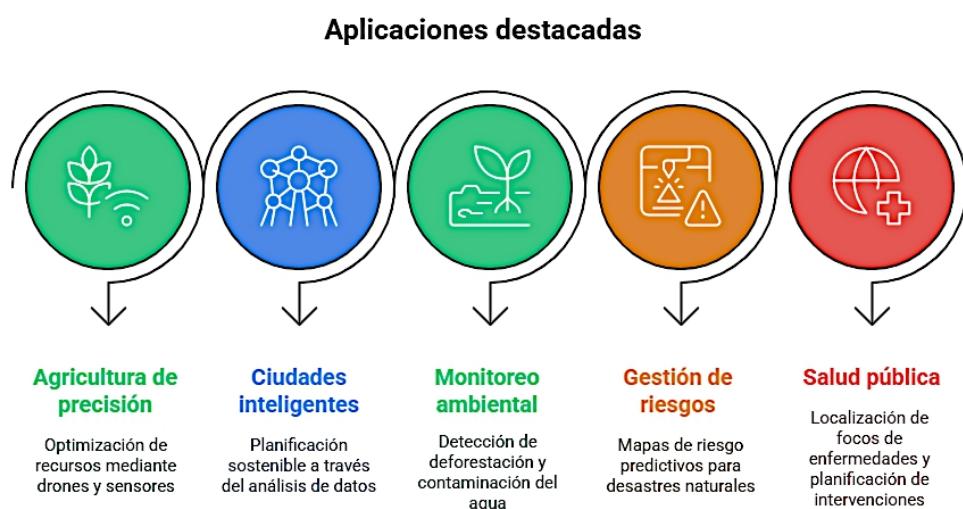


Figura 2. Aplicaciones destacadas

Desafíos, riesgos y futuro de la IA en la información geográfica

A pesar de sus numerosos beneficios, la integración de la IA en el análisis geoespacial también presenta desafíos relevantes (Fig. 3), entre ellos:

- **Privacidad:** Uno de los principales es la privacidad de los datos geográficos, especialmente cuando se recopila información desde dispositivos móviles, cámaras urbanas o redes sociales. La acumulación masiva de datos puede ser sensible y su uso inadecuado puede vulnerar derechos fundamentales de los individuos. Es imperativo establecer marcos regulatorios robustos y protocolos de anonimización para proteger la identidad y el comportamiento de las personas.
- **Algoritmos poco transparentes:** Otro riesgo importante es la dependencia excesiva de algoritmos opacos que operan como “cajas negras”, sin que los usuarios comprendan cómo se generan sus resultados. Esto puede dar lugar a decisiones erróneas o sesgadas si no se validan adecuadamente, esta falta de transparencia puede conducir a decisiones erróneas o sesgadas si los modelos no son validados rigurosamente y auditados de forma constante.
- **Brecha digital:** Además, existe una brecha de acceso a estas tecnologías entre países y regiones, lo que puede agravar desigualdades existentes. Es fundamental fomentar la alfabetización digital, promover estándares éticos en el diseño de algoritmos, y asegurar la transparencia y la rendición de cuentas en el uso de IA aplicada a datos geográficos.

Para mitigar estos riesgos, es fundamental un enfoque que incluya:

- La promoción de estándares éticos rigurosos en el diseño, desarrollo y aplicación de algoritmos de IA en el ámbito geoespacial.

- La garantía de la transparencia y la rendición de cuentas en el uso de datos geográficos por parte de algoritmos de IA.
- El fomento de la alfabetización digital en la población para una comprensión crítica de estas tecnologías.
- El desarrollo de marcos regulatorios que protejan los derechos individuales sin obstaculizar la innovación.

A futuro, se espera una integración cada vez mayor con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la computación en la nube y la inteligencia artificial generativa, que permitirán un análisis más dinámico, en tiempo real y predictivo de los territorios. Estas innovaciones podrían impulsar la planificación participativa, el desarrollo sostenible y la resiliencia ante el cambio climático. La IA generativa, por ejemplo, podría ser utilizada para crear escenarios hipotéticos de desarrollo urbano o de impacto ambiental, facilitando la toma de decisiones estratégicas.



Figura 3. Riesgos y desafíos en el uso de IA en información geográfica

Conclusión

La inteligencia artificial está transformando la manera en que recolectamos, procesamos y utilizamos la información geográfica. Gracias a su capacidad para detectar patrones complejos, automatizar tareas repetitivas y generar

predicciones precisas, se ha convertido en un aliado estratégico en campos tan diversos como la agricultura, la planificación urbana, el medio ambiente y la gestión de riesgos. Sin embargo, su implementación debe ir acompañada de una reflexión ética, inclusiva y crítica que considere los posibles impactos sociales, políticos y ambientales. El futuro de la geografía inteligente depende tanto del desarrollo tecnológico como de la participación ciudadana, la regulación adecuada y el acceso equitativo al conocimiento. En un mundo cada vez más interconectado, comprender el territorio a través de herramientas inteligentes no solo es posible, sino necesario para construir sociedades más sostenibles, resilientes y equitativas. La información geográfica potenciada por la IA no es solo[sólo] una herramienta técnica, sino una clave estratégica para entender y transformar nuestro entorno de manera más justa y eficaz.

Para conocer más, consulta:

- 1) Batty, M. (2017). *The New Science of Cities*.
- 2) *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think*. (2013).
- 3) Graley, J. F. (s/f). *Understanding Artificial Intelligence Volume Two: From Algorithms to Art: How AI is Shaping the Creative World*.
- 4) Josdal, M., McSharry, P., & Thomas, R. (s/f). *Big Data Revolution: What Farmers, Doctors and Insurance Agents Teach Us about Discovering Big Data Patterns*.
- 5) Kumar, L., & Mutanga, O. (Eds.). (2019). *Google Earth Engine Applications*.
- 6) Lewandowski, E. Artificial Intelligence Helps Distinguish the Forests From the Trees: Part 2. <https://www.globalforestwatch.org/blog/data-and-tools/artificial-intelligence-helps-distinguish-the-forests-from-the-trees-part-2/>
- 7) Lohr, S. (2016). *Data-ism: Inside the Big Data Revolution*.
- 8) Purushothoman, P. (s/f). *The Ethics of Artificial Intelligence: A Guide to Navigating the Future*.

Cuando el territorio habla en redes: IA geoespacial en la crisis de gasolina del 2019 en México

Roberto Zagal-Flores rzagalf@ipn.mx

Violeta Shaid Benítez-Valerio vbenitezv165@alumno.uaemex.mx

Joel Omar Juárez-Gambino jjuarezg@ipn.mx

A principios del año 2019, millones de personas en México vivieron algo inusual: largas filas en las gasolineras, estaciones cerradas y un temor colectivo por quedarse sin combustible. Esta crisis fue consecuencia directa de una estrategia del gobierno para combatir el robo de gasolina, conocido popularmente como *huachicol*.

Pero más allá del caos en las calles, hubo otro escenario igual de revelador: las redes sociales. Miles de personas compartieron sus experiencias, quejas, *memes*, y hasta ubicaciones donde aún se podía encontrar gasolina. Esta avalancha de datos espontáneos generó una oportunidad única para analizar la percepción social, los sentimientos colectivos y los patrones regionales con herramientas de inteligencia artificial (IA) y ciencia de datos.

En este artículo te explicamos, de manera sencilla, cómo se estudió la crisis del huachicol desde una perspectiva científica, utilizando información pública del gobierno y lo que la gente escribió en *Twitter*. ¿Qué dijeron los ciudadanos? ¿Dónde se sintió más el impacto? ¿Hubo apoyo o rechazo a las acciones del gobierno? Acompáñanos a descubrirlo.

¿Qué se estudió?

El objetivo de esta investigación fue cruzar dos fuentes principales de información:

- 1) Los datos abiertos del gobierno, que incluyen reportes oficiales sobre tomas clandestinas de combustible en ductos de PEMEX.
- 2) Las publicaciones en *Twitter*, una red social donde las personas compartieron en tiempo real lo que vivían y opinaban.

Así, los investigadores buscaron responder a las preguntas: ¿coinciden los datos del gobierno con lo que se decía en redes sociales? ¿Podemos identificar patrones regionales y emocionales en las reacciones de las personas?

¿Cómo se estudió?

Entender lo que piensan miles de personas no es sencillo. Pero gracias a la tecnología, hoy podemos analizar lo que la gente escribe en redes sociales para encontrar patrones, emociones y temas comunes. Este proceso se llama "minería de datos", y es como si los científicos se convirtieran en exploradores digitales: buscan pistas, las ordenan y las interpretan para entender mejor la realidad.

El equipo de investigadores utilizó un enfoque basado en ciencia de datos espaciales. Eso significa que no solo les interesaba qué se dijo, sino también «dónde» y «cuándo» se dijo. Esa combinación les permitió observar cómo evolucionaban las reacciones sociales a lo largo del tiempo y en diferentes regiones del país.

Imagina que estás armando un gran rompecabezas. Por un lado, tienes piezas oficiales (los datos del gobierno), y por el otro, piezas espontáneas y caóticas (los *tuits*). El reto fue unirlas para formar una imagen más clara de lo que pasó durante la crisis del huachicol.

Paso 1: Recolectar los tuits

Se reunieron más de 100,000 publicaciones en *Twitter*, escritas entre diciembre de 2018 y enero de 2019. Solo se conservaron 24,317 que tenían información útil como la ubicación y el contenido relacionado con la falta de gasolina.

Paso 2: Limpiar los datos

Muchos *tuits* contienen cosas irrelevantes como “jajaja” o enlaces. Estos elementos se eliminaron para enfocarse solo en las palabras clave: “gasolina”, “huachicol”, “PEMEX”, entre otras.

Paso 3: Entender lo que se dijo (análisis de sentimiento)

Se usaron algoritmos que aprenden a reconocer si un mensaje es positivo, negativo o neutral, con base en palabras comunes y su contexto.

Paso 4: Agrupar temas similares (modelado de temas)

Con otra técnica de inteligencia artificial llamada *K-means clustering*, se agruparon *tuits* con palabras parecidas. Es como hacer equipos de conversación: unos hablaban de “filas largas”, otros de “gasolineras cerradas” o de “el gobierno”.

Paso 5: Ubicar lo que se dice en el mapa

Gracias a los datos de ubicación, se pudo hacer un mapa interactivo para ver en qué ciudades se hablaba más del tema, qué emociones predominaban y qué tan cerca estaban esos comentarios de los lugares donde se reportaron robos de combustible.

¿Y qué se aprendió?

Uno de los hallazgos más interesantes fue que muchas personas midieron la crisis no solo con palabras, sino con números. Por ejemplo, reportaban “filas de 2 kilómetros para cargar gasolina” o decían “esperé 3 horas en la gasolinera”. Esta información es muy valiosa porque da una dimensión concreta del problema. Algunos de los términos más relevantes se muestran en la figura 1.



Figura 1. Nube de palabras: Muestra las palabras más usadas por los ciudadanos durante la crisis del huachicol.

También se identificaron regiones con mayor actividad en redes sociales, como la Ciudad de México, Guanajuato, Jalisco y Michoacán. En esas zonas, los usuarios compartían desde quejas hasta consejos para encontrar gasolina. Algunos ejemplos de *tuits* reales:

- “Gasolinera de Picacho Ajusco cerrada. Hay fila de más de 4 km en la siguiente estación.”
 - “Llevo 2 horas en la fila. Ojalá esto sirva para que por fin acaben con el huachicol.”
 - -“No hay gasolina pero al menos el tráfico bajó. Algo bueno tenía que salir.”

Estos mensajes se analizaron usando inteligencia artificial para clasificarlos según su tono: positivo, negativo o neutral. Curiosamente, los mensajes positivos generaron más interacción, lo cual sugiere que la esperanza y la solidaridad fueron bien recibidas en medio de la crisis.

La figura 2 colorea los estados según la cantidad de mensajes positivos o negativos. Comparación estimada entre reacciones positivas y negativas por región.

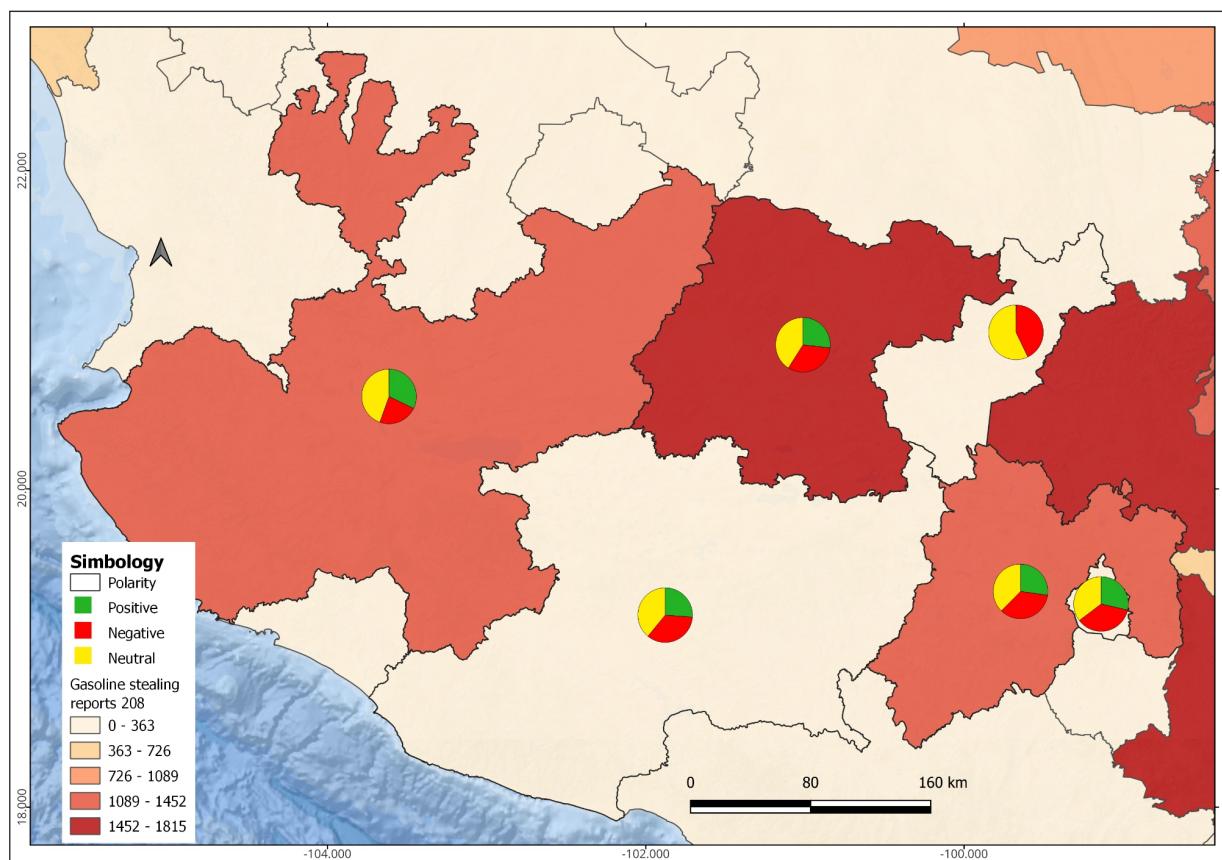


Figura 2. Mapa de polarización emocional [Gráfica de pastel: CDMX 50% Positivo, 50% Negativo; Jalisco: 70% Negativo]

Como se muestra en la figura 3, también se midió cuántos ‘likes’ y ‘retuits’ (reacciones y menciones) recibían por regiones, esto explica cómo fue la concentración de reacciones por estado y, como era de esperarse, estas se concentraron en el centro del país .

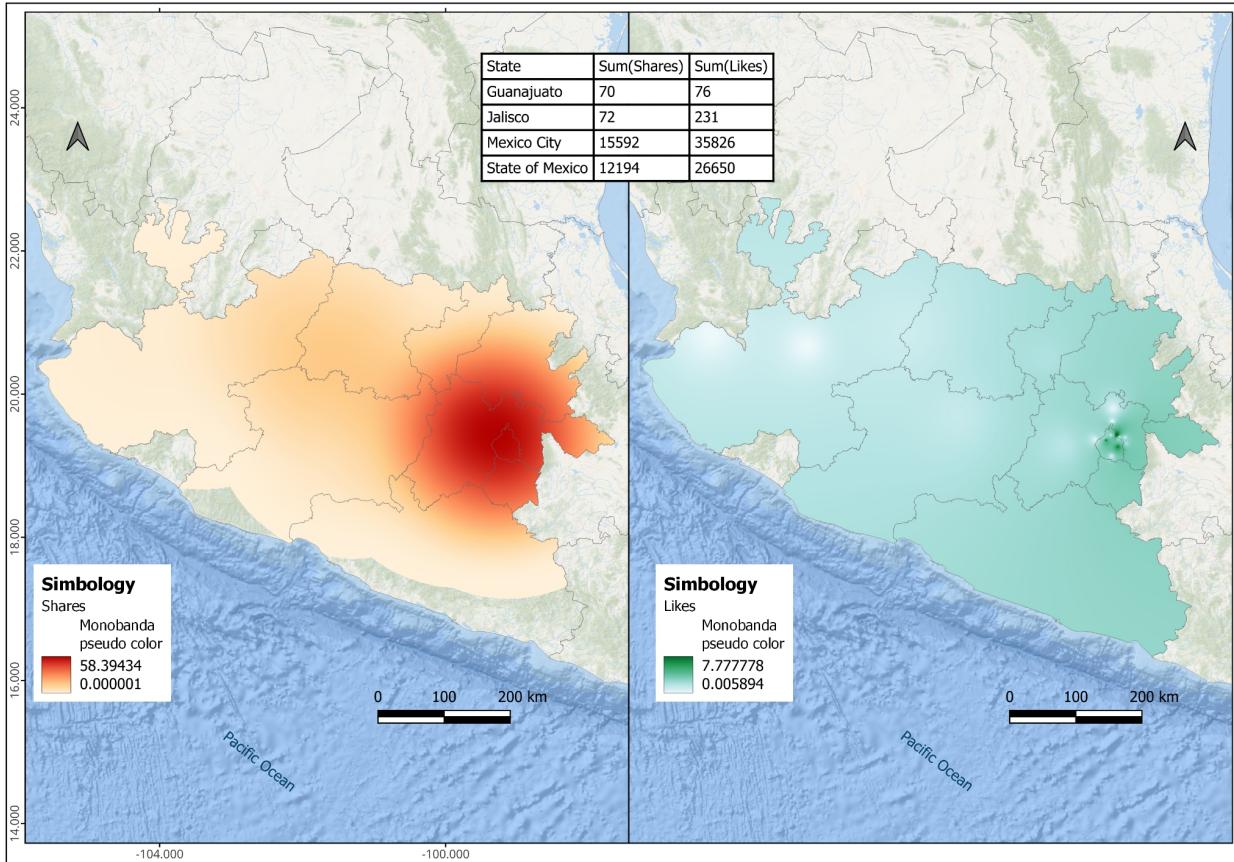


Figura 3. Mapa de calor simulado sobre menciones por entidad durante la crisis del huachicol : CDMX, Guanajuato, Michoacán, Jalisco.

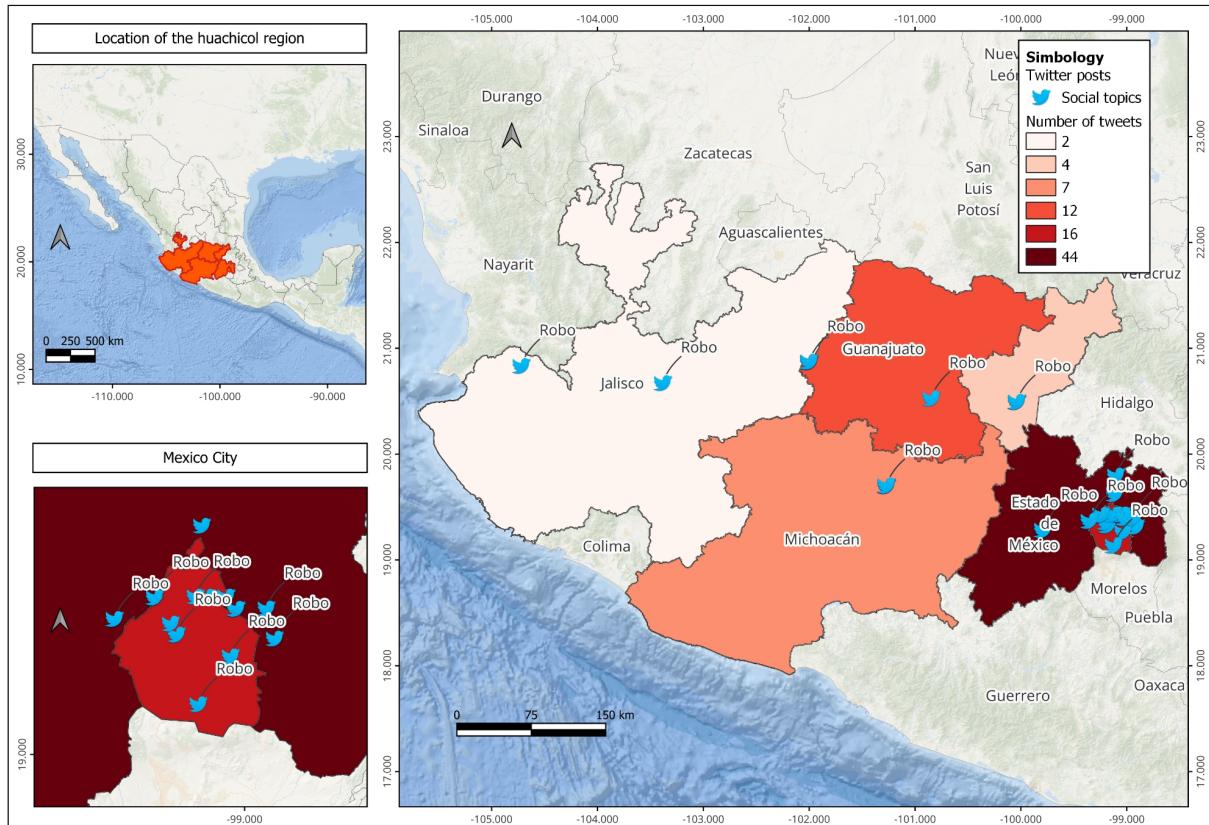
Los resultados fueron muy reveladores:

- Filas de hasta 5 kilómetros para conseguir gasolina se reportaron en *tuits* desde Ciudad de México, Jalisco y Michoacán.
- Temas más comunes: escasez, enojo, tráfico, críticas al gobierno, pero también humor y solidaridad.
- Polarización social: en algunos estados, como Guanajuato, los comentarios eran más positivos; en otros, como Jalisco, predominaba el enojo.
- El dato curioso: los comentarios positivos, aunque menos frecuentes, ¡recibieron más “me gusta” y *retuits* que los negativos!

¿Por qué es importante este estudio?

Porque muestra que la sociedad está hablando en voz alta en redes sociales. Y si sabemos escuchar con métodos científicos, podemos comprender mejor los

problemas urbanos, las emociones colectivas y cómo reacciona la ciudadanía ante decisiones gubernamentales. En la figura 4 se aprecian los lugares donde más se hizo mención sobre el tema de robo de gasolina.



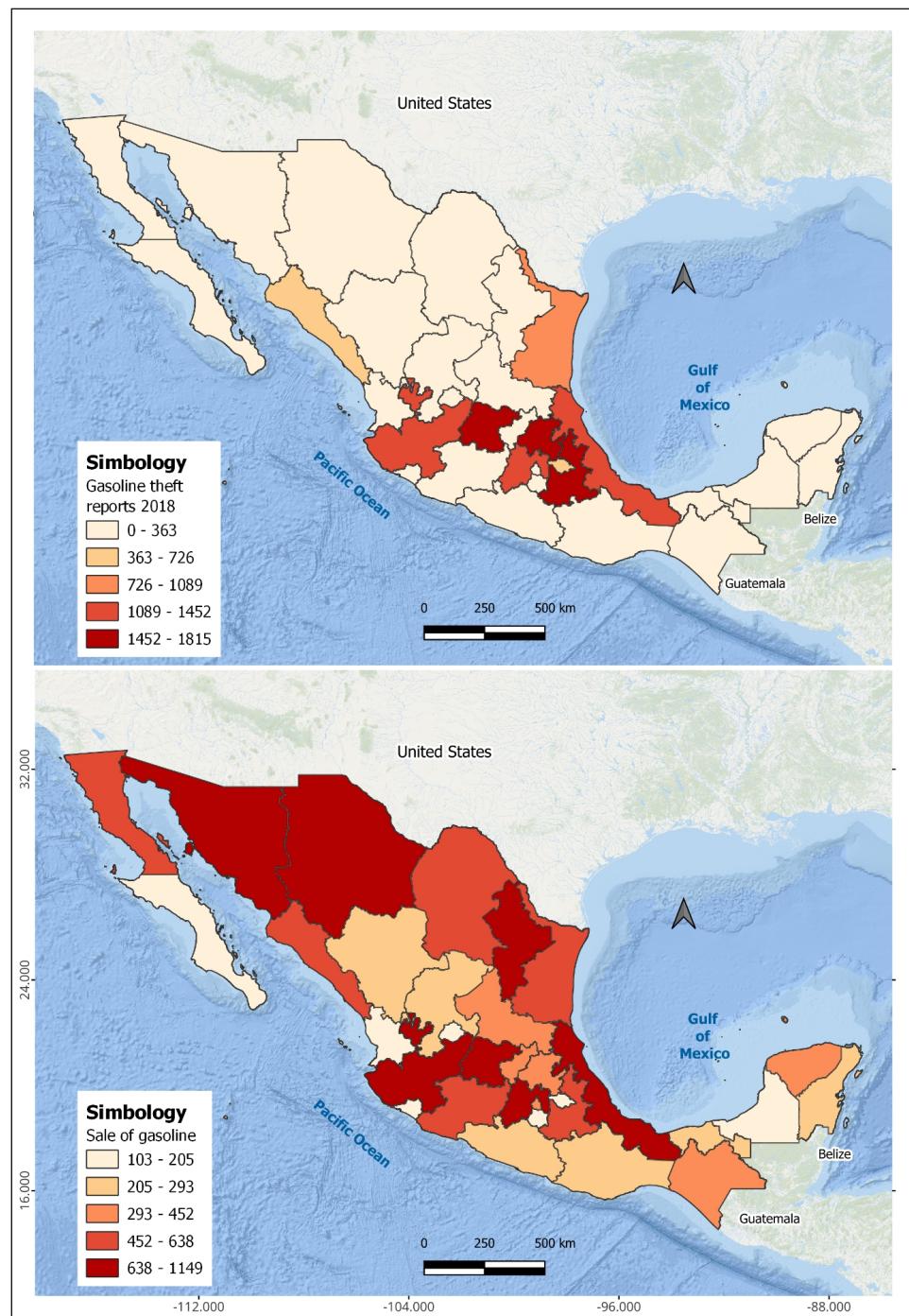


Figura 5. Mapa de robo de gasolina según datos oficiales.

¿Qué tecnologías se usaron?

Para quienes quieren conocer un poco más del lado técnico, aquí explicamos los algoritmos utilizados, en palabras sencillas:

- *K-means*: agrupa mensajes por semejanza temática.
- *LDA (Latent Dirichlet Allocation)*: ayuda a identificar temas escondidos en muchos textos.
- *Naive Bayes*: clasifica mensajes como positivos, negativos o neutrales.
- *OWL (Web Ontology Language)*: clasifica palabras según emociones y temas, como un diccionario inteligente.

Conclusiones

Este estudio no solo aporta datos sobre una crisis específica, sino que también nos enseña el valor de las redes sociales como termómetro social. Gracias al análisis de *tuits* y a la inteligencia artificial, se puede “escuchar” lo que piensa la gente, entender sus emociones y detectar patrones que de otro modo pasarían desapercibidos.

Además, el cruce entre datos oficiales y percepción ciudadana abre una puerta al diseño de políticas públicas más informadas y centradas en la experiencia real de la población. Si sabemos interpretar bien estos datos, podemos responder mejor ante futuras crisis, sean por desabasto, salud pública o fenómenos naturales.

Este trabajo es un ejemplo de cómo la ciencia de datos puede convertirse en una herramienta poderosa para construir sociedades más empáticas, informadas y resilientes.

La falta de gasolina en 2019 fue más que un problema logístico: fue un fenómeno social. Y hoy, gracias a la inteligencia artificial y a la ciencia de datos, es posible entender cómo lo vivimos colectivamente.

El estudio demuestra que el análisis de redes sociales, combinado con datos oficiales, puede ayudarnos a tomar mejores decisiones como país. Además, este

tipo de estudios abre nuevas posibilidades para comprender problemáticas urbanas más allá del caso del desabasto de gasolina.

Las redes sociales son una fuente poderosa de datos en tiempo real que reflejan la percepción ciudadana frente a temas como seguridad, movilidad, contaminación, acceso a servicios o emergencias climáticas. Por ejemplo, se pueden detectar zonas con alta sensación de inseguridad mediante el análisis de *tuits* relacionados con delitos o acoso.

También se puede monitorear el impacto de obras públicas o manifestaciones a través de los comentarios y reportes ciudadanos. Incluso es posible anticipar crisis sanitarias localizadas al observar tendencias de preocupación o síntomas reportados por la población en redes.

Para conocer más, consulta:

- 1)** Banda, K.K., & Cluverius, J. (2018). *Electoral Studies*, 56, 90–101.
- 2)** Miranda, C.A., Rodríguez, R.C., & Zagal-Flores, R. *Analisis de Sentimientos en Redes Sociales* (2014). *Research in Computing Science*, 75, 59–69.
- 3)** Peschard Mariscal, J., Salazar Rebolledo, M.G., & Olea Gómez, O.A. (2021). *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 66, 245–280.
- 4)** Specia, M. (2019). *The New York Times*.

Uso de datos abiertos para la planeación de rutas en la CDMX

José Giovanni Guzmán Lugo jguzmanl@ipn.mx
Adriana Lara López alaral@ipn.mx

Imaginemos, por un momento, que estamos en el año 1995, es un sábado por la mañana y tenemos planeado hacer un viaje en familia para ir al bosque de Chapultepec (al zoológico por supuesto). Suponiendo que tenemos un automóvil particular, ¿Cuál sería nuestra forma de planear el trayecto? Entre las posibles opciones tendríamos: seguir las instrucciones de un familiar que vaya con nosotros (seguramente el de más experiencia al volante); abrir la guantera del auto en busca del Guía Roja, o para los de espíritu más temerario o aventurero, encender el carro y en el camino hacer 2 o 3 paradas, buscando con la mirada a un peatón experimentado para detener su caminar y preguntarle: "Buenos días!, disculpe, ¿cómo llego al zoológico del bosque de Chapultepec?". Si el buen samaritano no es indiferente (cruzando los dedos) se acercaría al vehículo y nos diría: "mire..." (nos da cerca de 10 indicaciones viales) para posteriormente continuar con "y después se va todo derecho hasta pasar, 2 semáforos, ahí va a llegar a Reforma, da vuelta a la derecha y se va todo derecho, derecho, hasta que vea el Museo de Antropología e Historia, toma el primer retorno que encuentre y por ahí busca estacionamiento". Ya con esa engañosa sensación de tener la información correcta, continuamos con nuestro recorrido. ¿Cuántos recuerdos de eventos como el descrito tenemos en nuestra memoria?, seguramente en muchas ocasiones pudimos llegar al destino de interés, pero al menos en una ocasión, acabamos perdidos en una zona completamente diferente y con orientaciones del tipo "Híjole, ya se pasó".

Actualmente, y más con el crecimiento de la Ciudad de México, el problema de cómo desplazarnos de un lugar a otro sigue estando presente. Sin embargo, la forma de resolver ese problema ha cambiado significativamente. Se pueden

utilizar computadoras que tienen información vial de la Ciudad de México, siendo la forma más común de representar esos datos mediante el uso de un grafo. Sin recurrir a la formalidad, un grafo es una estructura compuesta por vértices (o nodos) y aristas (o arcos) que conectan esos vértices. Cuando se requiere encontrar el camino más adecuado entre dos vértices, podemos utilizar un algoritmo de ruteo.

Rutas y grafos

Hay mucha historia interesante con respecto al estudio de los caminos mínimos, como fueron los trabajos de *Leonard Euler* en 1736 con el problema de los puentes de *Königsberg*, o bien, *Gustav Kirchhoff*, en el siglo XIX, quien usó grafos para estudiar circuitos eléctricos. Pero el algoritmo de *Edsger W. Dijkstra*, propuesto en 1956 y publicado en 1959, es considerado el primer algoritmo eficiente y formal para encontrar caminos más cortos en un grafo con pesos no negativos.

En el caso del cálculo de rutas, un algoritmo de caminos más cortos es un procedimiento que permite encontrar la ruta más corta disponible entre un origen y un destino en un grafo. Utiliza una función de costos donde se asigna un peso basado en algún criterio, como puede ser, la distancia, la velocidad promedio, el número de carriles, etc. El algoritmo busca encontrar el camino entre dos vértices que represente el menor costo posible, de entre todas las rutas existentes (ver Figura 1). En un grafo pequeño, por ejemplo, de unos 5 o 10 vértices, posiblemente podríamos hacer el cálculo manualmente, pero imaginemos que el grafo tiene 4000 o 5000 vértices. La tarea ya no es para nada sencilla. Es por ello, que el uso de algoritmos informáticos nos ayuda significativamente para resolver ese problema.

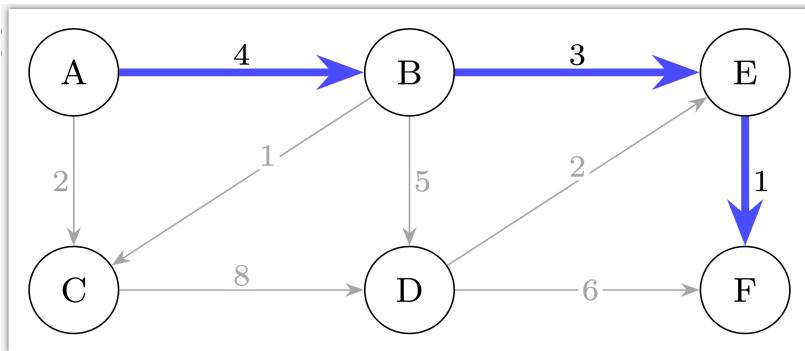


Figura 1. Representación esquemática de un grafo con seis vértices (A-F) y aristas que indican los costos o distancias entre ellos. La ruta resaltada en azul corresponde al camino más corto entre el nodo A (origen) y el nodo F (destino), calculado mediante el algoritmo de Dijkstra. Este diagrama ilustra el principio fundamental de los algoritmos de caminos mínimos: encontrar, entre todas las rutas posibles, aquella que minimiza el costo total acumulado.

En los últimos años, el uso de dispositivos móviles ha crecido significativamente; hoy en día, es poco probable que el ejemplo descrito se resuelva de la misma forma que en 1955. Lo más práctico sería, con nuestro dispositivo móvil en mano, usar una de las aplicaciones más ampliamente usadas por los conductores de automóviles: *Waze* o bien, *Google Maps*. Esas aplicaciones nos simplifican enormemente la planeación de rutas desde un punto conocido como origen, a un destino. En *Waze* por ejemplo, podemos personalizar si queremos usar o no caminos de cuota (peaje) y después de que proporcionamos la información de interés, nos despliega diversas opciones de rutas, para poder hacer una selección manual (ver Figura 2). Sin embargo, algunas alternativas aún no son contempladas por estas aplicaciones, a pesar de ser de particular interés en la Ciudad de México. Por ejemplo: ¿la ruta calculada es segura?, posiblemente no me interese el tiempo, sino que mi prioridad sea el viajar en vehículo evitando zonas donde con frecuencia ocurren asaltos a mano armada en el rango de tiempo por el que me voy a desplazar.

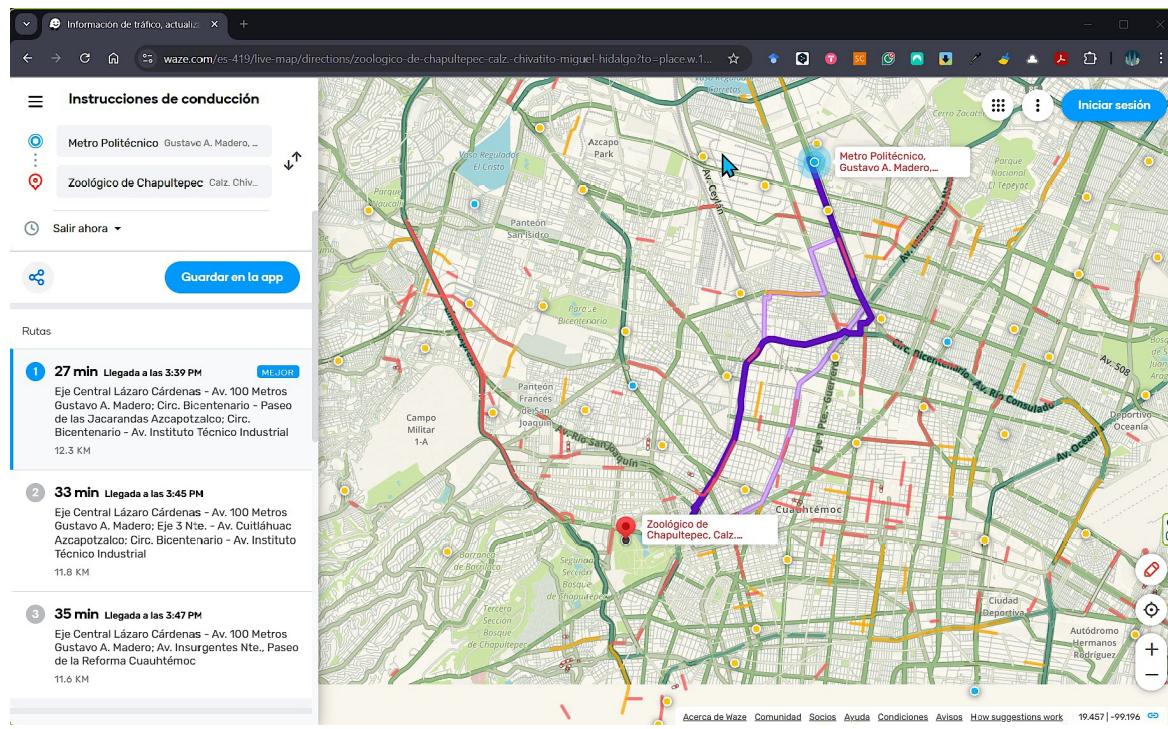


Figura 2. Ejemplo de cálculo de ruta usando Waze.

Fuente: <https://www.waze.com/es-419/live-map/>

En consecuencia, podríamos adaptar el algoritmo de cálculo de rutas, para que tome en cuenta la información de incidencia delictiva en una zona de interés.

Considerando la incidencia delictiva

En lo que respecta al estudio de eventos delictivos, para poder profundizar más en este asunto, es importante estar de acuerdo en, ¿qué es un delito?. El diccionario de la Real Academia Española dice que "un delito es una acción u omisión voluntaria o imprudente castigada por las leyes penales", mientras que, en el Código Penal Federal mexicano, un delito se define como una acción u omisión que está sancionada por las leyes penales. Pero ¿todos los delitos que ocurren en México, y particularmente, en la Ciudad de México, son de nuestro interés? La respuesta es no, debemos seleccionar los delitos que sean relevantes y que afectan los criterios para poder estimar las rutas más seguras en un momento particular. Los delitos se dividen en dos grandes categorías: delitos del fuero común y delitos del fuero federal. Un delito del fuero común es un delito que afecta a las personas o bienes dentro de alguna entidad federativa (estado) y es investigado y juzgado por las autoridades de esa entidad. En contraste, los

delitos del fuero federal son aquellos que afectan a toda la nación y son competencia de las autoridades federales, como la Fiscalía General de la República.

Entonces, nuestro interés se centra en los delitos del fuero común, porque son aquellos que conocemos (por narrativa, por las noticias, o por vivencia propia) y que nos afectan directamente. Ahora, ¿de dónde puedo obtener información de los delitos que ocurren en la CDMX?, la respuesta es del **Portal de Datos Abiertos de la Ciudad de México** (PDACDMX). De forma breve, la historia de ese Portal se remonta al año 2013, cuando se presentó la propuesta de un sitio en internet (<http://www.datosabiertos.df.gob.mx/>) en el cual, las personas pudieran acceder a información veraz y confiable generada por las diversas dependencias en la Ciudad de México. Este sitio ha sido actualizado constantemente y ahora es posible consultarla en <https://datos.cdmx.gob.mx/>, tiene 486 conjuntos de datos, de 33 instituciones, divididos en 21 categorías.

El conjunto de datos de nuestro interés es el que describe las carpetas de investigación ante la Fiscalía General de Justicia (FGJ). Todo delito del fuero común debe denunciarse ante alguno de los distintos Ministerios Públicos de la Ciudad de México, iniciándose con ello, una carpeta de investigación. Cuando un delito ocurre y la autoridad competente no tiene conocimiento de ello, se considera un delito que pertenece a la cifra negra. Desafortunadamente, México tiene rangos de cifra negra cercanos al 92-93%, lo cual significa, que solo entre 7 y 8 de cada 100 delitos son denunciados ante el Ministerio Público.

Limpieza de datos

Teniendo una fuente oficial de delitos del fuero común, se debe realizar una tarea conocida como limpieza de datos. Derivado de que la generación de captura de información se realiza de forma manual, es necesario asegurarse de que los datos son útiles para el análisis que se va a realizar en la optimización de rutas. Por ejemplo, se pueden clasificar los datos de las carpetas de investigación acumuladas a enero de 2025, contabilizando el número de carpetas de investigación del 2015 al 2025, y para todas aquellas carpetas donde

el año del hecho está fuera de este rango, contabilizarla en la categoría de otros. El resultado se muestra en la Figura 3.

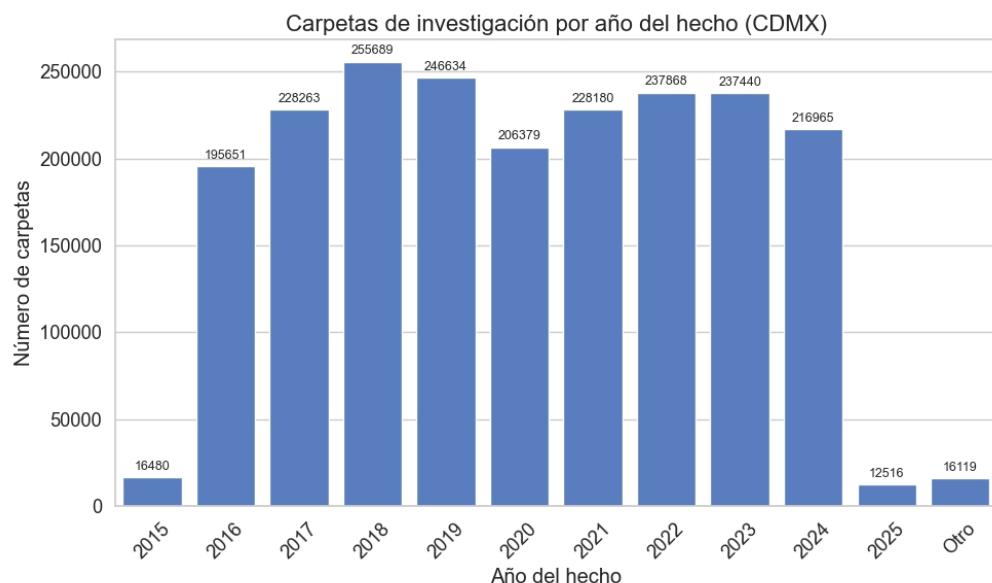


Figura 3. Número de carpetas de investigación entre 2015 y 2025.
Elaboración propia con datos del PDACDMX

Aparentemente, todo está bien hasta este punto, pero ¿qué sucede si buscamos en un rango como 1910-1960?. Seguramente en esa época ocurrían delitos, pero es muy poco probable que esas carpetas de investigación estén contempladas en este conjunto de datos, siendo más bien un error de captura al procesar la carpeta de investigación. El resultado se muestra en la Figura 4.

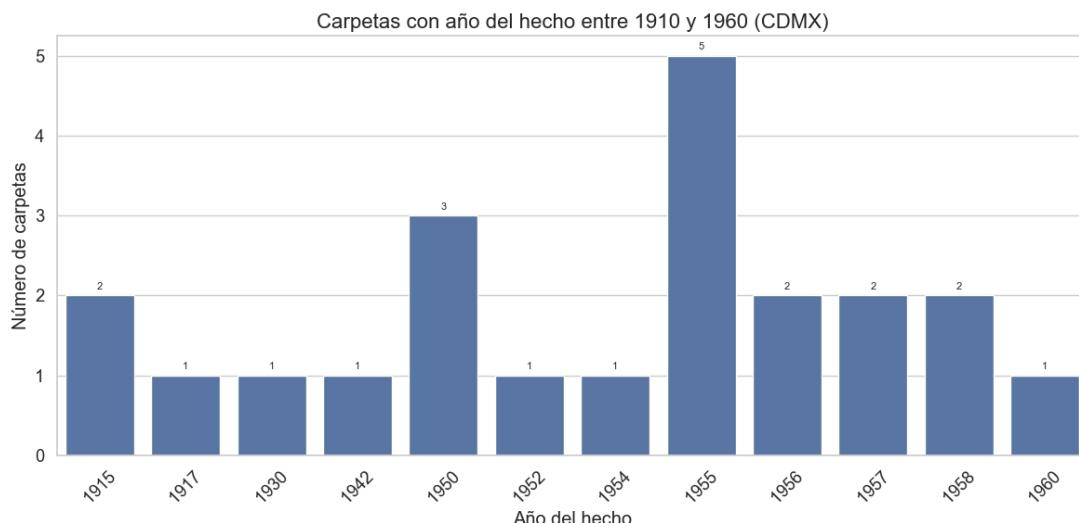
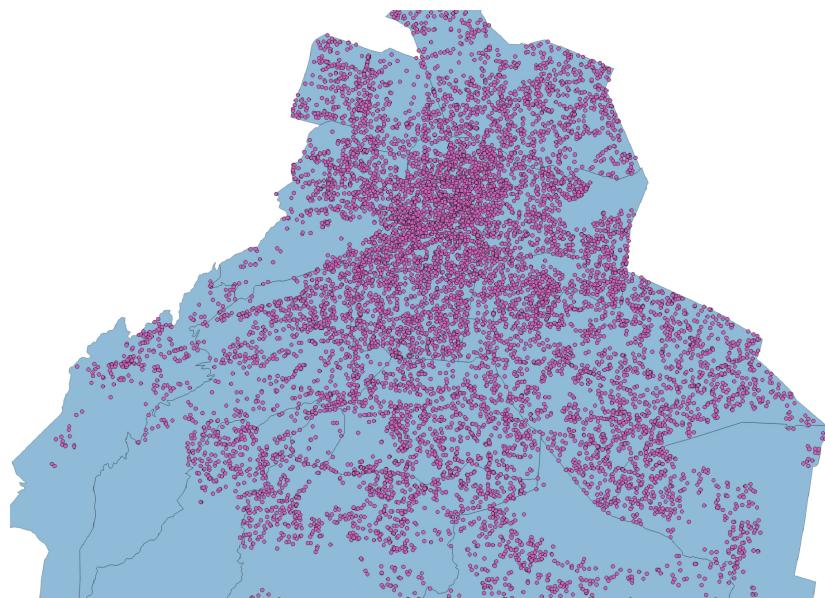


Figura 4. Número de carpetas de investigación con año del hecho entre 1915 y 1960
Elaboración propia con datos del PDACDMX

Es por ello, que el conjunto de datos inicial debe ser sometido a una etapa de limpieza o preprocesamiento. El resultado, será un conjunto de datos donde se eliminaron aquellas carpetas de investigación que pueden tener alguna inconsistencia o bien, no haber una correspondencia con el tipo de delito que se quiere denunciar (por ejemplo, indicar un robo en estación del metro mientras que la ubicación del delito está alejada de cualquier estación del metro). Pero, la información de los delitos se describe mediante puntos en un mapa, donde acorde a la narrativa de las víctimas de delito, ocurre un incidente delictivo. Por ejemplo, seleccionando aquellos delitos reportados durante el 2025, se puede generar un mapa como el que se muestra en la Figura 5.



**Figura 5. Carpetas de investigación denunciadas durante el año 2025.
Elaboración propia con datos del PDACDMX**

Pero como habíamos comentado anteriormente, el algoritmo para calcular las rutas requiere de estimación de pesos en el grafo que describe las calles de la ciudad. Es por ello, que se requiere de un paso intermedio, mediante la aplicación de un algoritmo conocido como Estimación de Densidad de Núcleo, o KDE, por sus siglas en inglés (*Kernel Density Estimation*). Con este algoritmo se puede obtener una imagen que estima la incidencia delictiva considerando la distribución geográfica de los delitos. Ese algoritmo es muy utilizado en análisis delictivo, porque permite identificar las zonas de mayor incidencia delictiva,

conocidas como *hot-spots*. En la Figura 6, se muestra el resultado de aplicar este algoritmo sobre el conjunto de datos de carpetas de investigación.



**Figura 6. Estimación de densidad de núcleo tomando el conjunto completo de carpetas de investigación de la FGJ.
Elaboración propia con datos del PDACDMX**

Cálculo de rutas

Con ese enfoque se puede adaptar un algoritmo de ruteo para que tome en consideración la incidencia delictiva, por ejemplo, en un horario específico, ya que hay horarios más propensos para la incidencia delictiva. Finalmente, en la Figura 7, podemos consultar el resultado de calcular algunas rutas entre dos puntos determinados. Se puede observar que las rutas calculadas evitan (en menor o mayor medida) transitar por las zonas con mayor incidencia delictiva.

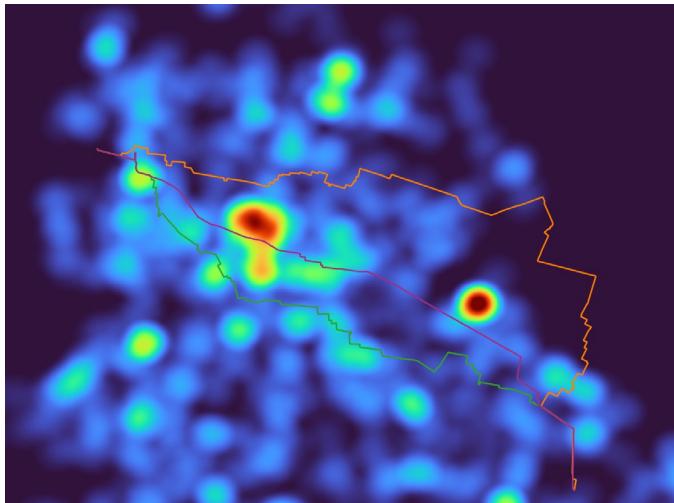


Figura 7. Generación de rutas entre 2 puntos.
Elaboración propia con datos del PDACDMX

En la búsqueda de opciones de movilidad eficientes y seguras nos encontramos, además del problema del tráfico y la inseguridad, con un enemigo silencioso pero mortal que es la mala calidad del aire a la que cotidianamente estamos expuestos en la ciudad. Las partículas contaminantes que respiramos diariamente afectan gravemente a nuestra salud, en particular a niñas, niños, adultos mayores y personas con vulnerabilidad respiratoria. Transitar ciertas avenidas o permanecer en zonas con mala calidad del aire se traduce en una exposición constante a niveles peligrosos de contaminantes. En este punto nos preguntamos si es posible monitorear esos niveles para poder tomar decisiones que reduzcan nuestra exposición al peligro. Para responder esa inquietud, podemos buscar información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la Ciudad de México, la cual colecta información diaria sobre contaminantes, como la concentración de partículas cuyo tamaño es menor a diez micras (PM10), el dióxido de Nitrógeno (NO₂) y el Ozono (O₃) entre otros. Esta información está disponible para su consulta desglosada por contaminante, hora y alcaldía donde se encuentra cada estación de monitoreo. La importancia de estos datos se extiende más allá del monitoreo: sirven también para la toma de decisiones, el análisis ambiental y, como hemos planteado aquí, para el diseño inteligente de rutas que reduzcan la exposición a esos contaminantes considerando los datos disponibles al momento. En la Figura 8 se muestra el sitio oficial con información diaria de calidad del aire y salud en la zona metropolitana del Valle de México.

Actualmente existen algoritmos capaces de tomar decisiones complejas y que integran **simultáneamente** diversos criterios. Eso se estudia en una rama de las matemáticas, conocida como optimización multicriterio, y aplicar esas técnicas permite generar rutas que no solo sean rápidas, sino también más seguras, menos contaminadas y adaptadas a las necesidades locales. Al incorporar este tipo de inteligencia en los sistemas de navegación, se abren nuevas posibilidades para tomar decisiones óptimas y sostenibles, tanto a nivel personal como para la planificación urbana.

Conclusión

En conclusión, incorporar en los algoritmos de navegación criterios específicos que son de importancia para los individuos que habitan cada región es, más que un lujo, una necesidad; si queremos incidir en el bienestar y la salud de las comunidades. El aprovechamiento de la tecnología y el acceso abierto a datos de monitoreo nos da la oportunidad, no solo de mejorar la experiencia en lo individual, al desplazarse por la ciudad, sino que también abren la puerta a políticas públicas más integrales y sostenibles. Como ciudadanos, académicos y tomadores de decisiones, tenemos la oportunidad, y la responsabilidad, de aprovechar la información que está disponible para construir rutas seguras y espacios más habitables.



CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

CALIDAD
DEL AIRE

Inicio | Mapa del sitio | Preguntas frecuentes | Contacto | CDMX | SEDEMA |

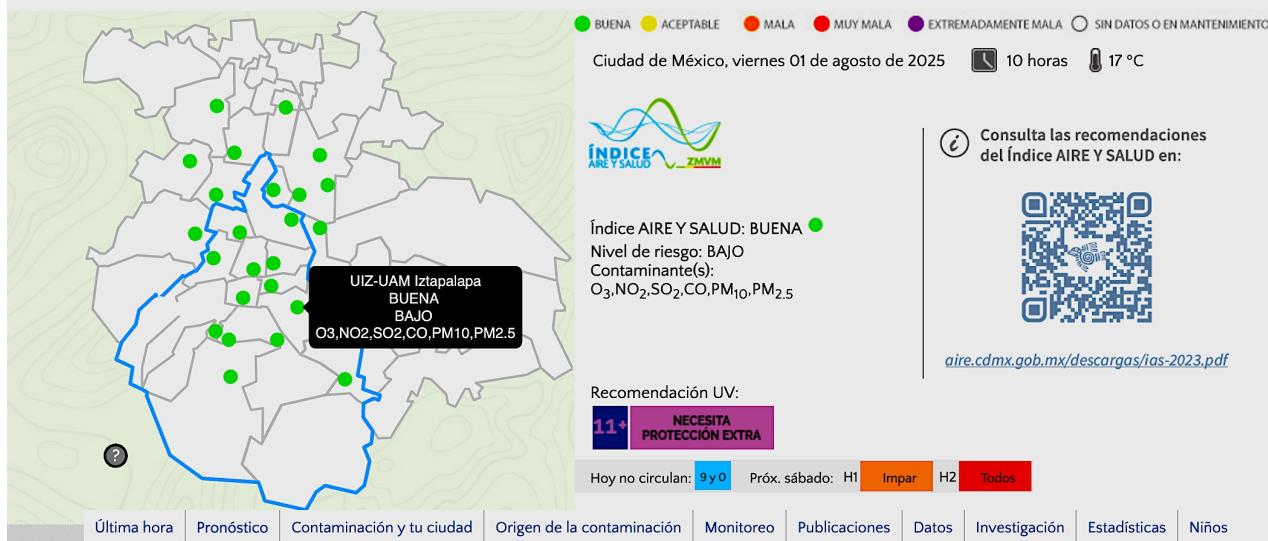


Figura 8. Tomada de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/> donde se puede consultar el índice diario de calidad del aire por alcaldía, así como recomendaciones sobre salud y contaminación para la población.

¿Qué otros criterios te parecen importantes para considerar en tus rutas de transporte diario?

Para conocer más, consulta:

- 1) Algoritmo de ruteo.

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/path-algorithm>

- 2) Inicios del Portal de Datos Abiertos de la CDMX.

[https://infocdmx.org.mx/innovaciones/transparencia/2013/2013_02\(CG_CedulaProyecto.pdf\)](https://infocdmx.org.mx/innovaciones/transparencia/2013/2013_02(CG_CedulaProyecto.pdf))

- 3) Datos de Carpetas de Investigación.

<https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/carpetas-de-investigacion-fgi-de-la-ciudad-de-mexico>

- 4) Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México

<https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/red-automatica-de-monitoreo-atmosferico>

- 5) Contaminación del Aire y Salud de acuerdo con la OMS

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Análisis geoespacial de ciclovías y estaciones de bicicletas en la Ciudad de México

Magdalena Saldaña Pérez

amagdasaldana@cic.ipn.mx

Alberto Silva Guzmán

silvaguzmanalberto@gmail.com

Abdiel Reyes Vera

areyesv2019@cic.ipn.mx

Gabriela Elisa Sued

gabriela.sued@sociales.unam.mx

El primer plan de movilidad en bicicleta llamado *Witte Fietsenplan* (plan de bicicletas blancas), se originó en Países Bajos en el año de 1965 con 50 bicicletas en la calle sin candado, libres para el público. El plan duró poco ya que eran robadas o dañadas. Algunas de las ciudades que continuaron con el proyecto de bicicletas públicas fueron Copenhague, Dinamarca en 1995 con el plan *Bycyklen*, en el cual se podían utilizar las bicicletas a cambio de monedas, y la ciudad francesa de Lyon, en donde se comenzaron a utilizar bicicletas eléctricas inteligentes por medio de una aplicación móvil en el año 2005. Por su parte, la Ciudad de México en 2010, convirtió a México en el primer país Latinoamericano en proporcionar bicicletas de uso público mediante el programa *Ecobici*, iniciando con un total de 1,114 bicicletas distribuidas en 85 estaciones estratégicamente ubicadas [1].

El programa *Ecobici* es el más grande y [más] utilizado en América Latina, permitiendo un promedio de 70 mil viajes al día, se calcula que, una bicicleta puede llegar a realizar aproximadamente 10 viajes por día [2]. Su primer ciclo-estación instalada fue la número 27, la cual está colocada entre las avenidas Reforma y Havre [3].

El sistema actualmente se compone de 687 estaciones, que contienen racks para bicicletas en las que se colocan las unidades disponibles para su uso, y en las que los usuarios que han utilizado una bicicleta pueden devolverla a *Ecobici*, aún y cuando esa no haya sido la estación donde originalmente se tomó la bicicleta; de

esta forma se permite a los usuarios desplazarse a través de la ciudad y devolver la unidad en la estación de servicio más cercana.

En el año de 2011, el gobierno del Distrito Federal, ahora Ciudad de México, anunció una ampliación del sistema de *Ecobici* dividida en dos etapas, la primera consistía en la colocación de 110 ciclo-estaciones con 1,600 bicicletas. Estás ciclo-estaciones fueron distribuidas en las colonias Buenavista, Centro, Doctores, Hipódromo, Juárez, Roma, Tabacalera y San Rafael. Para la segunda etapa se colocaron 75 nuevas ciclo-estaciones con 1,170 bicicletas, dichas ciclo-estaciones fueron ubicadas en diferentes colonias como son Anzures, Escandón, Granada, Ampliación Granada, San Miguel Chapultepec, Polanco, Hipódromo Condesa, así como la Primera Sección del Bosque de Chapultepec [4].

Una vez que se comenzó con la ejecución del proceso de ampliación, se dió a conocer la preventa de tarjetas de movilidad, esto convirtió a *Ecobici* en el primer sistema automático instalado en una megaciudad en América Latina [5]. Para el año de 2016 se dió por finalizada la etapa 2 de expansión integrando 171 nuevas ciclo-estaciones en 23 colonias de la Ciudad de México. De esta forma, en 2016 *Ecobici* se consolidó como el cuarto sistema de bicicletas a nivel mundial, con un total de 44 estaciones operando con 6,500 bicicletas [6]. A finales del año 2021 se renovaron 480 ciclo-estaciones, y el sistema *Ecobici* reportó un total de 687 estaciones y 9,308 bicicletas [7].

Para poder hacer uso de las bicicletas del programa *Ecobici* es necesario contar con registro en el sistema, para registrarse existen tres opciones: 1) en la página Web del servicio, al llenar un formulario, eligiendo un plan y agregando el método de pago, 2) por medio de la aplicación móvil *Ecobici*, 3) acudiendo a cualquier Centro de Atención a Personas Usuarias (CAPU), en el horario de atención disponible, presentando una identificación y seleccionando un medio de pago [8].

Existen diferentes tipos de planes para disponer de una *Ecobici*, con precios acordes a la duración del plan de suscripción, que puede ser anual, de 7 días, de 3 días y de un solo día. Para hacer uso de las bicicletas disponibles en las estaciones existen dos maneras diferentes, una es por medio de la aplicación, localizando las estaciones, se detecta y lee el código QR que se encuentra impreso en la bicicleta

de la estación elegida y la unidad puede ser usada durante 45 minutos. La otra forma es mediante el uso de la tarjeta de movilidad integrada, al llegar a la ciclo-estación, se pasa la tarjeta de movilidad en el lector de punto de anclaje, se puede usar la bicicleta 45 minutos y después debe ser colocada en la estación más cercana al destino del usuario [9].

El sistema de *Ecobici* forma parte de las iniciativas de sustentabilidad de la Ciudad de México al proporcionar un medio de transporte eficiente, no contaminante, bajo un esquema de renta. Algo que destaca en el sistema es el crecimiento exponencial que ha presentado desde sus inicios en 2010, cuando comenzó con 85 estaciones y 1,114 bicicletas [9]. En la gráfica de la Figura 1, se muestra el crecimiento anual que ha tenido el servicio en cuanto a estaciones y bicicletas.



Figura 1. Aumento de estaciones y unidades de bicicletas desde el inicio del programa *Ecobici*, hasta el registro del año 2023. Información obtenida del portal de *Ecobici* (ecobici.cdmx.gob.mx)

En la Figura 2, se muestran las estaciones del sistema Ecobici con las que cuenta la Ciudad de México.

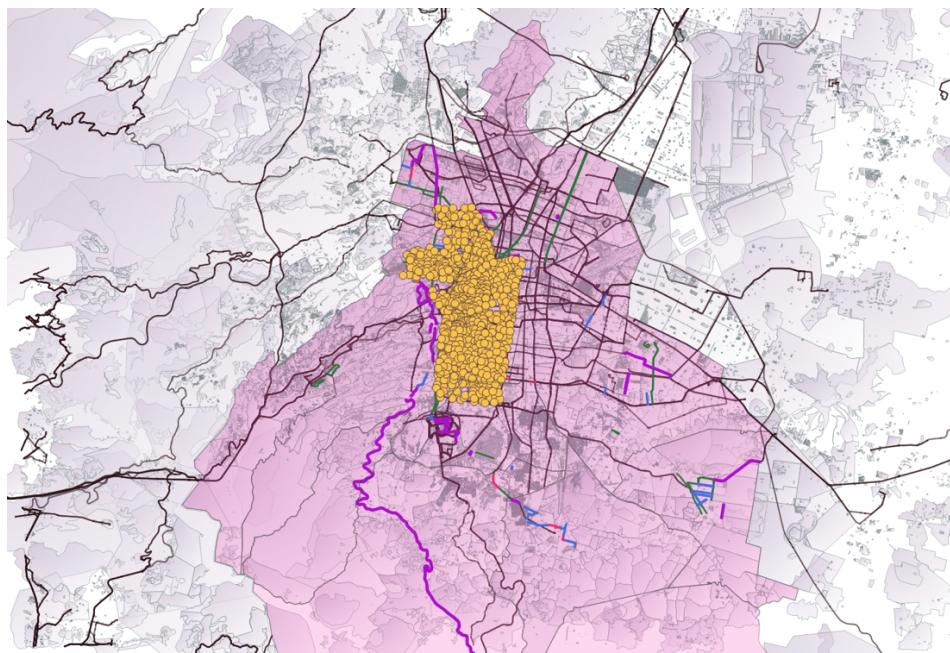


Figura 2. Esquema general de la ubicación de estaciones del sistema Ecobici en la Ciudad de México. El polígono rosa representa a la Ciudad de México, se observa que las estaciones de servicio se encuentran en la parte norte y centro de la entidad.

Si bien es cierto que el sistema *Ecobici* pertenece a la Ciudad de México, y que para facilitar su uso y cuidar la integridad de los usuarios se han destinado carriles de circulación en las vialidades por las que se tiene pensado que los usuarios del sistema se desplacen, también se permite que aquellos ciudadanos que cuenten con su propia bicicleta pueden hacer uso de los carriles reservados para este medio de transporte.

Es precisamente en las vialidades en donde se presentan algunos fenómenos relevantes. Como se muestra en la Figura 3, en la Ciudad de México podemos encontrar, además de las vialidades exclusivas para automóviles y motocicletas, cuatro diferentes tipos de vialidades exclusivas para bicicletas: ciclo-carril, ciclovía, ciclovía bidireccional, y carril de prioridad ciclista.

Existe además un carril denominado carril bus-bici, un carril que por características de demanda de la vialidad en la que se encuentra, debe ser compartido por autobuses y por el sistema de *Ecobici*. La característica principal del carril bus-bici es que su anchura permite el rebalse adecuado entre autobuses y vehículos no motorizados al tener entre 4.2 y 4.6 metros de ancho, además, en estos carriles los autobuses no deben exceder la velocidad de 30 kilómetros por

hora. Este tipo de carril sólo está implementado en vías primarias. Debido a que resulta un carril de alta utilidad y bajo costo al compartir la infraestructura dedicada al sistema de autobuses, los carriles bus-bici son utilizados en diversos países como Inglaterra y Francia por mencionar algunos [11]. Es tal la relevancia del sistema, que incluso existe un Manual de Recomendaciones para carriles Bus-Bici de la Ciudad de México [12].

El carril de prioridad ciclista, es un carril en el que se debe dar prioridad al ciclista en todo momento. El ciclo-carril, es un carril destinado al paso de bicicletas en vialidades en las que se desplazan vehículos motorizados. Este tipo de carriles ha sido integrado en avenidas y calzadas con la finalidad de preservar la seguridad de los usuarios de bicicletas.

Una ciclovía es una vía destinada exclusivamente para el uso de bicicletas, en la Ciudad de México se compone por la conexión de los ciclo-carriles que cruzan avenidas y conectan a su vez diferentes alcaldías entre sí. Un ejemplo de ciclovía es la de Insurgentes, que conecta a través de la avenida de los Insurgentes (una de las más importantes y céntricas de la ciudad), con las alcaldías Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Benito Juárez, y Coyoacán, registrando una longitud de 28.56 kilómetros de longitud [13]. Las ciclovías bidireccionales, como su nombre lo indica, son aquellas en las que pueden circular bicicletas en ambos sentidos, debido a que no hay espacio suficiente en la avenida que cruzan, para destinar un carril de ida y uno de vuelta. De manera general, el sistema de ciclovías en la Ciudad de México cubre 535.54 kilómetros, de los cuáles 72.6 kilómetros pertenecen a carriles bus-bici.

A pesar de la utilidad y relevancia que tiene el uso de las ciclovías en la Ciudad de México, es necesario resaltar que, no todas las alcaldías cuentan con el servicio de *Ecobici*, es decir, no cuentan con estaciones para la renta de bicicletas ni unidades que pertenezcan al gobierno de la ciudad, sin embargo, muchas alcaldías no incluidas en el sistema *Ecobici* han comenzado a establecer sus propios ciclo-carriles con la finalidad de apoyar a sus habitantes. El problema principal es que, en muchas ocasiones, los ciclo-carriles establecidos de esta forma pierden continuidad, es decir, llegan a avenidas y vialidades en las que desaparece el carril para bicicletas, lo que pone en riesgo la vida de los ciclistas, quienes al no contar

con un carril reservado, se ven en la necesidad de conducir sus bicicletas sobre avenidas en las que cualquier vehículo motorizado podría dañarlos, o bien requieren de una planeación de viaje a través de vías secundarias o terciarias.

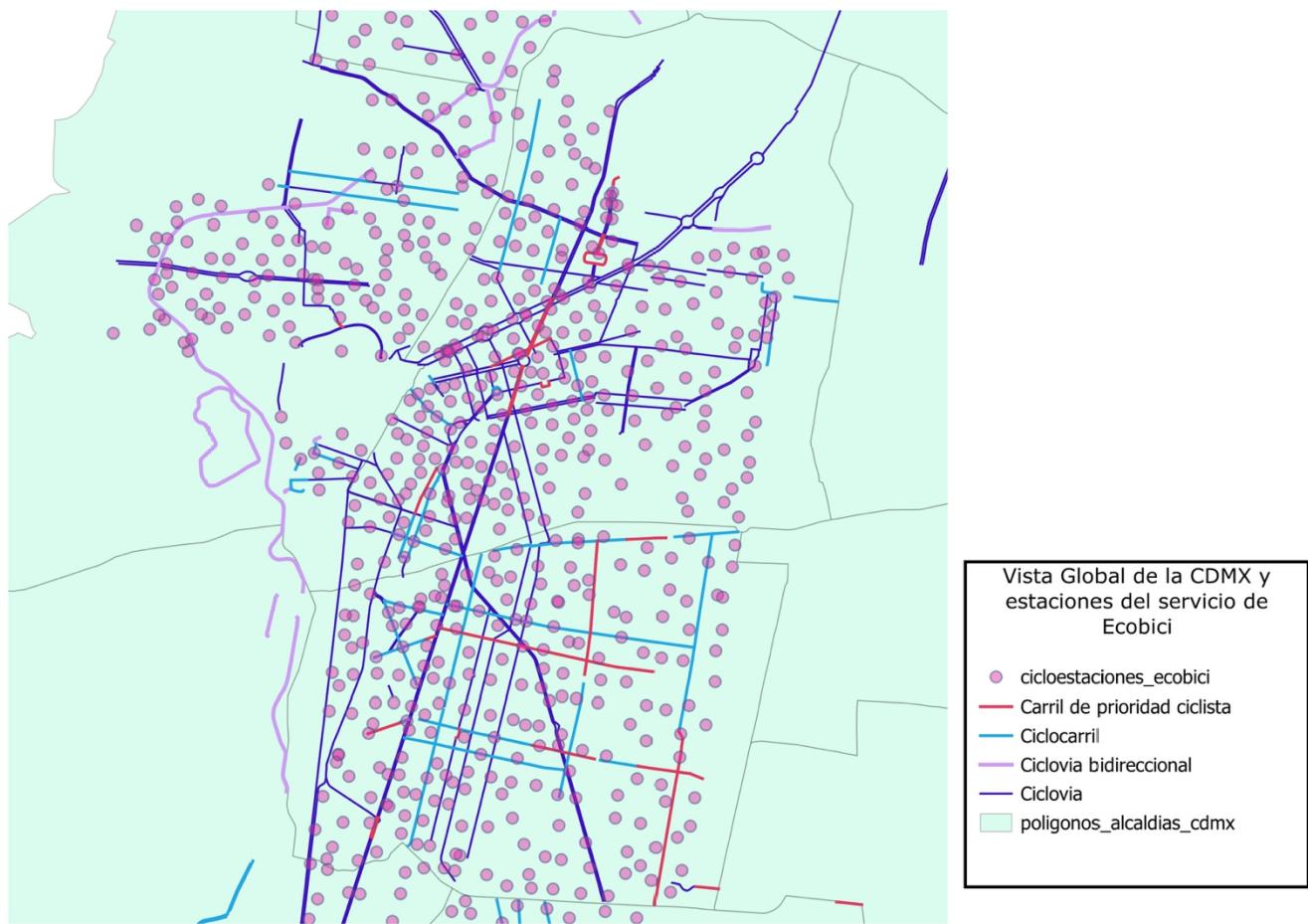


Figura 3. Mapa de ciclovías y su intersección con vialidades de la Ciudad de México. Se observan los diferentes tipos de ciclovía, así como algunas estaciones de Ecobici. La zona geográfica representada es la alcaldía Cuauhtémoc.

A pesar de la utilidad y relevancia que tiene el uso de las ciclovías en la Ciudad de México, es necesario resaltar que, no todas las alcaldías cuentan con el servicio de Ecobici, es decir, no cuentan con estaciones para la renta de bicicletas ni unidades que pertenezcan al gobierno de la ciudad. Sin embargo, muchas alcaldías no incluidas en el sistema Ecobici han comenzado a establecer sus propios ciclocarriles con la finalidad de apoyar a sus habitantes. El problema principal es que, en muchas ocasiones, los ciclo-carriles establecidos de esta forma pierden continuidad, es decir, llegan a avenidas y vialidades en las que desaparece el carril para bicicletas, lo que pone en riesgo la vida de los ciclistas, quienes al no contar

con un carril reservado, se ven en la necesidad de conducir sus bicicletas sobre avenidas en las que cualquier vehículo motorizado podría dañarlos, o bien requieren de una planeación de viaje a través de vías secundarias o terciarias.

Actualmente son seis alcaldías de la Ciudad de México que cuentan con una fuerte presencia de estaciones del sistema Ecobici, es decir, sólo el 37.5% del total de las alcaldías. Además, todas participan en el programa en diferente proporción. En la Figura 4, se muestran las alcaldías de Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán Cuauhtémoc, y Miguel Hidalgo.

Por medio del portal de datos abiertos de la Ciudad de México [14], es posible obtener información sobre las estaciones que cubría el servicio de renta de bicicletas en 2023 y compararlo con las estaciones en servicio en 2025, resultando así los siguientes hallazgos[:]

- En 2023, en la alcaldía Miguel Hidalgo, había 113 estaciones, en Cuauhtémoc 199 estaciones, en Benito Juárez 168 estaciones, y no se obtuvo registro de las alcaldías Coyoacán, Álvaro Obregón ni Azcapotzalco.
- En 2025, se registraron en Miguel Hidalgo 139 estaciones, en Cuauhtémoc 243, en Benito Juárez 213, y aparecen Coyoacán con 37 estaciones, Álvaro Obregón con 17 estaciones y Azcapotzalco con 28 estaciones; lo cual coincide con el crecimiento reportado durante los últimos años y que se presenta en la gráfica de la Figura 1.
- En el portal de datos abiertos, se reporta también que, tan solo del 31 de agosto de 2022 al 30 de abril de 2023, se llevaron a cabo 21,956 viajes en bicicletas del servicio de renta de bicicletas.

Es importante resaltar que las alcaldías Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Cuauhtémoc son céntricas y referentes de la economía y cultura de la Ciudad de México; de ahí la importancia de brindar el servicio de renta de bicicletas con mayor volumen tanto en unidades y estaciones, como en vialidades.

Por ejemplo, la alcaldía Miguel Hidalgo cuenta con una gran cantidad de museos, parques, y es en ella donde se encuentra la colonia Polanco, sede de oficinas y

tiendas de lujo; también en esa alcaldía se encuentra el complejo de Los Pinos, antigua residencia de los presidentes de México. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la alcaldía Benito Juárez es percibida como la alcaldía con mayor seguridad en la ciudad, se compone por seis sectores: Nápoles, Del Valle, Narvarte, Portales y Nativitas, zonas residenciales en su mayoría [15]. La alcaldía Cuauhtémoc por su parte, es donde se encuentra el Palacio Nacional, actual residencia de la presidencia de la república, el Palacio de Bellas Artes, máximo exponente de la cultura del país, y ruinas arqueológicas que muestran los orígenes de México. Así, la alcaldía Cuauhtémoc es el centro político, económico y religioso del país, diariamente recibe una población flotante cinco veces mayor a la población que habita de manera fija la alcaldía [16].

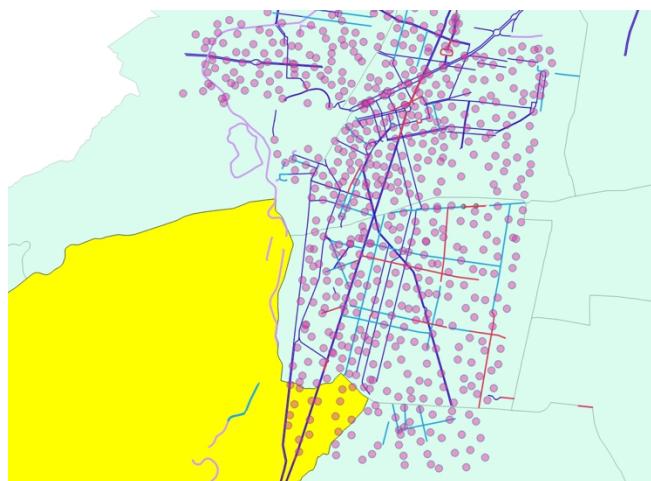
La importancia de las actividades políticas, culturales y económica que se desarrollan en las tres alcaldías mencionadas, explica la necesidad que tienen sus habitantes del servicio de renta de bicicletas y al mismo tiempo evidencia la necesidad de incrementar el número de estaciones del servicio en las otras alcaldías, para así brindar equitativamente el servicio a los habitantes; también, plantea retos de urbanización, debido a que la cantidad de vehículos motorizados que se desplazan todos los días dentro de la ciudad, asciende a poco más de 6.4 millones; la Ciudad de México junto con el Estado de México concentran el 30% del parque vehicular del país [17]. Sin embargo, aumentar carriles exclusivos para bicicletas implica, en la mayoría de los casos, la reducción de carriles vehiculares, lo cual puede aumentar el tráfico y accidentes viales si no se maneja debidamente.

Otro contraste notable es el que ocurre cuando comparamos la logística de carriles asignados a bicicletas en la Ciudad de México, con los asignados en el Estado de México, entidad federativa aledaña a la ciudad. En el Estado de México, no se cuenta con el servicio de renta de bicicletas, y solo existen ocho ciclovías bien establecidas; sin embargo, únicamente cinco de ellas conectan al estado con la ciudad, o bien conectan municipios, brindando un servicio como el de la red de ciclovías de la Ciudad de México. Dos ciclovías son de uso turístico y de esparcimiento, y una de ellas conecta diferentes zonas de Toluca, pero carece de total conexión entre los ciclo-carriles que la componen.

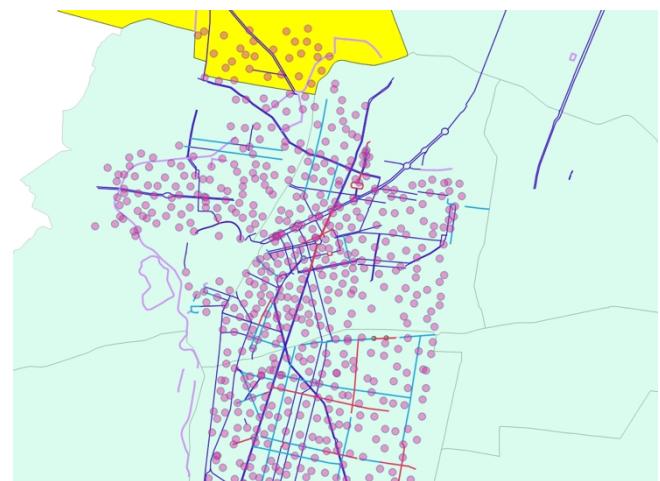
Sin duda, el sistema *Ecobici* representa una ventaja de transporte para los habitantes de las alcaldías que proporcionan el servicio; el establecimiento de ciclovías y la planeación urbana considerando a las bicicletas como uno de los principales medios de transporte citadinos es un acierto en la búsqueda de la sustentabilidad y la mejora de calidad de vida de las personas, sin embargo, aún faltan más carriles por forjar no solo en la Ciudad de México sino en las otras entidades federativas del país.

Agradecimientos

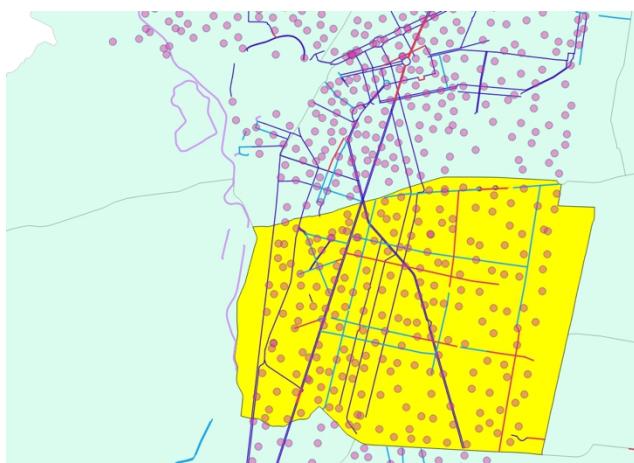
Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN a través del proyecto 20250037, a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la CDMX a través del proyecto SECTEI/2023/084, y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por las becas 957928 y 1275526.



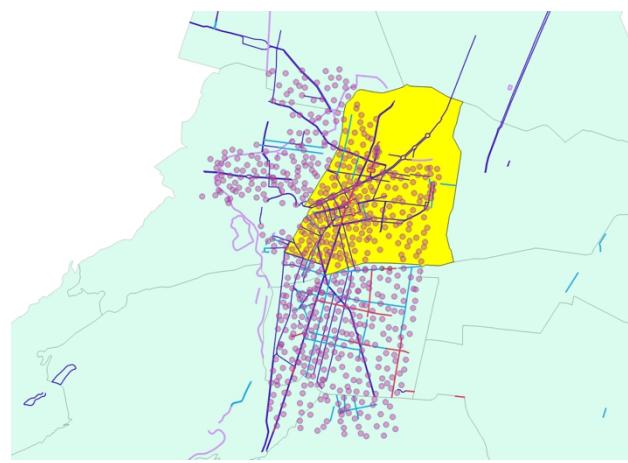
(a) Alcaldía Álvaro Obregón



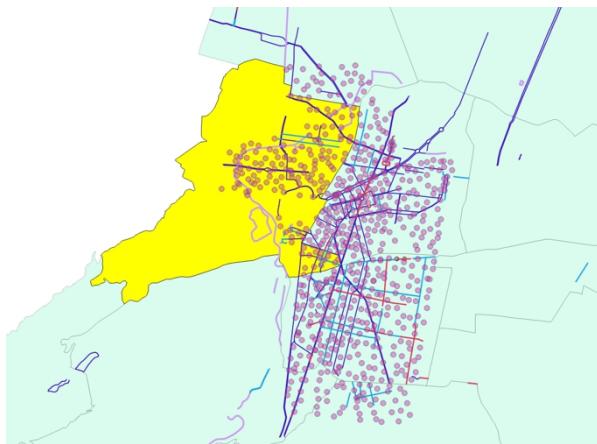
(b) Alcaldía Azcapotzalco



(c) Alcaldía Benito Juárez



(d) Alcaldía Cuauhtémoc



(e) Alcaldía Miguel Hidalgo



(f) Alcaldía Coyoacán

Figura 4. Proporción de estaciones de *Ecobici* asignadas a las seis alcaldías con mayor presencia en el sistema representadas de color rojo en cada caso. Se observa que las alcaldías Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Cuauhtémoc presentan la mayor cantidad de estaciones.

Para conocer más, consulta:

- 1) Ecobici portal (2022, 8 noviembre). Conoce la historia del sistema de bicicletas compartidas - *Ecobici*.

<https://ecobici.cdmx.gob.mx/conoce-la-historia-del-sistema-de-bicicletas-compartidas/>

- 2) *Ecobici* portal (2025, 20 enero). Cuida lo que te mueve - Ecobici.

<https://ecobici.cdmx.gob.mx/cuida-lo-que-te-mueve/#:~:text=ECOBICI%20es%20el%20sistema%20de,9%20y%2010%20recorridos%20diarios.>

- 3) *Ecobici* portal (2024, 17 febrero). ¡14 años rodando contigo! - *Ecobici*.

<https://ecobici.cdmx.gob.mx/14-anos-rodando-contigo/>

- 4) Notimex. (2011, 8 noviembre). Anuncia Ebrard ampliación de *Ecobici*.

El Economista. <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Anuncia-Ebrard-ampliacion-de-Ecobici--2011107-0062.html>

- 5) Hoy empieza preventa de tarjetas de *Ecobici*. (2012, 1 agosto).

Animal Politico. <https://www.animalpolitico.com/sociedad/manana-empieza-preventa-de-tarjetas-de-ecobici>

- 6) Inauguran en Benito Juárez IV Fase del Sistema *Ecobici*. (2015, 16 febrero).

NTCD. <https://ntcd.mx/nota-delegaciones-inauguran-en-benito-juarez-iv-fase-del-sistema-ecobici-20150216>

- 7) Renovación y expansión del sistema *ECOBICI*. (sin fecha).

semovi.cdmx.gob.mx.

https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PPT_Ecobici.pdf

- 8) *ECOBICI* para principiantes. (2023, 11 enero).

<https://ecobici.cdmx.gob.mx/ecobici-para-principiantes/>

- 9) Conoce sistema - *Ecobici*. (2025, 9 mayo).

<https://ecobici.cdmx.gob.mx/conoce-sistema/>

- 10) Luz Coello. (2025, 4 junio). Plan Ciclista CDMX: así será la inversión millonaria para mejorar la red Ecobici y ciclovías rumbo al Mundial 2026.
Infobae. <https://www.infobae.com/mexico/2025/06/04/plan-ciclista-cdmx-asi-sera-la-inversion-millonaria-para-mejorar-la-red-ecobici-y-ciclovias-rumbo-al-mundial-2026/>
- 11) Cazorla, P. (2017). Cycling and public transportation sharing space: An option to increase cycling ridership.
MASKANA, 8(2), 71–81.
<https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.06>
- 12) Recomendaciones para la mejora de la seguridad y operación de los carriles exclusivos de transporte público compartido con vehículos no motorizados. (sin fecha).
https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Publicaciones/Recomendaciones_carril_busbici_2024_CRIC.pdf
- 13) Ciclovías - Gobierno CDMX. (2022, August 30).
<https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/ciclovias/>
- 14) De Innovación Pública, A. D. (sin fecha). Portal de datos abiertos de la CDMX.
<https://datos.cdmx.gob.mx/>
- 15) Orgullo BJ. (2025, 5 agosto). Alcaldía Benito Juárez.
<https://alcaldiabenitojuarez.gob.mx/>
- 16) Alcaldía 2024 – 2027 – Gobierno. (2025, 5 agosto).
<https://alcaldiacuauhtemoc.mx/>
- 17) García, A. K. (2024, 16 febrero). Cada vez hay más autos circulando en la CDMX: un vehículo de motor por cada 1.4 capitalinos. El Economista.
<https://www.eleconomista.com.mx/politica/Cada-vez-hay-mas-autos-circulando-en-la-CDMX-un-vehiculo-de-motor-por-cada-1.4-capitalinos-20240216-0037.html>

Monitoreo del consumo de agua en los hogares de la CDMX utilizando internet de las cosas

Carlos Guzmán Sánchez Mejorada
Miguel Torres Ruiz
Rolando Quintero

cmejorada@cic.ipn.mx
mtorres@cic.ipn.mx
quintero@cic.ipn.mx

Actualmente, a nivel mundial, se enfrenta un problema de escasez de agua; a pesar de que aproximadamente el 71% de la superficie del planeta está cubierta por dicho recurso. Sin embargo, sólo cerca del 2.5% corresponde a agua dulce, y de esa pequeña fracción, alrededor del 14% se distribuye a través de redes de suministro público para el consumo humano, ver Figura 1.

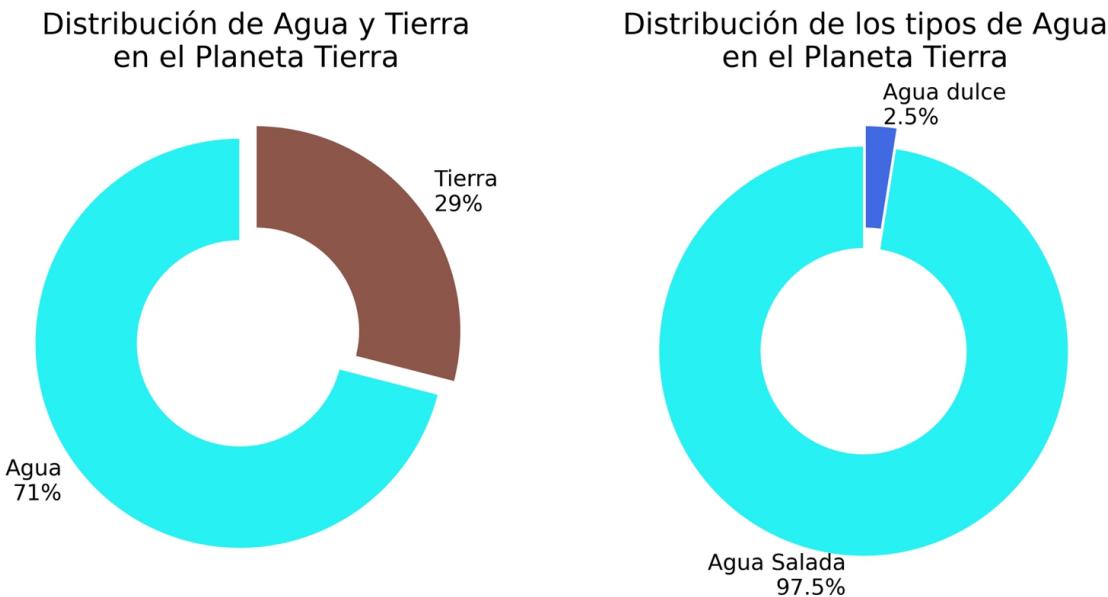


Figura 1. Distribución del agua en el Planeta Tierra

El agua dulce del planeta se distribuye de la siguiente forma: el 68.7% se encuentra congelada en los glaciares y casquetes polares, el 30.1% se encuentra en depósitos subterráneos, aproximadamente el 0.3% en lagos y ríos, que puede consumirse de manera directa y el 0.9% restante se encuentra como vapor de

agua en la atmósfera, en la humedad del suelo y dentro de los organismos vivos. Lo anterior se puede apreciar en la gráfica que se presenta en la Figura 2.

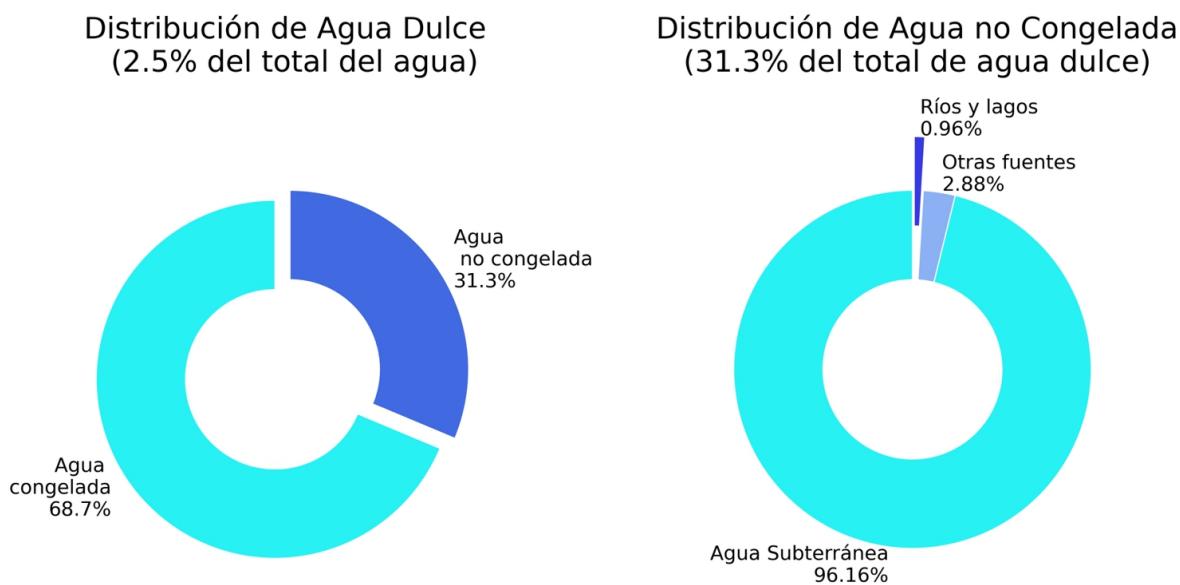


Figura 2. Distribución del agua dulce en el Planeta Tierra

La Ciudad de México no es ajena a esta crisis, ya que problemas como la sobreexplotación de los mantos acuíferos y los sistemas que la abastecen, así como la antigüedad de la red de distribución, la gran cantidad de fugas, el incremento poblacional y la rápida expansión urbana, han provocado que la disponibilidad del vital líquido disminuya año con año.

Para contextualizar la problemática del consumo de agua en la Ciudad de México, se elaboró un mapa que ilustra el consumo por colonia, utilizando los datos abiertos de la Ciudad de México (1). Esos datos de consumo de agua por colonia contienen las coordenadas geográficas que permiten su localización, lo cual es fundamental para el análisis espacial. Esa información geoespacial no solo permite visualizar los niveles de consumo mediante una escala de colores, identificando zonas de menor a mayor gasto que varía del azul al rojo, en donde el azul indica valores de menor consumo y el rojo los de mayor demanda, a su vez, esta representación sienta las bases para futuras integraciones, estrategias para definir políticas públicas y campañas de concientización dirigidas a la población. Por otro lado, se estableció un proceso para vincular las lecturas automatizadas de los medidores con su información geoespacial, con la

finalidad de obtener información más precisa y detallada que permita analizar los patrones de consumo y ubicar los hogares con su respectivo consumo. El impacto directo de este análisis apunta a facilitar la implementación de estrategias de gestión hídrica más precisas y eficientes en distintas áreas geográficas de la ciudad. Asimismo, el contar con información geoespacial y generar pronósticos de consumo por región geográfica, considerando diferentes granularidades, puede auxiliar a las autoridades a crear políticas de gasto hídrico, incrementar la inversión en infraestructura y buscar soluciones sustentables para la ciudad.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) calcula que el consumo promedio de agua es de 380 litros por persona al día [2]. y según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere aproximadamente 100 litros diarios –equivalentes a cinco cubetas de 20 litros– para cubrir sus necesidades básicas de consumo e higiene [3].

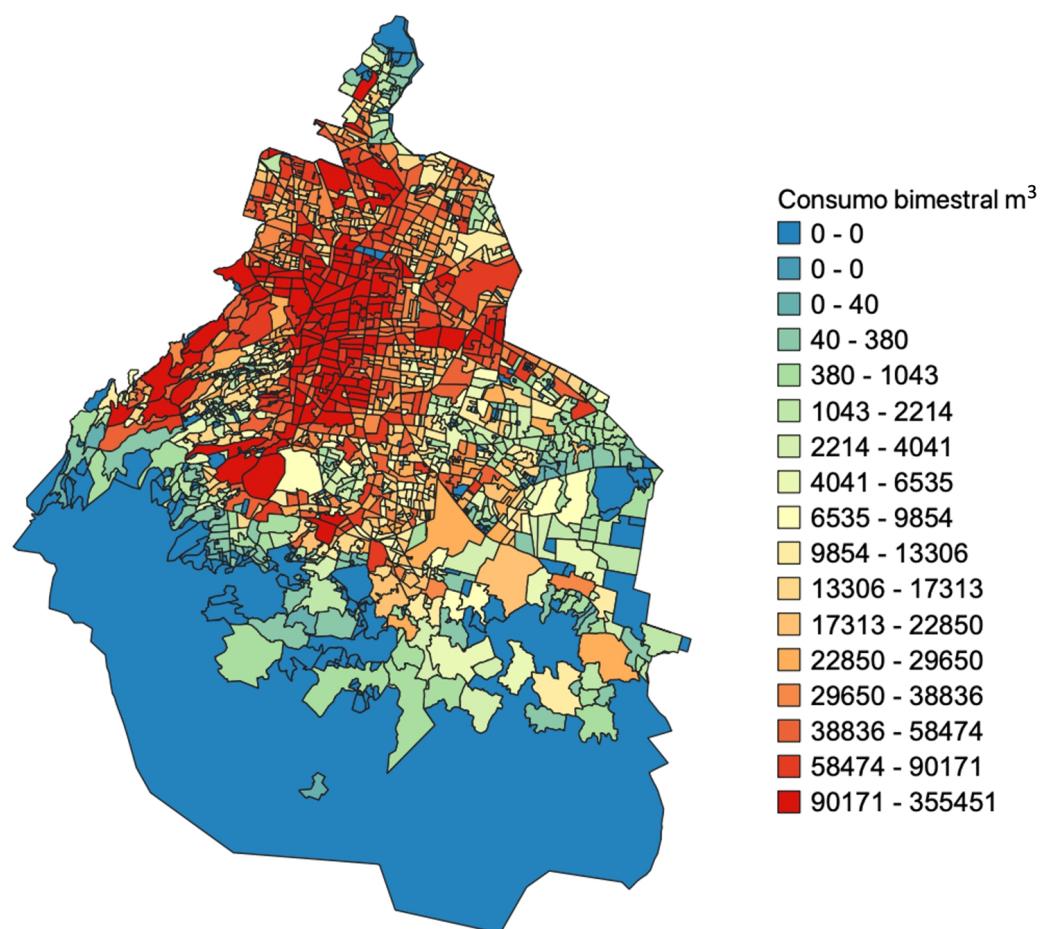


Figura 3. Consumo bimestral de agua por colonia en m^3

SACMEX provee, en promedio, 150 litros de agua potable por persona al día. La diferencia entre este suministro y el consumo promedio de 380 litros puede explicar, en parte, el desabasto de agua en algunas áreas de la Zona Metropolitana del Valle de México.

En los hogares de la Ciudad de México se perciben grandes carencias en el suministro de agua, entre las que destacan el servicio intermitente en el suministro, la cantidad de agua entregada y la desconfianza en la calidad del líquido que se recibe (4).

Por tanto, la medición, a nivel usuario, es de vital importancia para contabilizar el flujo de agua potable que ingresa a las tomas domiciliarias. Para ayudar a reducir dicha escasez, es necesario que la población tome conciencia de la cantidad de agua que consume y la forma en la que la utiliza, empezando por sus hogares, lo cual puede lograrse mediante el monitoreo continuo de su consumo.

¿Qué pasaría si pudiéramos usar las tecnologías de la comunicación e información para medir el consumo de agua de manera automática, precisa y accesible?

El monitoreo del consumo de agua en los hogares, puede llevarse a cabo utilizando aplicaciones y dispositivos inteligentes, implementados en pequeñas computadoras y de bajo costo, lo que implica que los ciudadanos puedan tomar mejores decisiones para reducir y optimizar el uso del agua, contribuyendo al desarrollo sustentable y a la disminución de costos económicos (5).

El *Internet de las Cosas* (IoT *Internet of Things*) (6) toma como base la idea de que todos los objetos físicos cotidianos, pueden conectarse a través de *Internet* para monitorear, medir, enviar, recibir y compartir datos entre ellos, utilizando además, un dispositivo electrónico que puede ser una computadora, la cual cuenta con un programa desarrollado para administrar y procesar la información, la cual puede ser presentada al usuario en forma de gráficas que muestren el consumo diario, por semana o mensual , a través de una pantalla o un reporte impreso, revelando así, los hábitos de su consumo. Otro aspecto importante es que mas, con ayuda de algunos métodos basados en inteligencia

artificial, pueden generar alertas al detectar alguna anomalía en el consumo habitual (7).

Gracias a las arquitecturas de IoT, es posible conectar pequeños dispositivos que recolectan datos mediante comunicación inalámbrica y tecnologías de *Internet*, para luego analizarlos (8). Esas soluciones, de bajo costo y fácil implementación, pueden integrarse en los hogares, permitiendo a los usuarios monitorear de manera eficiente el consumo de recursos esenciales, como el agua. Así, la tecnología se convierte en una herramienta asequible para promover un uso más consciente y sustentable de nuestros recursos.

En este trabajo, se presenta el diseño y construcción de un prototipo que consiste de un dispositivo electrónico que combina tecnología IoT, visión artificial y modelos de procesamiento de datos basados en inteligencia artificial, capaces de identificar patrones visuales, y que fueron creados para revolucionar la forma en que medimos el consumo de agua en nuestros hogares. De esta manera, se busca facilitar el acceso a información precisa y en tiempo real, promoviendo un uso más consciente y eficiente de este recurso vital.

Consideraciones generales

Para el desarrollo del prototipo, se hace uso de las siguientes tecnologías:

- ***Internet de las Cosas***: Esta tecnología es la que hace posible la conexión inalámbrica entre el dispositivo electrónico y el sistema de procesamiento, facilitando la transmisión de los datos sin necesidad de usar cables, lo que hace que la instalación sea más simple y menos invasiva.
- ***Visión artificial***: Captura de imágenes por medio de una cámara que toma fotografías del medidor de agua. Esta tecnología es especialmente útil para medidores antiguos sin capacidades digitales.
- Técnicas de aprendizaje automático especializadas en el análisis de imágenes.

Arquitectura general del sistema

El prototipo del sistema consiste en un dispositivo electrónico que utiliza una cámara integrada para la toma de fotografías de un medidor de agua tradicional. Las imágenes capturadas son enviadas a un sistema de procesamiento de datos visuales, donde se hace uso de las técnicas de aprendizaje automático, cuyos algoritmos pueden aprender a extraer los dígitos que representan el consumo de agua directamente de las fotografías capturadas.

En la Figura 4, se presenta un diagrama del marco general propuesto para el reconocimiento y generación de imágenes del consumo, tomadas de un medidor de agua.

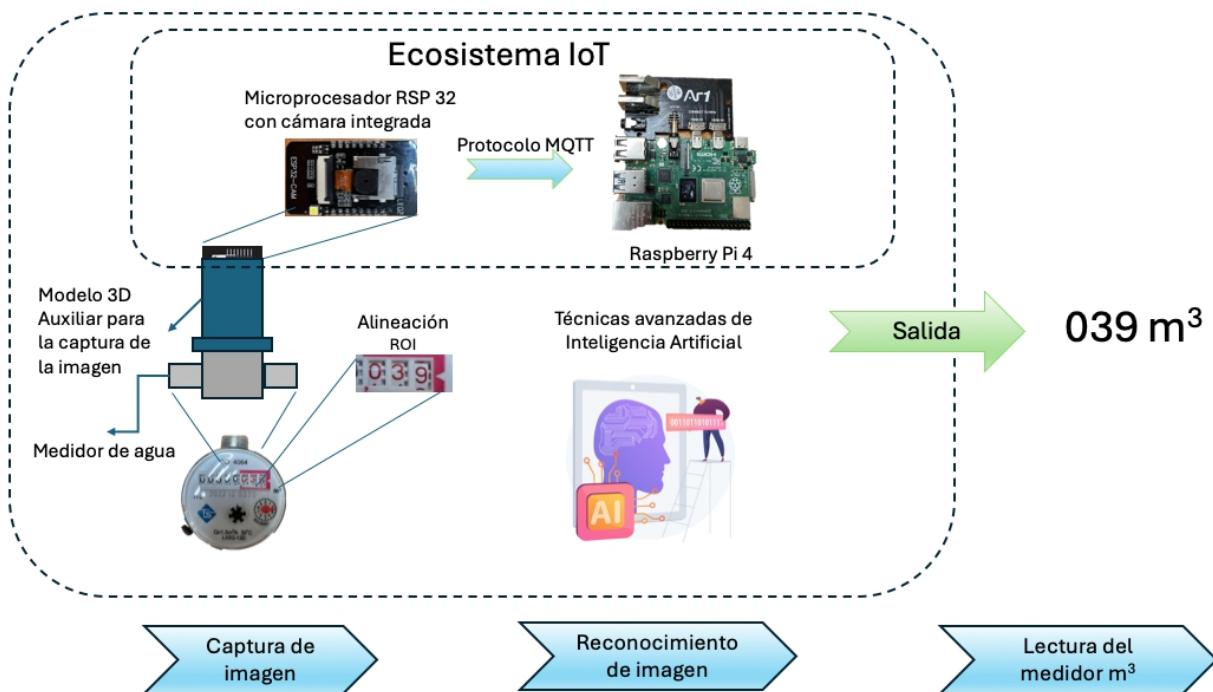


Figura 4. Marco general de aplicación del prototipo de dispositivo electrónico para la lectura de consumo de un medidor de agua

Para la captura de las imágenes, se utiliza un microporcesador ESP32 con cámara integrada, que se encarga de tomar las fotografías del medidor de agua de forma periódica, es decir, en intervalos de tiempo programables. Este componente permite la captura de imágenes en tiempo real, sin la necesidad de la intervención humana.

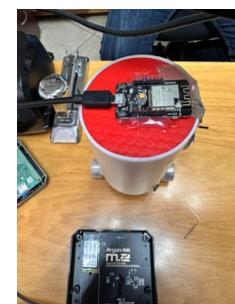
Las imágenes se envían a una minicomputadora Raspberry Pi 4 para su procesamiento, mediante el protocolo *MQTT*. Posteriormente, las imágenes son procesadas aplicando modelos basados en inteligencia artificial, capaces de identificar patrones visuales, con la finalidad de extraer los dígitos correspondientes del medidor.

El protocolo *MQTT* es un protocolo de comunicación diseñado para la transmisión de mensajes entre dispositivos en redes, con ancho de banda limitado o conexiones inestables. Consumo muy pocos recursos, lo que lo hace ideal para aplicaciones en tiempo real.

Los datos de la lectura del medidor, es decir, los datos de consumo, se almacenan en una base de datos y pueden ser consultados por los usuarios mediante una aplicación móvil o una plataforma en línea. Esta tarea permite a los usuarios monitorear su consumo de agua en tiempo real y recibir alertas en caso de detectar patrones de consumo inusuales.

Resultados

En la Figura 5, se muestran los elementos que conforman el prototipo del dispositivo electrónico diseñado para la medición del agua.





(a)



(a)

Figura 5. Fotografías de los componentes del prototipo de dispositivo electrónico para medición del consumo de agua

- (a) Microprocesador ESP32 con cámara integrada, utilizada para la captura de imágenes de consumo del medidor de agua
- (b) Microprocesador ESP32, instalado sobre un modelo 3D
- (c) Modelo 3D, con el microprocesador ESP32, instalado sobre el medidor de agua
- (d) Medidor de agua empleado para probar el prototipo
- (e) Vista lateral del prototipo conectado e instalado sobre el medidor de agua
- (f) Raspberry Pi 4
- (g) Raspberry Pi 4 conectada
- (h) Raspberry Pi 4 dentro de su contenedor

Contribución e impacto del prototipo

Este trabajo es una contribución relevante en múltiples aspectos, tanto técnicos como prácticos, con el potencial de impactar positivamente en la eficiencia, precisión y sostenibilidad de la medición del consumo de agua en los hogares. A continuación, se detallan las principales contribuciones del prototipo desarrollado:

- Al combinar tecnologías de vanguardia como IoT, visión artificial y técnicas avanzadas de inteligencia artificial se apoya a los usuarios en el monitoreo de su consumo de agua.
- Permite que el monitoreo del consumo de agua sea en tiempo real, minimizando los errores asociados a la intervención humana, con lo que se promueve el uso responsable del vital líquido, contribuyendo a la conservación de los recursos hídricos y a la sustentabilidad ambiental.
- Al automatizar la lectura de los medidores, los usuarios pueden identificar consumos excesivos o inusuales de agua, lo que los alerta

para revisar las instalaciones en sus hogares y detectar posibles fugas. Encontrar y reparar estas fugas no solo ayuda a reducir el desperdicio de agua, sino también a ahorrar dinero. Por ejemplo, una fuga pequeña puede desperdiciar cientos de litros de agua al mes, lo que se refleja en un aumento significativo en la factura. Este sistema promueve un uso más responsable y eficiente del agua, beneficiando tanto al medio ambiente como al bolsillo de los ciudadanos.

- Lleva tecnologías como IoT y visión artificial a los hogares, acercando así, estas herramientas a las personas que no están familiarizadas con ellas.

Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones más relevantes del presente trabajo:

- La integración del microprocesador ESP32 con cámara, junto con el modelo 3D para posicionamiento y técnicas de aprendizaje automático, demostró ser una solución eficiente y robusta para el reconocimiento de lecturas de medidores de agua, alcanzando un 97.8% de precisión en la identificación de dígitos. El empleo de un modelo 3D, para montar el dispositivo sobre el medidor de agua—proporciona la estabilidad suficiente, facilitando la captura de las imágenes del medidor.
- El prototipo ayuda a reducir posibles errores humanos en la lectura de los medidores, recopilando de forma eficiente los datos para el monitoreo continuo del consumo en los hogares. Consideramos que este trabajo representa un avance significativo en la automatización del monitoreo del consumo de agua. El prototipo, además de ser una solución tecnológica, también es una herramienta que permite a los ciudadanos tomar decisiones informadas y responsables sobre su consumo de agua. La capacidad de detectar fugas o consumos inusuales no solo genera ahorros económicos, sino que también

promueve un uso más consciente y sostenible de este recurso vital.

Finalmente, debemos mencionar que en un mundo donde el agua es un recurso cada vez más escaso, proyectos como éste, demuestran cómo la ciencia y la innovación pueden ayudar a construir un futuro más sustentable y equitativo para la sociedad.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Instituto Politécnico Nacional, con los proyectos 20251107 y 20251101 y por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, con el proyecto “Aplicación del cómputo urbano para analizar la dinámica urbana y la sustentabilidad de las grandes ciudades”, con registro SECTEI/182/2023.

Para conocer más, consulta:

- 1) Portal de datos abiertos de la CDMX**
<https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/consumo-agua>
- 2) Manejo sustentable del agua CDMX**
<https://www.congresocdmx.gob.mx/archivos/finanzas/infografia manejo sustentable del agua 2022.pdf>
- 3) Who, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition, 2022.**
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- 4) Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México.**
Gestión y Política Pública, 28(1), 39-67.
Revollo Fernández, Daniel A; Rodríguez Tapia, Lilia; Morales Novelo, Jorge A. (2019).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792019000100039
- 5) Energy-Aware Smart Home Planning: A Real Case Study in Montevideo. Uruguay.**
Smart Cities 4th Ibero-American Congress, ICSC-Cities 2021. 1555, págs. 146-161.
Cancún, México: Communications in Computer and Information Science Springer.
https://www.researchgate.net/publication/358856310_Energy-

[aware smart home planning a real case study in Montevideo Uruguay](#)

- 6) *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges.*
International Journal of Engineering Science and Computing,6.
Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016).
[https://www.researchgate.net/publication/330425585 Internet_of_Things-IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/330425585_Internet_of_Things-IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges)
- 7) *An Intelligent Modular Water Monitoring IoT System for Real-Time Quantitative and Qualitative Measurements*
Syrmos, E., Sidiropoulos, V., Bechtisis, D., Stergiopoulos, F., Aivazidou, E., Vrakas, D., Vlahavas, I. Sustainability MDPI (2023), 15(3), 2127
<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2127>
- 8) *Design and Installation of an IoT Electricity and Water Technological and Monitoring Solution.*
Smart Cities 4th Ibero-American Congress, ICSC-Cities 2021. 1555, págs. 146-161.
Cancun, México: Communications in Computer and Information Science Springer.
Escamilla-Ambrosio, P. J., Pulido-Navarro, M. G., Ramírez-Salinas, M. A., & Sossa-Azuela, J. H. (2022).
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-96753-6_21

Análisis de calidad del agua usando Ciencia de Datos

Eduardo Orozco Pérez
Miguel Felix Mata Rivera
Issis Claudette Romero Ibarra
Cristian Barria Huidobro

eorozco@gmail.com
mmatar@ipn.mx
iromero@ipn.mx
cristian.barria@umayor.cl

El acceso a agua limpia y segura es un derecho humano fundamental. Hoy más que nunca, conocer su calidad es esencial para proteger la salud pública y tomar decisiones informadas sobre su uso. En ese contexto, diversas organizaciones internacionales –como la Organización Mundial de la Salud han desarrollado guías para evaluar y asegurar la calidad del agua que consumimos.

En muchos países, como China o México, se han realizado estudios que analizan la calidad del agua, tanto en fuentes naturales como en sistemas urbanos. Esos trabajos han demostrado que la contaminación puede tener múltiples causas: desde fallas en el mantenimiento de tuberías hasta la cercanía de cuerpos de agua con actividades humanas o industriales. Incluso factores naturales, como el tipo de vegetación o de suelo, pueden influir en los niveles de metales pesados y sales disueltas.

También se ha observado que el agua de lluvia –especialmente la recolectada en sistemas pluviales urbanos o para riego puede presentar variaciones importantes en parámetros como el pH, la turbidez o la concentración de sodio, lo que tiene consecuencias tanto para el ambiente como para nuestra salud.

Ante este panorama, algunos estudios recientes han comenzado a aplicar herramientas de ciencia de datos e inteligencia artificial para analizar de manera más profunda los registros disponibles. Gracias a esas tecnologías, hoy es posible:

- Recolectar y procesar muestras de agua de forma sistemática;
- Almacenar y compartir los datos a través de plataformas digitales;
- Aplicar modelos analíticos que detectan patrones y permiten hacer pronósticos.

El proyecto que vamos a describir se enfoca precisamente en ese tercer punto: aprovechar los datos históricos sobre la calidad del agua de lluvia recolectada en la Ciudad de México entre 2017 y 2019. Para ello, se analizaron parámetros como el pH, la turbidez, la dureza y las concentraciones de cloruros, hierro y manganeso. Mediante técnicas de agrupamiento de datos (clustering), se identificaron patrones tanto espaciales como temporales, y se logró vincularlos con factores socioeconómicos.

Además, se diseñaron visualizaciones interactivas y herramientas en línea que permiten a cualquier persona consultar nuestros hallazgos. Así, no solo se facilita la comprensión de la problemática, sino que también se abre la puerta a políticas públicas más justas, sobre todo en zonas donde el acceso a agua de calidad sigue siendo limitado.

Problemática

Los sistemas actuales de monitoreo de calidad del agua, en su mayoría, muestran únicamente datos en tiempo real recolectados por sensores. Es decir, indican si en ese momento el agua cumple con ciertos parámetros, pero no permiten observar cómo ha cambiado esa calidad con el paso del tiempo, ni cómo influyen factores como la ubicación geográfica o el contexto social.

Además, la manera en que se almacenan los datos suele depender del tipo de sensores utilizados, lo que puede dificultar su análisis a futuro. Por ello, es importante pensar en estructuras de datos claras, bien organizadas y compatibles con herramientas digitales modernas. También resulta clave contar con tableros visuales que no solo muestren el estado actual del agua, sino que permitan comparar su evolución en distintas regiones y a lo largo del tiempo.

Motivación

En la Ciudad de México existen datos históricos sobre la calidad del agua de lluvia, pero hasta ahora no se han aprovechado a fondo para observar su comportamiento en el tiempo y el espacio. Nuestra investigación busca responder preguntas clave como:

- a) ¿Qué alcaldías presentan mejor o peor calidad de agua?
- b) ¿Esa calidad ha cambiado con los años?
- c) ¿Qué tan potables son esas aguas según los criterios oficiales de CONAGUA?

Contar con esa información permite identificar zonas de riesgo, tomar mejores decisiones sobre dónde recolectar agua de lluvia y evaluar cuándo es necesario aplicar un tratamiento adicional. Esos datos pueden ser de gran utilidad para autoridades, ciudadanía e investigadores que trabajan en soluciones sostenibles basadas en evidencia.

Vivimos en la era de los datos, lo cual ha abierto nuevas posibilidades para abordar problemas complejos como el que nos ocupa. Herramientas como la minería de datos y el aprendizaje automático nos permiten estudiar fenómenos naturales de manera más profunda y precisa. Nuestro proyecto aplica dichas tecnologías al caso del agua de lluvia, un recurso cada vez más valioso para las ciudades. Saber qué tan limpia es, cómo varía entre regiones y cómo ha cambiado a lo largo del tiempo es fundamental para diseñar mejores políticas públicas, proteger la salud comunitaria y planificar con inteligencia la instalación de sistemas de captación. Por ello, estudiar la calidad del agua de lluvia con herramientas de ciencia de datos no solo es posible, sino urgente y necesario.

Estado del arte: conocer y estudiar la calidad del agua

La calidad del agua es un tema clave para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Los estudios en este campo buscan entender cómo distintos

contaminantes –como pesticidas, metales pesados o residuos industriales afectan el agua en entornos urbanos y rurales. Para ello, se aplican análisis físicos, químicos y biológicos que permiten identificar estas sustancias en fuentes naturales o sistemas de distribución.

Uno de los riesgos más importantes se presenta cuando las aguas residuales o el agua de lluvia contaminada llegan a fuentes de agua potable. Por ejemplo, en el estudio de *Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila* (2014), se utilizaron sensores, junto con algoritmos de aprendizaje automático, para detectar esos eventos en tiempo real. Se monitorearon variables como pH, turbidez, temperatura y fluorescencia, alcanzando una precisión superior al 97% al clasificar situaciones normales, de mantenimiento o de contaminación. A diferencia de ese enfoque predictivo, el presente proyecto se enfoca en el análisis histórico de datos, utilizando inteligencia artificial para clasificar y entender el estado actual del agua, bajo parámetros establecidos por norma en cada país o región. La inteligencia artificial también ha sido aplicada en contextos agrícolas. En *Das et al.* (2021), por ejemplo, se analizaron genotipos de trigo en Australia mediante imágenes térmicas obtenidas con drones, lo que permitió predecir el rendimiento de cultivos en suelos salinos usando modelos de *machine learning*.

Otro ejemplo interesante lo encontramos en el análisis de temperatura superficial en lagos, como en el estudio de *Yousefi & Toffolon* (2022), donde se evaluaron diferentes modelos de inteligencia artificial para predecir el calentamiento del agua. Aunque los resultados fueron prometedores, los autores subrayan la importancia de comprender las dinámicas naturales, ya que los modelos no pueden explicarlo todo por sí solos. Nuestra investigación adopta un enfoque similar: aplica modelos de clasificación para etiquetar muestras de agua de lluvia y detectar patrones relacionados con el tiempo y la ubicación geográfica, considerando siempre los factores físicos y contextuales que influyen.

En cuanto al monitoreo de lluvias, el estudio de *Wei, Lin y Zheng* (2025) aplicó redes neuronales artificiales y algoritmos de bosque aleatorio para clasificar datos obtenidos por satélites y radares. Los modelos desarrollados lograron detectar con alta precisión las zonas con presencia de lluvia, lo que demuestra el

potencial del aprendizaje automático en el análisis climático. También existen investigaciones centradas en fuentes no convencionales de agua, como la lluvia o incluso la captación de niebla. En Sheng et al. (2018), se diseñó un sistema inalámbrico para evaluar la calidad del agua en bebederos urbanos, midiendo parámetros como el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto, con el fin de determinar si el agua era segura para el consumo humano. De forma complementaria, en el estudio de *Ospina-Zúñiga & Ramírez-Arcila* (2014), se recolectaron muestras de agua de lluvia directamente del ambiente, evitando el contacto con superficies contaminadas, y luego se analizaron en laboratorio para evaluar su aptitud para uso doméstico.

A nivel metodológico, también se ha investigado cómo organizar y procesar grandes volúmenes de datos ambientales. El estudio de *Chapman et al.* (2000) analizan el uso del modelo CRISP-DM en ciencia de datos, una metodología que guía paso a paso la recolección, organización, análisis e interpretación de datos. Ese tipo de estructura es especialmente útil en proyectos como el nuestro, donde se manejan grandes bases de datos históricos sobre la calidad del agua, permitiendo reducir la complejidad técnica y mantener el foco en la solución del problema.

Además, existen iniciativas enfocadas en la comunicación y accesibilidad de los datos. En Liu et al. (2023) se desarrollaron herramientas avanzadas de visualización espaciotemporal de alta dimensión para analizar la calidad del aire, un enfoque moderno que podría aplicarse también al análisis del agua. En *Hognogi et al.* (2023) se desarrolló una aplicación móvil que permite a los ciudadanos reportar problemas relacionados con la calidad del agua, brindando retroalimentación directa a las autoridades. Por su parte, el estudio de Xu et al. (2024) diseñó herramientas interactivas, como mapas, gráficos 3D y nubes de puntos para visualizar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo. Este tipo de soluciones facilita la comprensión de datos complejos tanto para investigadores como para tomadores de decisiones y el público en general.

Finalmente, el trabajo de *Ribeiro y Reynoso-Meza* (2018) demuestra cómo es posible detectar anomalías en tiempo real utilizando modelos de *machine learning* aplicados a datos provenientes de sensores. Esta tecnología podría

aplicarse en sistemas de captación de agua de lluvia, generando alertas automáticas ante posibles eventos de contaminación.

En resumen, el análisis de la calidad del agua ha evolucionado significativamente gracias a los avances en sensores, algoritmos, plataformas digitales y herramientas de visualización. Desde el monitoreo satelital hasta aplicaciones ciudadanas, pasando por técnicas de inteligencia artificial, la tendencia es clara: hoy entendemos mejor cómo se comporta el agua, y eso nos da más herramientas para cuidarla y gestionarla de forma equitativa y sustentable.

Metodología: análisis de datos sobre la calidad del agua de lluvia

Este estudio empleó herramientas de ciencia de datos para analizar la calidad del agua de lluvia en la Ciudad de México entre 2017 y 2019. El proceso se organizó en seis etapas clave que permitieron recopilar, procesar y visualizar la información de forma clara y accesible.

Diseño metodológico y recolección de datos

Se adaptó una metodología general de análisis de datos , como se ilustra en la Figura 1, que guió cada etapa del estudio, desde la obtención de datos hasta la visualización final. Las fuentes de información incluyeron instituciones confiables como SACMEX, *Data.world*, el Observatorio Hidrológico y el INEGI. Se recolectaron datos fisicoquímicos del agua de lluvia, así como datos sobre precipitación y características demográficas. Todo se integró en una base híbrida con variables como pH, turbidez, cloruros, hierro, manganeso y dureza total.

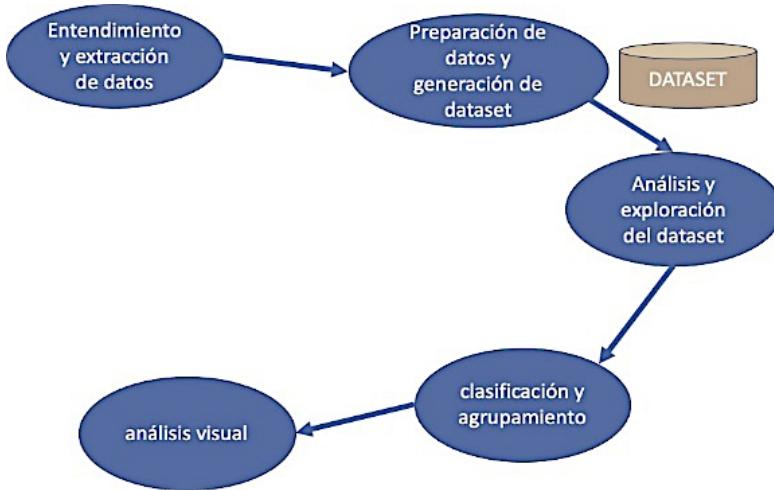


Figura 1. Metodología de datos

Preparación de los datos

Una vez recopilados, los datos fueron filtrados, organizados y estructurados por alcaldía, mes y año. Para garantizar una representación adecuada, se aplicó un muestreo aleatorio simple con detalle mensual. Los valores límite establecidos por normativas oficiales fueron reunidos en la Tabla 1, que se usó como referencia para etiquetar automáticamente los registros según su nivel de calidad.

Variable	Valor permisible
pH	6.5 a 8.5 (unidad)
Turbiedad	4.0 (UNT)
Dureza	500 (mg/l)
Cloruros	250 (mg/l)

Tabla 1. Valores límite de referencia para la clasificación de la calidad del agua acorde a la normativa

Clasificación con aprendizaje automático

Se entrenaron tres modelos de inteligencia artificial para clasificar la calidad del agua en tres categorías: excelente, aceptable y contaminada. El algoritmo de Bosque Aleatorio fue el más preciso, alcanzando una tasa de acierto del 100 %

en muestras excelentes y del 74 % en muestras contaminadas. Gracias a este modelo, se generó un conjunto de datos clasificado y listo para su análisis visual y geográfico.

Agrupamiento (clustering)

Para detectar patrones ocultos, se utilizó el algoritmo *K-Means*, que identificó cinco grupos con comportamientos similares. La cantidad óptima de grupos se determinó mediante el método del codo. Los resultados se visualizaron en un cubo tridimensional que muestra cómo varía la calidad del agua por alcaldía, año y mes (Figura 2).

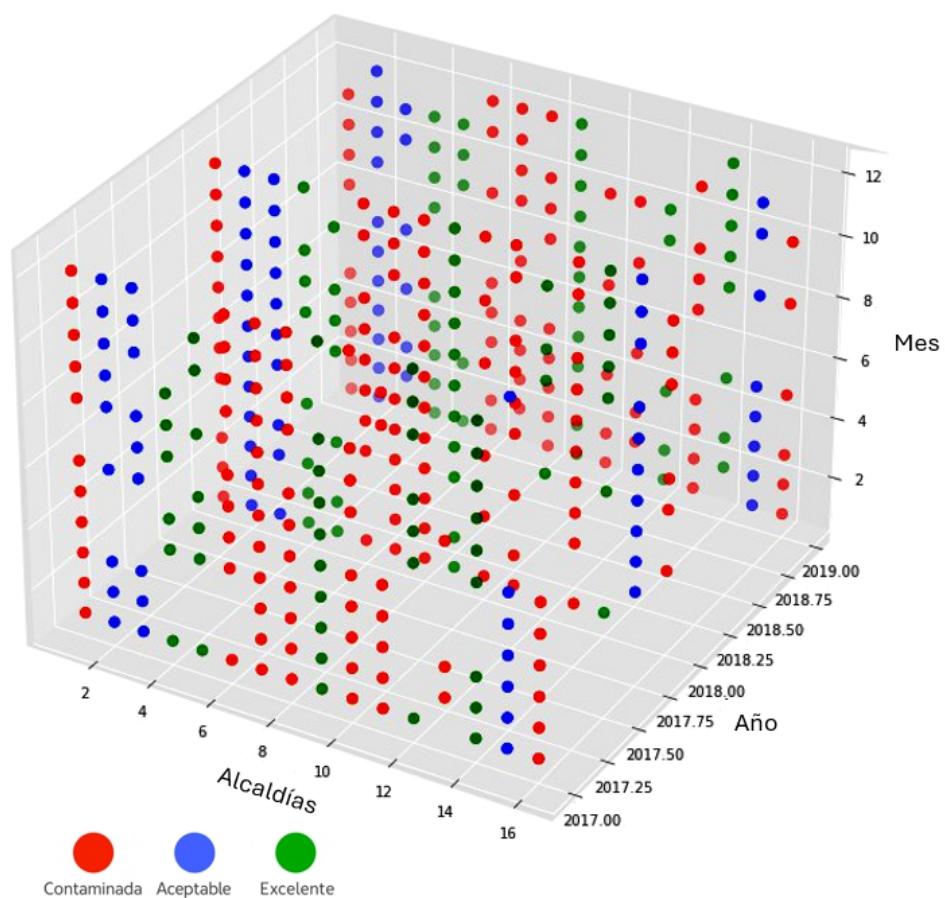


Figura 2. Cubo tridimensional de lecturas de calidad por alcaldía, año y mes

Análisis espacio-temporal

Se detectaron concentraciones específicas de agua contaminada en ciertas alcaldías y meses. Por ejemplo, se observaron cambios notables en los valores de pH y cloruros entre distintos años (Figura 3), mientras que el hierro presentó concentraciones más altas durante 2018 (Figura 4).

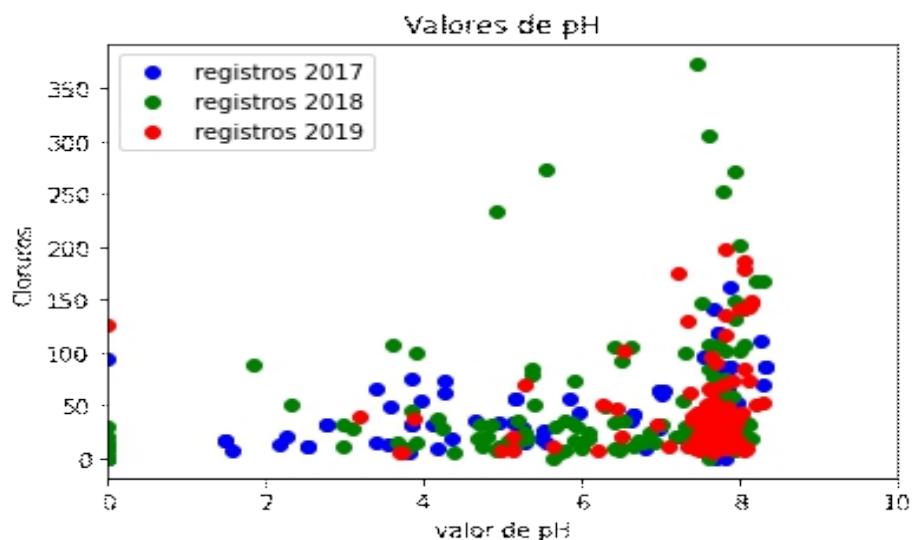


Figura 3. Exploración de datos de pH y cloruros en distintas alcaldías: distribución centralizada sin correlación aparente

Mientras que el análisis del hierro mostró concentraciones elevadas en 2018 (Figura 4).

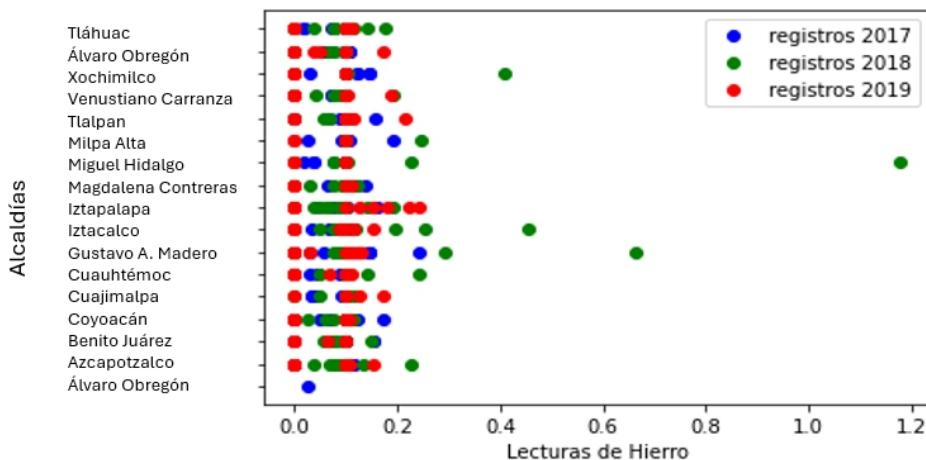


Figura 4. Evolución de los valores de hierro por año en un periodo trianual

Relación con datos socioeconómicos

Se incorporaron variables del INEGI, como la densidad de negocios y la actividad económica (número de unidades económicas registradas en el DENUE por alcaldía). El análisis reveló que, en algunas alcaldías, el crecimiento económico coincidió con una disminución en la calidad del agua. En la Figura 5 se muestran las alcaldías ordenadas de mayor a menor actividad económica: las barras indican el número de negocios por alcaldía y la línea naranja representa el porcentaje acumulado, lo que sugiere una posible relación entre el desarrollo urbano y la presión sobre los recursos hídricos.

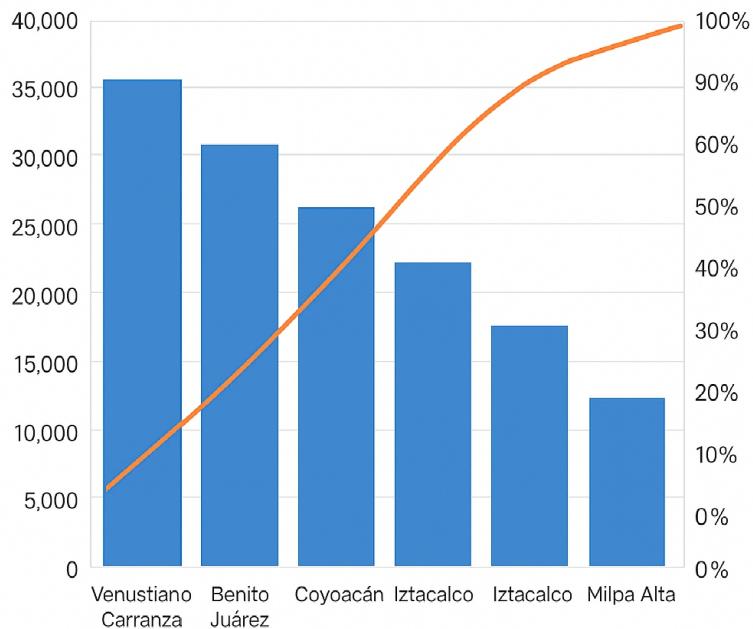


Figura 5. Aumento de la actividad económica en alcaldías durante el periodo de estudio

Resultados y visualización del análisis de calidad del agua de lluvia en CDMX

El estudio logró visualizar cómo varían los parámetros de calidad del agua de lluvia a lo largo del tiempo y entre alcaldías. Esos patrones sugieren que factores como la densidad poblacional, la ubicación geográfica y el desarrollo económico pueden influir directamente en la calidad del agua recolectada.

Almacenamiento y organización de los datos

Los datos recolectados se integraron en una base de datos local en MySQL, lo que facilitó su análisis y el entrenamiento de algoritmos. Esta base fue la fuente principal para los experimentos clasificatorios y visuales.

Algoritmo clasificador más eficiente

Se probaron tres algoritmos de clasificación para categorizar la calidad del agua: *Naive Bayes*, Red Neuronal y Bosque Aleatorio (*Random Forest*). Este último demostró el mejor rendimiento, clasificando correctamente la mayoría de los registros en las tres categorías: contaminada, aceptable y excelente . Con base en este algoritmo, se generó un conjunto clasificado de datos .

Análisis espacio-temporal y agrupamiento

Utilizando el cubo de datos 3D (Figura 2), se analizó la distribución mensual por alcaldía. Posteriormente, el algoritmo K-Means permitió agrupar las alcaldías según similitudes en el comportamiento de la calidad del agua (contaminada, aceptable y excelente de acuerdo con la leyenda de colores). Se identificaron cuatro grupos (identificados con una estrella) destacados con variaciones relevantes a lo largo del tiempo (Figura 6).

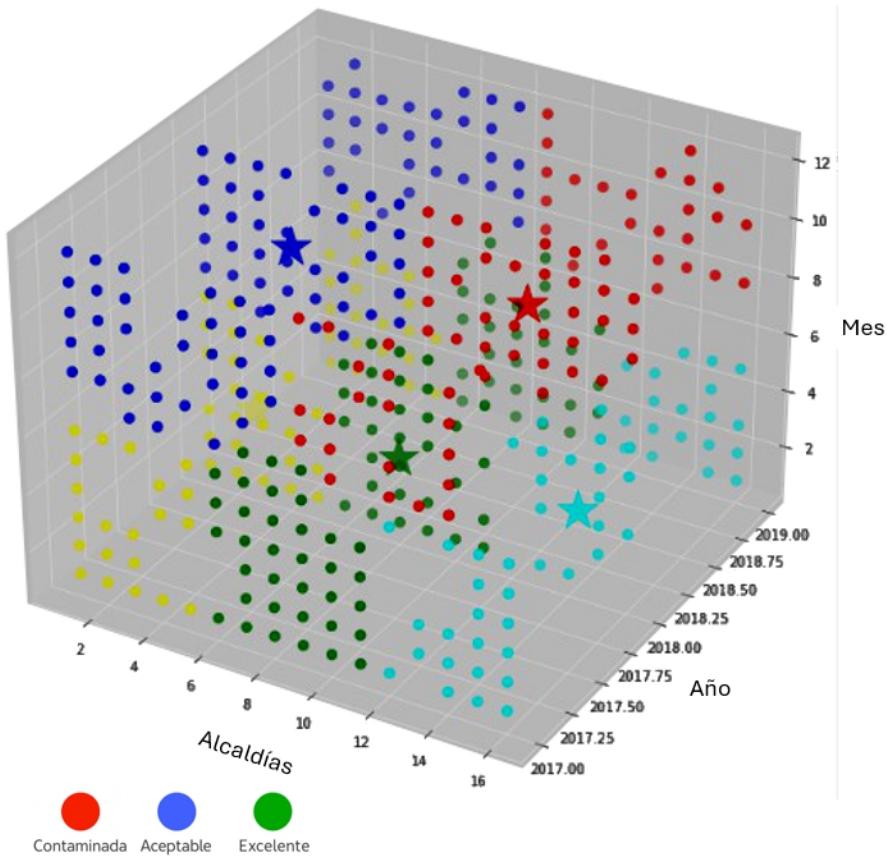


Figura 6. Visualización tridimensional de grupos y centroides en el cubo de datos

Integración con datos socioeconómicos

Al incorporar datos del DENUE (Directorio Nacional de Unidades Económicas) del INEGI, se evidenció una correlación entre la cantidad de negocios por alcaldía y los cambios en la calidad del agua, como se mostró previamente en la Figura 5.

Visualización interactiva con mapas web

Todos los resultados se integraron en un visor interactivo accesible en línea. Los usuarios pueden explorar la calidad del agua por alcaldía y consultar datos económicos relacionados. Cada punto del mapa incluye ventanas emergentes con información detallada (Figura 7), además de gráficos que explican los hallazgos para facilitar su comprensión por parte del público general.

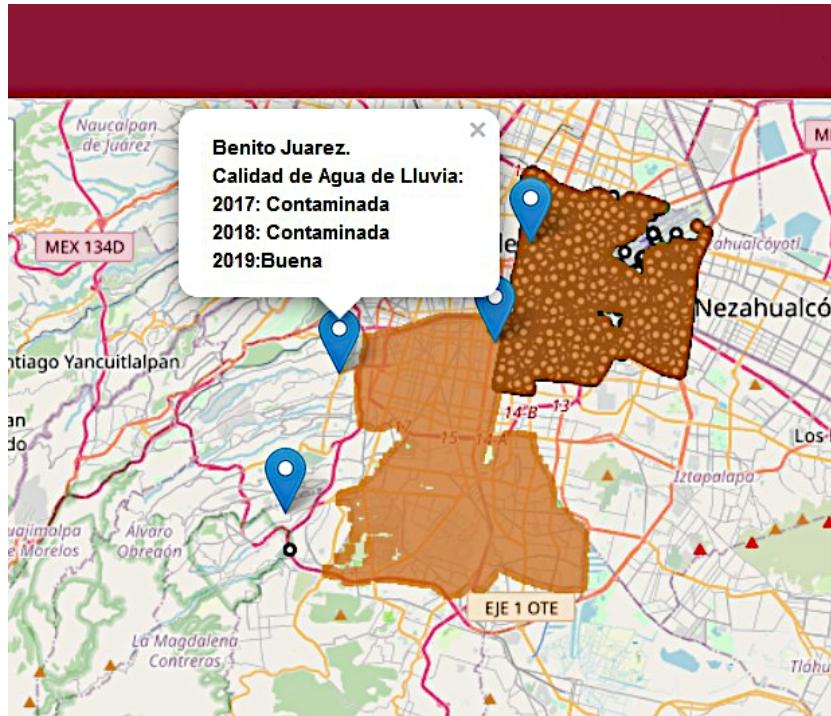


Figura 7. Ventana emergente con información del agua

Es así que los resultados obtenidos revelan que, la calidad del agua de lluvia en la Ciudad de México no es homogénea, sino que está influenciada por múltiples factores sociales, económicos y geográficos. La integración de modelos de clasificación, análisis espacio-temporal y visualización interactiva permitió transformar grandes volúmenes de datos en conocimiento accesible y útil. Este enfoque no solo facilita la comprensión de las dinámicas territoriales del agua, sino que también abre nuevas posibilidades para la toma de decisiones basada en evidencia, orientada a la equidad hídrica y la sostenibilidad urbana.

Conclusiones y trabajo futuro

Esta investigación ejemplifica el valor de aplicar herramientas de ciencia de datos e inteligencia artificial en el análisis de la calidad del agua de lluvia en contextos urbanos complejos como el de la Ciudad de México. A partir de datos abiertos recolectados entre 2017 y 2019, se identificaron patrones espacio-temporales y geosociales que revelan importantes desigualdades en el acceso a agua de calidad. Las alcaldías con mayores niveles de vulnerabilidad social

tienden a registrar una peor calidad del agua recolectada, lo cual plantea desafíos urgentes en términos de equidad ambiental y salud pública.

El uso de modelos de clasificación y agrupamiento permitió organizar y etiquetar grandes volúmenes de datos, generando un conjunto limpio y estructurado que puede ser reutilizado por otros investigadores. Además, la implementación de herramientas visuales e interactivas –como mapas web y cubos de datos– facilitó la interpretación de los resultados, tanto para la ciudadanía como para los tomadores de decisiones.

Es así como este enfoque ofrece una base para el diseño de políticas públicas orientadas a la captación de agua de lluvia más segura.

Entre las líneas de trabajo futuras derivadas de esta investigación se proponen las siguientes:

- Ampliación temporal y geográfica del estudio: Integrar datos posteriores a 2019 e incluir otras zonas metropolitanas del país para contrastar resultados y validar patrones comunes o divergentes.
- Monitoreo en tiempo real: Incorporar sensores IoT conectados a redes de baja potencia (como LoRa o Sigfox) para complementar el análisis histórico con datos en vivo, generando alertas tempranas ante eventos de contaminación.
- Modelos predictivos de calidad del agua: Desarrollar modelos de pronóstico usando aprendizaje automático supervisado, tomando en cuenta variables ambientales y socioeconómicas para anticipar riesgos por alcaldía y temporada.
- Integración con salud pública: Estudiar correlaciones entre la calidad del agua recolectada y variables epidemiológicas, con el fin de evaluar impactos directos sobre la salud comunitaria.

- Educación y participación ciudadana: Crear versiones simplificadas del visor *web* y *apps* móviles para que ciudadanos puedan consultar datos locales, reportar anomalías y participar activamente en la vigilancia de la calidad del agua.
- Sistemas de recomendación para captación: Diseñar un sistema que sugiera las mejores zonas, temporadas y métodos para recolectar agua de lluvia segura, tomando en cuenta las condiciones históricas y los modelos predictivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del Instituto Politécnico Nacional a través de los proyectos SIP 20253692, SIP 20250343 y SIP 20254771, los cuales hicieron posible el desarrollo de esta investigación. Asimismo, a la COFAA del IPN y la SECIHTI, por su apoyo.

Para conocer más, consulta:

- 1) Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T. P., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). *CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide*. The CRISP-DM Consortium.
- 2) Das, S., Christopher, J., Apan, A., Choudhury, M. R., Chapman, S., Menzies, N. W., & Dang, Y. P. (2021). *Evaluation of water status of wheat genotypes to aid prediction of yield on sodic soils using UAV-thermal imaging and machine learning*. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108477.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108477>
- 3) Hognogi, G. G., et al. (2023). *The role of citizen science mobile apps in facilitating a digital approach to water quality monitoring*. [Journal Name].
<https://doi.org/10.1038/...>
- 4) Liu, J., Wan, G., Liu, W. et al. High-dimensional spatiotemporal visual analysis of the air quality in China. *Sci Rep* 13, 5462 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31645-1>
- 5) Ospina-Zúñiga, Ó. E., & Ramírez-Arcila, H. (2014). *Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia*. Ingeniería Solidaria, 10(17), 125–138. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
- 6) Ribeiro, V. H. A., & Reynoso-Meza, G. (2018). *Online anomaly detection for drinking*

- water quality using a multi-objective machine learning approach.* In *Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO '18 Companion)*.
<https://doi.org/10.1145/3205651.3208202>
- 7) Sheng, J., Weixing, W., Jieping, Y., & Zhongqiang, H. (2018). *Design of a WSN system for monitoring the safety of drinking water quality.* IFAC PapersOnLine, 17, 752–757.
 - 8) Yousefi, A., & Toffolon, M. (2022). *Critical factors for the use of machine learning to predict lake surface water temperature.* Journal of Hydrology, 127418.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127418>
 - 9) Wei, N., Lin, Y., & Zheng, H. (2025). Prediction of the flood distribution caused by returning cropland to forest based on Generative Adversarial Network and multi-source remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 143, 104790. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104790>
 - 10) Xu, Y., Hui, M., & Qu, H. (2024). Design of a 3D Platform for the Evaluation of Water Quality in Urban Rivers Based on a Digital Twin Model. *Water*, 16(24), 3668.
<https://doi.org/10.3390/w16243668>

Análisis geoespacial de defunciones causadas por el virus del dengue en México

Miguel Alcaraz Vázquez 19275295@uagro.mx
Jesús Emanuel Saldaña Pérez jsaldanap2023@cic.ipn.mx
Gustavo Adolfo Alonso Silverio gsilverio@uagro.mx

*E*l dengue es una enfermedad viral transmitida principalmente por el mosquito *Aedes aegypti*, que puede manifestarse desde un cuadro febril leve hasta formas graves como dengue hemorrágico o síndrome de choque por dengue. A nivel mundial, se estima que ocurren cerca de 390 millones de infecciones cada año, de las cuales, aproximadamente 96 millones presentan síntomas clínicos (Bhatt et al., 2013).

En México, la enfermedad es endémica y su carga ha aumentado de forma sostenida durante las últimas dos décadas, con transmisión registrada en 28 de las 32 entidades federativas y presencia en casi todo el territorio nacional (Dantés et al., 2014). En los últimos años, el país ha enfrentado un incremento notable en los casos y la gravedad de los brotes, tan solo en 2023 se reportaron más de 54 000 casos confirmados, casi la mitad de ellos clasificados como graves. Por su parte, la incidencia nacional se incrementó de 29.4 a 279 casos por cada 100,000 habitantes entre 2022 y 2024 (Mendoza-Cano et al., 2025). Ese aumento ha implicado una carga de trabajo considerable para los servicios de salud, pues el dengue es responsable de miles de hospitalizaciones y genera costos directos e indirectos que en 2010 y 2011 alcanzaron un estimado de 170 millones de dólares anuales (Vazquez-Prokopec et al., 2017).

Los esfuerzos para combatir la enfermedad se centran en la vigilancia epidemiológica, el control del vector mediante la aplicación de insecticidas y la eliminación de criaderos en comunidades, complementados por campañas educativas y estrategias emergentes como la liberación de mosquitos

portadores de *Wolbachia*. La *Wolbachia* vive dentro de las células de los insectos y pasa de una generación a la siguiente a través de los huevos de un insecto. Es segura para los humanos y el medio ambiente, siendo una bacteria extremadamente común que se encuentra naturalmente en el 50% de las especies de insectos, incluidos algunos mosquitos. Se han mostrado resultados prometedores para reducir la transmisión viral en Latinoamérica (O'Neill et al., 2018). Sin embargo, la persistencia de brotes en regiones específicas evidencia que estas medidas no son suficientes sin un análisis profundo de los factores que condicionan la distribución del dengue.

Situación del dengue en el estado de Guerrero

El estado de Guerrero, en la costa del Pacífico mexicano, representa un caso emblemático: estudios con Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis espacio-temporales identificaron *clusters* o grupos de alto riesgo en la región, incluyendo un conglomerado de dengue hemorrágico entre 2006 y 2015 con un riesgo relativo de 8.5. En algunos estados de la vertiente del golfo de México indica qué la incidencia es mayor que la incidencia esperada en el cluster. (Hernández-Gaytan et al., 2017). A pesar de ello, estas investigaciones no han abordado de forma integral las influencias climáticas o socioeconómicas, ni han incorporado métodos de teledetección para enriquecer la comprensión de los patrones de transmisión en la zona.

La relevancia de atender el dengue en Guerrero radica no solo en su histórica carga de casos y muertes, sino también en la presencia de poblaciones vulnerables con alta prevalencia de enfermedades crónico-degenerativas como diabetes e hipertensión, condiciones que incrementan el riesgo de complicaciones y mortalidad (Martínez-Vega et al., 2021).

Ante este panorama, resulta urgente generar conocimiento que permita relacionar factores ambientales y comorbilidades con la mortalidad por dengue en contextos locales de alta vulnerabilidad. En este sentido, el campo de la ingeniería en computación, a través de enfoques de análisis geoespacial y

procesamiento inteligente de datos, ofrece herramientas poderosas para detectar patrones, modelar riesgos y apoyar la toma de decisiones en salud pública. Este artículo se inserta en ese vacío de conocimiento al proponer un análisis geoespacial de las defunciones por casos confirmados de dengue en pacientes con enfermedades crónico-degenerativas en el estado de Guerrero, integrando tecnologías de SIG y métodos de análisis de datos avanzados para aportar evidencia que oriente intervenciones focalizadas y estrategias de prevención más efectivas.

Análisis geoespacial

Un análisis geoespacial consiste en investigar un fenómeno o evento humano o natural considerando además de sus características como causa, efectos y temporalidad, las coordenadas del sitio en el que ocurre y las coordenadas de los lugares que de alguna u otra forma pueden verse afectados por dicho fenómeno. Para desarrollar este tipo de análisis que consideran coordenadas e información del suceso, se hace uso de los Sistemas de Información Geoespacial (SIG), software especializado que permite mezclar aspectos geográficos relacionados al área de ocurrencia del evento, con herramientas y algoritmos computacionales capaces de procesar y transformar esta información.

Existen diferentes tipos de Sistemas de Información Geoespacial, algunos de ellos son de licencia de uso libre, lo que permite usarlos sin que ello represente una inversión económica, mientras que otros requieren del pago de la licencia para su uso, además, actualmente algunos lenguajes de programación permiten desarrollar análisis geoespaciales y el manejo de datos geoespaciales, pese a no haber sido concebidos desde un inicio como SIG, tal es el caso del lenguaje de *Python*, que mediante diferentes bibliotecas como la de *Geopandas* permite representar datos geoespaciales.

Análisis geoespacial del dengue en México

En este artículo presentamos el análisis realizado a datos sobre el dengue en México mediante el uso de la biblioteca *Geopandas* de *Python*.

Los datos empleados en este estudio provienen de las Bases Históricas de Enfermedades Transmitidas por Vector (BHETV) de la Secretaría de Salud de México (Datos Abiertos Bases Históricas de Enfermedades Transmitidas por Vector, 2025), dichos datos fueron recopilados desde enero de 2020 hasta el 17 de julio de 2025. Lo que se aplicó sobre estos datos fueron las etapas que se describen en la Figura 1.

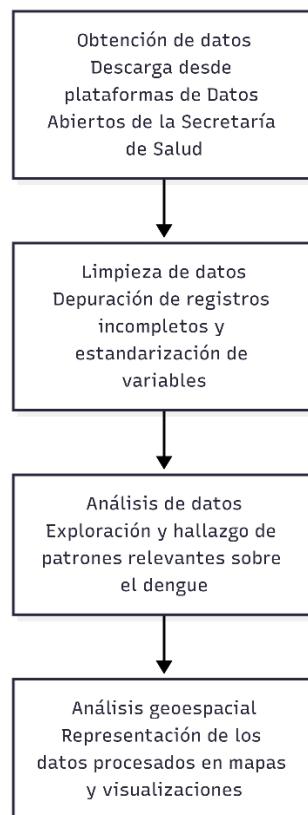


Figura 1. Metodología que sigue el análisis geoespacial de dengue en México

- Durante la Etapa 1, se recolectan los datos de las BHETV al visitar el sitio de datos abiertos de México (Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología, 2025), los datos son descargados en formato XML.

- Durante la Etapa 2, se lleva a cabo la limpieza de los datos, esto consiste en identificar datos incompletos o faltantes para eliminarlos del conjunto, de modo que no causen problemas en análisis posteriores.
- La Etapa 3, enfocada en el análisis de datos, consiste en determinar, mediante técnicas de análisis de datos, hallazgos relevantes que permitan conocer de cerca el problema del dengue en México, identificando patrones de similitud entre los datos, coocurrencia y repetición de características.
- Finalmente, durante la Etapa 4, los datos procesados y analizados son representados geoespacialmente de manera que es posible identificar los sitios geográficos de interés en el caso del dengue.

En la Tabla 1, se muestran los resultados preliminares de muertes confirmadas por dengue en cada una de las entidades federativas de México que reportó casos. En esos resultados, es posible observar que el estado con mayor cantidad de casos reportados es Morelos con 498, y que el estado de Guerrero se encuentra entre los cinco con mayor cantidad de reportes al tener 347 defunciones por dengue, tan solo 121 casos menos que Morelos. El mapa mostrado en la Figura 2, expresa, con colores y mediante un mapa de *coropletas* el número de reportes de defunciones en cada estado, se observa que, los estados de Morelos y Oaxaca son los que mayor cantidad de decesos por dengue reportaron a la Secretaría de Salud en el país.

Tabla 1. La tabla muestra las entidades federativas con reportes de defunciones causadas por Dengue ordenadas de la que mayor caso reporta, hasta la entidad con menos casos reportados.

Resultados preliminares
Tabla de muertes confirmadas por dengue por entidad

Entidades	Muertes	Entidades	Muertes
Morelos	498	Camppeche	79
Oaxaca	478	Nayarit	63
Veracruz	408	Estado de México	55
Guerrero	347	Colima	41
Quintana Roo	321	Ciudad de México	40
Yucatán	197	San Luis Potosí	22
Sinaloa	178	Baja California Sur	14
Tabasco	155	Tamaulipas	14
Jalisco	140	Guanajuato	9
Michoacán	138	Aguascalientes	8
Chiapas	111	Baja California	6
Puebla	103	Coahuila	4
Sonora	101	Nuevo León	3

*Coropletas Mapa temático en el que se usan colores o patrones para representar la intensidad de un fenómeno dentro de áreas geográficas delimitadas.

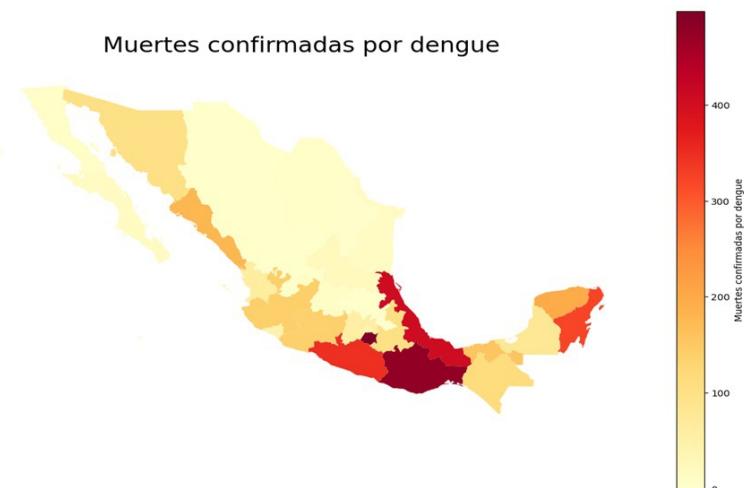


Figura 2. Mapa de distribución geoespacial de reportes de defunción por Dengue. Los cinco estados más afectados son Morelos con 498 casos, Oaxaca con 478 casos, Veracruz con 408 casos, Guerrero con 347 casos y Quintana Roo con 321 casos. Los estados menos afectados se ubican al norte del país con Nuevo León con 3 casos. Coahuila con 4 casos y Baja California con 6 casos.

Una de las enfermedades crónico-degenerativas que más afecta a los mexicanos es la diabetes, de acuerdo con el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) el 95% de los pacientes con *Diabetes Mellitus* la padecen en grado dos, esta enfermedad es tan grave que ha alcanzado al 18.4% de la población adulta del país. Entre las afectaciones que genera están ceguera e insuficiencia renal, entre otras (UNAM Global, 2024). Dado que es una enfermedad común, se analizaron aquellos casos en los que el dengue, al contagiar a pacientes con diabetes, causó

su defunción. El mapa de la Figura 3, muestra la distribución geoespacial en México de decesos de personas con diabetes que fueron contagiadas de dengue. Es importante observar que un organismo ya enfermo con diabetes requiere de mayores cuidados y esfuerzo del propio organismo para combatir el dengue. El mapa muestra una vez más que Morelos, Oaxaca y Veracruz tienen el mayor número de decesos, sin embargo, se puede observar también que Guerrero no presenta un gran número de decesos por dengue de pacientes con diabetes, por el contrario, Michoacán se une a los primeros cinco estados con pacientes de diabetes que perecieron a causa del dengue. Es interesante observar cómo la combinación del dengue con otros padecimientos previos de los pacientes, puede complicar su cuadro clínico.

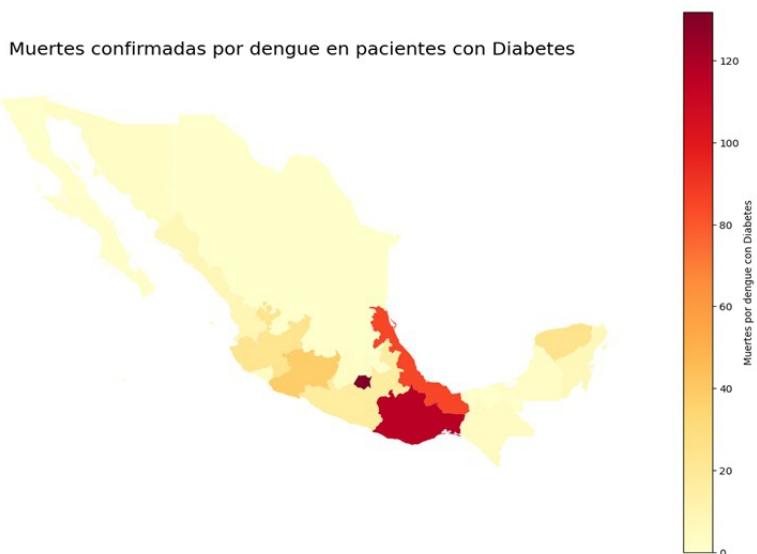


Figura 3. Distribución geoespacial de decesos de pacientes con Diabetes causada por Dengue. Morelos es el estado con mayor número de defunciones de pacientes con Diabetes que fueron contagiados con Dengue con 132 casos, seguido por Oaxaca con 116 casos, en este caso Guerrero reporta solo 17 casos, muy por debajo de los estados que lideran este análisis.

Una de las principales adicciones en el país es el alcohol; a nivel internacional el alcoholismo es uno de los diez factores principales de riesgo de muerte (Portal INSP, s.f.). El consumo de alcohol puede causar diversas enfermedades como cirrosis hepática, cáncer, enfermedades cardiovasculares, y diversos trastornos mentales de conducta. De manera parecida al caso de análisis anterior, un organismo que se encuentra ya ocupado en resistir enfermedades que padece

desde tiempo atrás, al ser contagiado por el Vector del dengue, requiere de mayores cuidados para poder salir adelante y tiene mayor probabilidad de perecer. En el mapa que se muestra en la Figura 4, se muestra que, de los estados que reportan decesos por dengue, en tres entidades federativas los decesos por el Vector fueron de personas que además padecían cirrosis hepática, si bien la causa de ello puede ser el alcoholismo, dicho padecimiento puede tener otros orígenes.

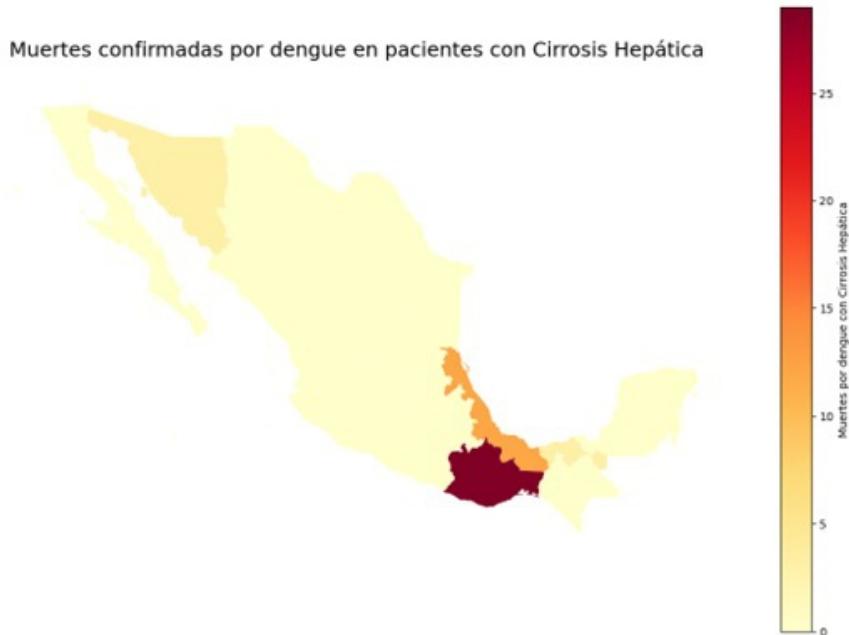


Figura 4. Muertes confirmadas de pacientes con cirrosis hepática. En el mapa se observa que el estado con mayor número de defunciones es Oaxaca con 29 casos, seguido por Veracruz con 12 casos, Sonora con 3 casos y Tabasco con 3 casos.

Como se observa en los análisis realizados, existen diferentes factores que pueden influir en la gravedad de los pacientes que presentan el virus del dengue. Una propuesta de clasificación de esos factores puede ser como factores socio-culturales y factores de historial médico. Los factores socio-culturales como tener cuidado de no estar cerca de sitios de contagio, prevenir el hacinamiento de agua, asistir a centros médicos en caso de contagio para recibir tratamiento médico. Los factores de historial médico son aquellos factores de salud que pueden agravar las condiciones de los pacientes infectados, entre ellos el padecimiento de enfermedades crónico-degenerativas, adicciones, o padecimientos propios del paciente.

Aunque no se cuenta con muchos casos reportados, en esta última clasificación, podemos agregar los reportes de fallecimiento por dengue de personas con enfermedades de inmunosupresión. La inmunosupresión es una situación en la que el sistema inmune del paciente disminuye su capacidad para combatir enfermedades y el contagio por virus y bacterias. Puede tener distintos orígenes, es una condición que comúnmente se presenta en personas con virus de insuficiencia humana (VIH), que han recibido quimioterapia, que consumen medicamentos inmunosupresores para atacar enfermedades específicas, o bien presentan enfermedades autoinmunes. En el mapa de la Figura 5, se muestran las defunciones de pacientes de Dengue que además presentaban una condición de inmunosupresión.



Figura 5. Mapa de decesos de pacientes que reportaron contagio de Dengue e inmunosupresión. Es importante resaltar que esta combinación de padecimientos poco usual, hace que esta representación cartográfica sea diferente a las anteriores, ya que el estado con mayor número de decesos es el Estado de México con 12 casos, seguido del estado de Morelos que reportó 11 casos en el periodo de tiempo en que se recabaron los datos.

Conclusiones

El virus del dengue afecta a gran parte de la población mexicana, pese a que la difusión de campañas de atención y prevención para este tipo de enfermedad

que se da a través de la picadura del mosco del dengue, se llevan a cabo principalmente en las zonas costeras del sur del país; esto no limita su presencia en otras entidades del centro y norte del territorio mexicano.

El que actualmente existe el portal de datos abiertos, permite a ciudadanos y profesionales acceder a diversos datos sobre situaciones de interés social, tal es el caso de los contagios y defunciones por dengue. El análisis geoespacial de los datos permite identificar las zonas con mayor número de defunciones por este virus, además de identificar posibles agravantes en los pacientes que una vez infectados por el dengue perecen debido a su condición previa de salud.

Es un hecho que el gobierno, la Secretaría de Salud, y la sociedad mexicana se enfrentan a retos muy importantes como son el control de las adicciones y la prevención del padecimiento de Diabetes Mellitus, dos problemas de salud que afectan a los mexicanos sin distinción de edad, género y condición económica. El análisis geoespacial presentado, refuerza las iniciativas del gobierno y entidades sociales en los programas de prevención mencionados. Es posible observar en los mapas generados, cómo es que la lista de los cinco estados con más casos de defunción por dengue, que además se encuentran en las zonas de mayor contagio al sur del país como es el caso del estado de Guerrero, cambia significativamente al comenzar a considerar variables que parecerían independientes a la enfermedad del dengue por sí misma, tal como las defunciones de pacientes contagiados por dengue que además padecían enfermedades crónico-degenerativas o causadas por adicciones, por mencionar dos casos relevantes del estudio.

El presente análisis geoespacial de datos, permite identificar las zonas con más defunciones causadas por el virus del dengue en México, a partir de los datos abiertos que proporciona la Secretaría de Salud, de modo que es posible apoyar a entidades interesadas con las representaciones generadas en el estudio, que permiten identificar de forma rápida y visual cómo el dengue afecta a las entidades federativas de la república.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN a través del proyecto 20250037, a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la CDMX a través del proyecto SECTEI/2023/084, y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca 2034451.

Para conocer más, consulta:

- 1) Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., Drake, J. M., Brownstein, J. S., Hoen, A. G., Sankoh, O., Myers, M. F., George, D. B., Jaenisch, T., Wint, G. R. W., Simmons, C. P., Scott, T. W., Farrar, J. J., & Hay, S. I. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504–507. <https://doi.org/10.1038/nature12060>
- 2) Dantés, H. G., Farfán-Ale, J. A., & Sarti, E. (2014). Epidemiological Trends of Dengue Disease in Mexico (2000–2011): A Systematic Literature Search and Analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 8(11), e3158. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003158>
- 3) Hernández-Gaytan, S. I., Hernández-Gaytán, S. I., Díaz-Vásquez, F. J., Díaz-Vásquez, F. J., Durán-Arenas, L., Durán-Arenas, L., Cervantes, M. L., Cervantes, M. L., Rothenberg, S. J., & Rothenberg, S. J. (2017). 20 Years Spatial-Temporal Analysis of Dengue Fever and Hemorrhagic Fever in Mexico. *Archives of Medical Research*. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2018.01.003>
- 4) Mendoza-Cano, O., Danis-Lozano, R., Trujillo, X., Huerta, M., Ríos-Silva, M., Lugo Radillo, A., Bricio-Barrios, J. A., Benites-Godínez, V., Cuevas-Arellano, H. B., Uribe-Ramos, J. M., Solano-Barajas, R., Cárdenas, Y., Venegas-Ramírez, J., Ríos-Bracamontes, E. F., García-Solórzano, L. A., Camacho-delaCruz, A. A., & Murillo-Zamora, E. (2025). Spatial patterns and clustering of dengue incidence in Mexico: Analysis of Moran's index across 2,471 municipalities from 2022 to 2024. *PLOS One*, 20(5), e0324754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324754>
- 5) Vazquez-Prokopec, G. M., Montgomery, B. L., Horne, P., Clennon, J. A., & Ritchie, S. A. (2017). Combining contact tracing with targeted indoor residual spraying significantly reduces dengue transmission. *Science Advances*, 3(2), e1602024. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602024>
- 6) O'Neill, S. L., Ryan, P. A., Turley, A. P., Wilson, G., Retzki, K., Iturbe-Ormaetxe, I., Dong, Y., Kenny, N., Paton, C. J., Ritchie, S. A., & Brown, K. M. (2018). Scaled deployment of Wolbachia to protect the community from dengue and other Aedes transmitted arboviruses. *Gates Open Research*, 2, 36. <https://doi.org/10.12688/gatesopenres.12844.2>

- 7) Amaya-Larios, I. Y., Martínez-Vega, R. A., Diaz-Quijano, F. A., Sarti, E., Puentes-Rosas, E., Chihu, L., & Ramos-Castañeda, J. (2020). Risk of dengue virus infection according to serostatus in individuals from dengue endemic areas of Mexico. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75891-z>
- 8) Martínez-Vega, R. A., Díaz-Quijano, F. A., Coronel-Ruiz, C., & Muñoz, Á. C. (2021). Chronic conditions and risk of severe dengue: A systematic review and meta-analysis. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 115(2), 113–122. <https://doi.org/10.1093/trstmh/traa081>
- 9) Datos Abiertos Bases Históricas de Enfermedades Transmitidas por Vector. (2025). Bases históricas de enfermedades transmitidas por vector. Secretaría de Salud. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-bases-historicas-de-enfermedades-transmitidas-por-vector>
- 10) Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología. (2025). Datos abiertos. Secretaría de Salud. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
- 11) Redacción UNAM Global. (13 de noviembre de 2024). Diabetes en México: una crisis de salud pública y su impacto en la población. UNAM Global Revista. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/la-diabetes-en-mexico-una-crisis-de-salud-publica-y-su-impacto-en-la-poblacion/
- 12) Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). (s.f.). Consumo excesivo de alcohol entre jóvenes mexicanos. Recuperado de <https://www.insp.mx/avisos/consumo-excesivo-de-alcohol-entre-jovenes-mexicanos>