

Ciencia, arte, tradición, opinión, reflexión y meditación...

Artículo: *Uso de datos abiertos
para la planeación de rutas en la CDMX*

Autor(es): José Giovanni Guzmán Lugo
Adriana Lara López

Publicación: No. 3T, vol. 2025, pp. 23 - 34

Reserva de derechos al uso exclusivo otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR): 04-2025-021418562600-102. ISSN: 2992-8648.

Las opiniones expresadas por los autores de artículos, no necesariamente reflejan la opinión del editor responsable o de los integrantes del Comité Editorial.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, bajo la condición ineludible de citar la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



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 Roji, 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.

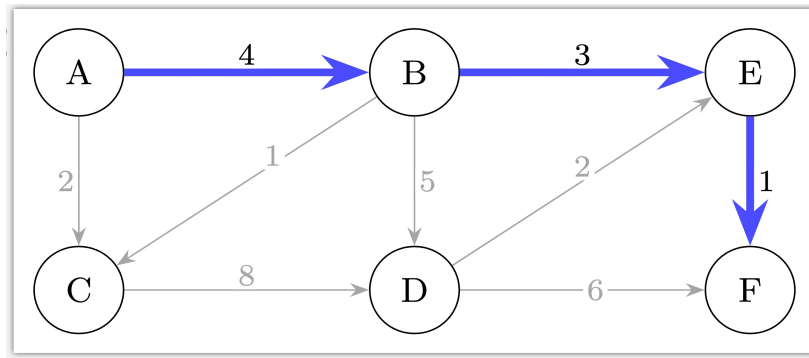


Figura 1. Representación esquemática de un grafo con seis vértices (A-F) y aristas que indican los costos o distancias entre ellos. La ruta resaltada en azul corresponde al camino más corto entre el nodo A (origen) y el nodo F (destino), calculado mediante el algoritmo de Dijkstra. Este diagrama ilustra 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 despliegue 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.

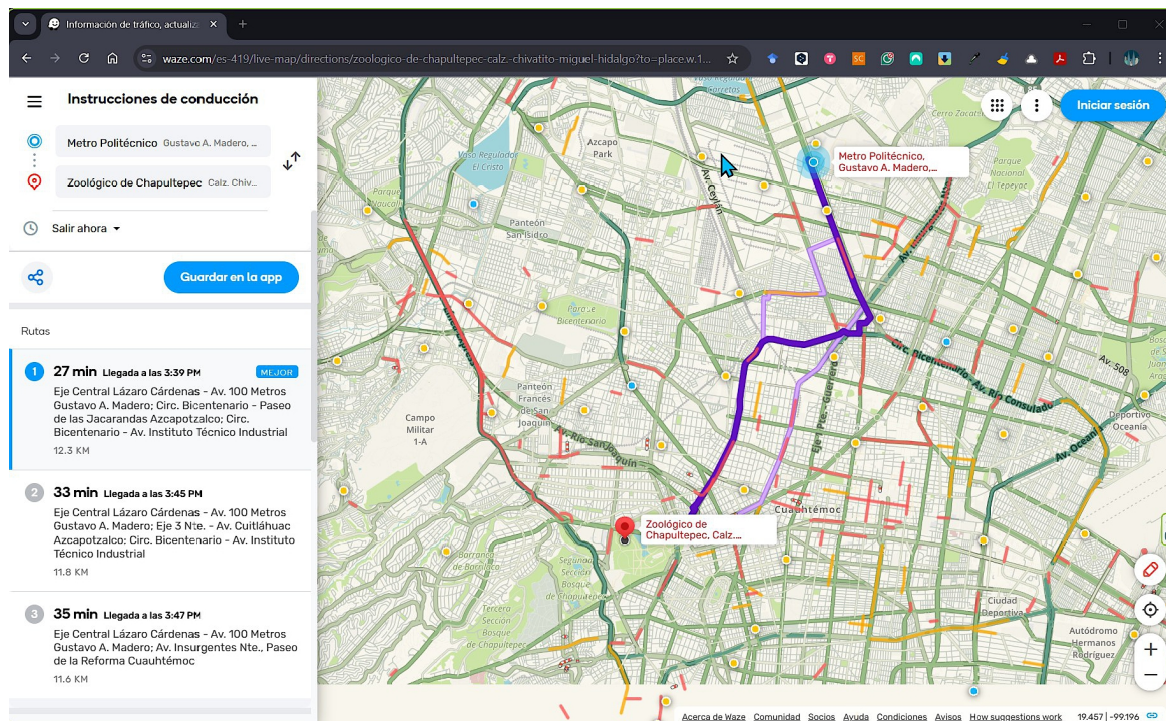


Figura 2. Ejemplo de cálculo de ruta usando Waze.

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 consultarlo 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.

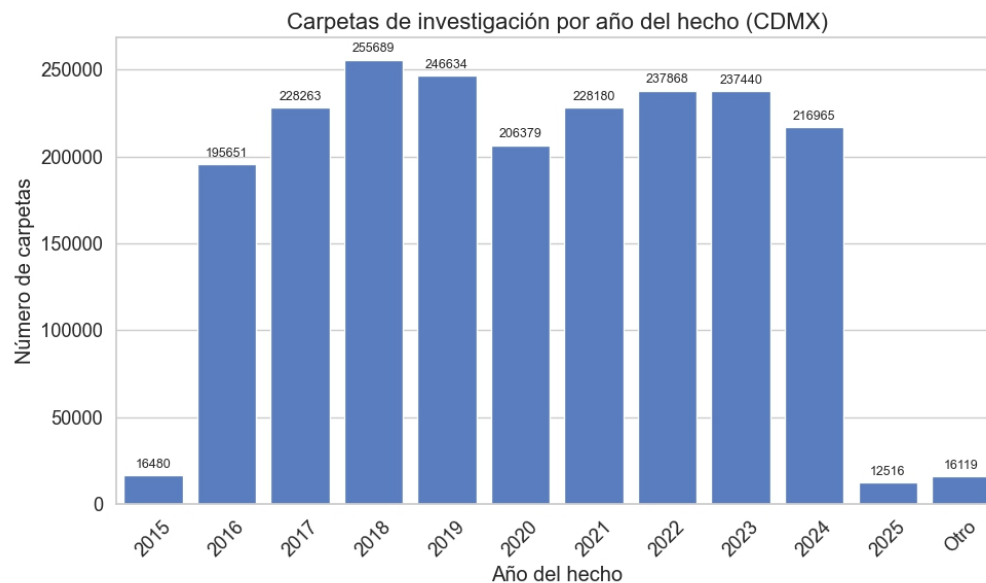


Figura 3. Número de carpetas de investigación entre 2015 y 2025.
Elaboración propia con datos del PDACDMX

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.

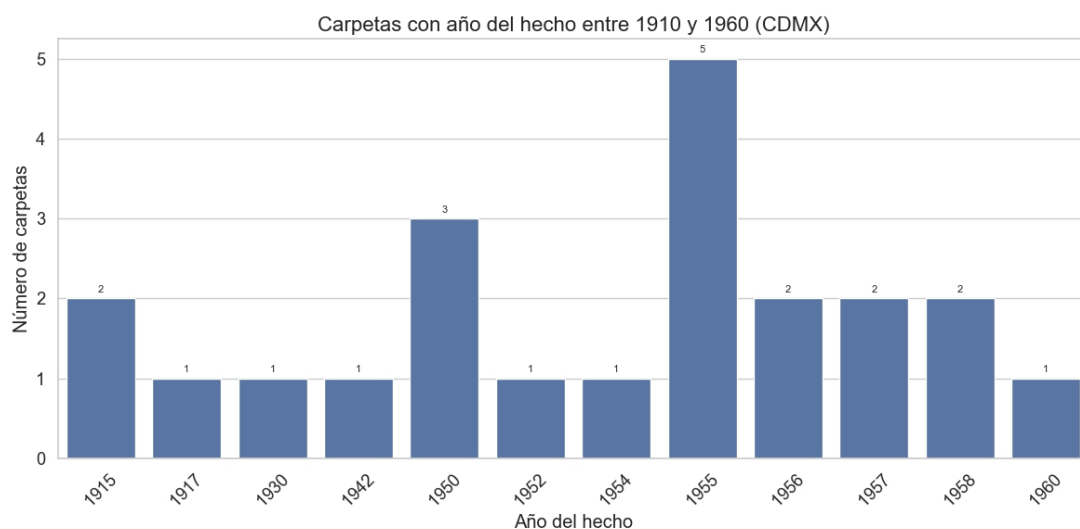


Figura 4. Número de carpetas de investigación con año del hecho entre 1915 y 1960
Elaboración propia con datos del PDACDMX

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.

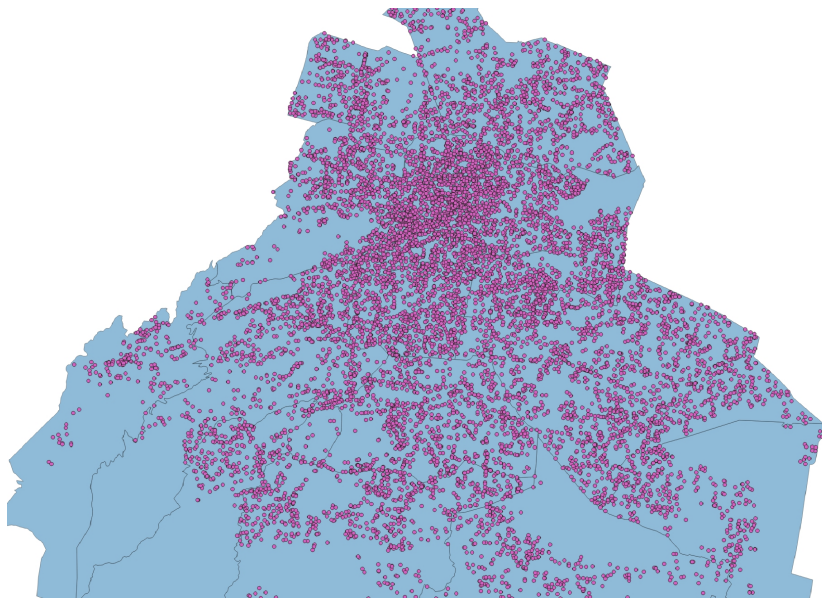
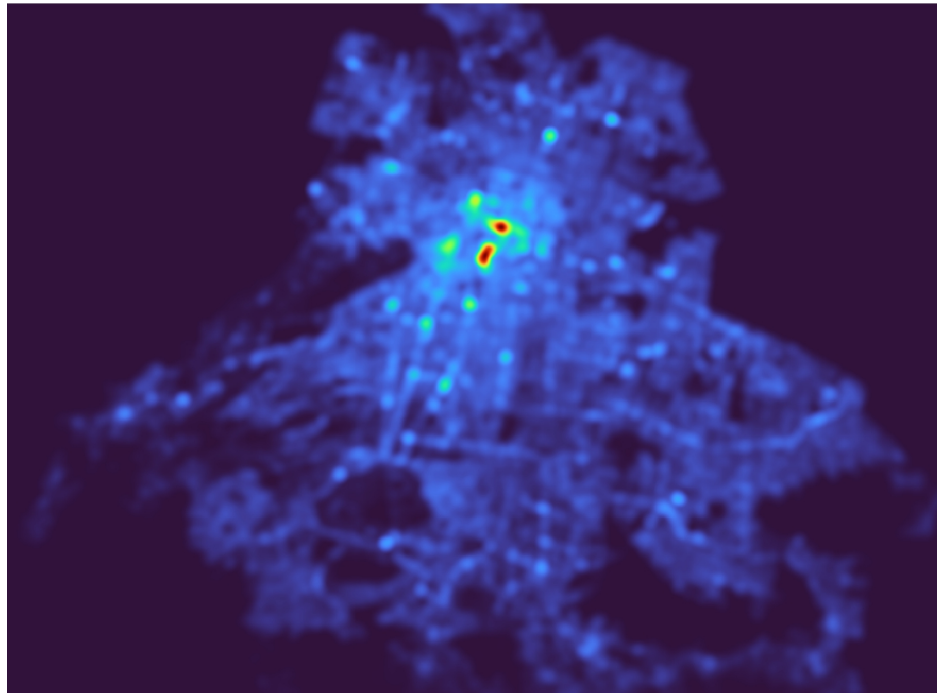


Figura 5. Carpetas de investigación denunciadas durante el año 2025.
Elaboración propia con datos del PDACDMX

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,

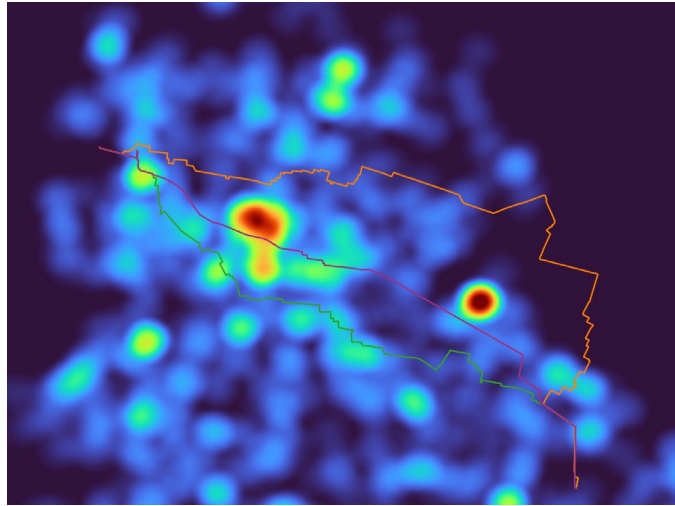
conocidas como *hot-spots*. En la Figura 6, se muestra el resultado de aplicar este algoritmo sobre el conjunto de datos de carpetas de investigación.



**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.

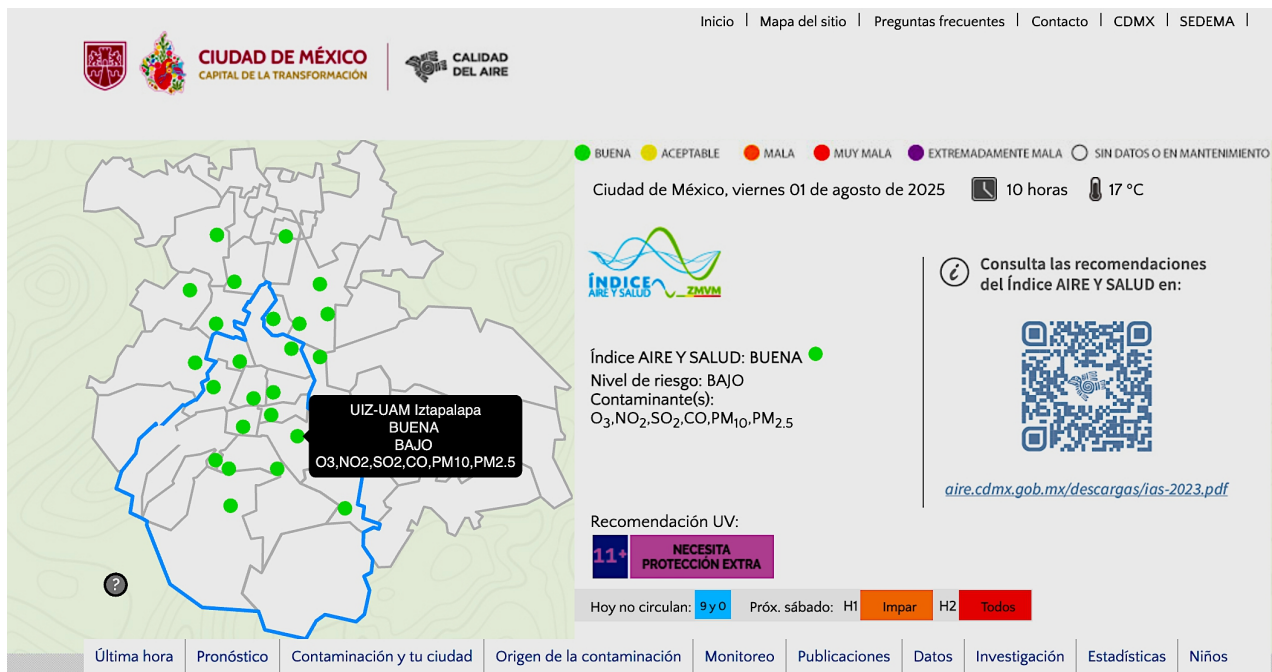


Figura 8. Tomada de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/> donde se puede consultar el índice diario de calidad del aire por alcaldía, así como recomendaciones sobre salud y contaminación para la población.

¿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
- 3) Datos de Carpetas de Investigación.
<https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/carpetas-de-investigacion-fgj-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)