



DOCUMENTO DE TRABAJO

Ciencia participativa: acción para un aire limpio

Tania López, Mercedes Escobar, Yasmin Agustin Duran, Armando Retama, Beatriz Cárdenas, Maite Cortés

CONTENIDO

- Resumen ejecutivo..... 1
- Introducción 2
- Mala calidad del aire y efectos en la salud 3
- Ciencia y participación 4
- Ciencia participativa en proyectos de investigación de calidad del aire 6
- Casos de estudio..... 6
 - A) León..... 8
 - B) Guadalajara 12
- Lecciones de la experiencia..... 16
- Conclusiones, beneficios y limitaciones de la ciencia participativa 18
- Lista de abreviaturas..... 20
- Apéndice A 20
- Referencias 21
- Agradecimientos..... 23
- Acerca de la autoría..... 23

Los documentos de trabajo contienen investigaciones preliminares, análisis, conclusiones y recomendaciones. Se distribuyen para estimular la discusión oportuna y la retroalimentación crítica, y para influir en el debate en curso sobre temas emergentes.

Sugerencia de citación: López, T., Escobar, M., Agustín, Y., Retama, A., Cárdenas, B. y Cortés, M. 2023. “Ciencia participativa: acción para un aire limpio”. Documento de trabajo. Ciudad de México: WRI México. <https://doi.org/10.46830/wriwp.20.00132>.

RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación atmosférica está catalogada como una grave amenaza a la salud en todo el mundo (OMS 2023). En México este factor se asocia con más de 48 mil muertes prematuras¹ en 2019 (IHME 2019). En ese año y el anterior, León, Guanajuato y Guadalajara, Jalisco presentaron concentraciones por arriba de los límites de las normas de protección a la salud de contaminantes como PM₁₀, PM_{2.5} y O₃ (INECC 2019a, 2020).

- Mejorar la calidad del aire requiere acciones de alcance global, pero de aplicación local. Es decir, la implementación de cambios, metodologías y herramientas debe llevarse a cabo a nivel ciudad, municipalidad, alcaldía, etc. Para que esto suceda, las personas de una comunidad local deben comprender su entorno a partir de las fuentes de emisión de contaminantes y las acciones que pueden implementar para incidir de manera efectiva e informada.
- Por lo anterior, WRI México trabaja con autoridades locales como la Dirección General de Medio Ambiente de León, Guanajuato, organizaciones civiles como el Colectivo Ecologista Jalisco A.C. y con instituciones académicas como la Universidad de Edimburgo para crear datos y formular soluciones a partir de metodologías colaborativas como la ciencia participativa (CP).

Sobre este documento de trabajo

Existen metodologías de investigación que ayudan a cerrar la brecha entre la sociedad, la academia y las instituciones públicas cuando éstas se involucran en un trabajo conjunto con un objetivo compartido que beneficie a todas las partes. Uno de esos caminos es la CP. Esta forma de crear conocimiento se ha aplicado en diferentes partes del mundo y en diversos temas. Ejemplo de ello son el registro de la biodiversidad en Colombia² y plataformas como la Red Iberoamericana de Ciencia Participativa³, *eu-citizen.science*, *Bürger schaffen Wissen*⁵, *Sensor.Community*⁶, entre otras.

Bajo esta premisa, entre 2019 y 2020 el equipo del departamento de Calidad del Aire de WRI México lideró campañas piloto de medición de contaminantes atmosféricos a nivel de calle en las ciudades de León y Guadalajara para la co-creación de conocimiento científico-técnico con diversos sectores: academia (Universidad de Edimburgo), autoridades locales (Dirección General de Medio Ambiente León, Guanajuato; Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, Guanajuato; Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Guadalajara; Dirección de Movilidad y Transporte de Guadalajara; Ayuntamiento de Guadalajara; Instituto Metropolitano de Planeación del Área Metropolitana de Guadalajara) y sociedad civil (Colectivo Ecologista Jalisco A.C. y MiSSiOn Bicimensajeros, Jalisco).

Experiencias de trabajo

En León se identificaron niveles de referencia para medir el impacto de una posible Zona de Bajas Emisiones (ZBE). En Guadalajara el objetivo se centró en proporcionar una referencia de las concentraciones de exposición de la población que vive, trabaja y visita el centro histórico de la ciudad. Para trabajar en estos ejercicios, la Escuela de Informática de la Universidad de Edimburgo brindó dispositivos basados en dispositivos basados en microsensores, así como capacitación técnica sobre su uso. Una vez que las partes involucradas tuvieron esta información, se implementaron algunos criterios para hacer mediciones con rigor, y que pudieran llevarse a cabo mediante recorridos pedestres y ciclistas.

Los monitoreos se llevaron a cabo mediante dos rutas pedestres y dos ciclistas realizadas por las autoridades del municipio de León, así como por dos caminos pedestres y uno ciclista recorridos por la sociedad civil en Guadalajara. Los resultados en León arrojaron que el área de estudio presenta intensa actividad comercial, de tránsito y estacionamiento de vehículos, lo cual contribuye parcialmente a los altos niveles de contaminación a nivel de calle. En Guadalajara se encontró que la acumulación de contaminantes corresponde a vialidades estrechas, cruces con avenidas y arbolado que no permite la dispersión adecuada de partículas.

Lecciones derivadas de la implementación de la CP

- Para llevar a cabo las investigaciones es necesario comprender el contexto social y político de las áreas de estudio. Por ello, es fundamental identificar adecuadamente las contrapartes locales.
- La CP muestra que existe otra forma de involucrar activamente a la ciudadanía en la creación de conocimiento, al sensibilizar, crear conciencia y generar compromiso en el

proceso, para que las personas puedan empoderarse como agentes de cambio en su entorno y puedan tener un efecto sobre el aire que respiran.

- El fortalecimiento de capacidades de las autoridades locales ayuda a crear y escalar procesos democráticos de toma de decisiones y brindar aire limpio a sus ciudades.
- El compromiso y apropiación del proyecto rinde más frutos si a las diversas contrapartes se les involucra desde las primeras etapas del método científico. Ello bien puede reflejarse en la optimización y/o reducción de la inversión financiera.
- La CP ayuda a complementar datos y a que tanto a la sociedad civil como a las autoridades comprendan dinámicas de contaminación local.

Este documento está dirigido a personas que toman decisiones, especializadas en calidad del aire y/o sensores de monitoreo, en la academia y con interés en el tema.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del aire es un problema social, económico y ambiental complejo que suelen enfrentar las ciudades. Está relacionado principalmente con la demanda de bienes y servicios de la abundante población concentrada en las urbes. Entender, dimensionar y gestionar este problema urgente requiere de la generación e integración de conocimiento técnico, científico, económico y social, con el propósito de fundamentar y guiar las acciones de los sectores público, privado, académico y tecnológico para generar e impulsar cambios efectivos y duraderos en favor de un aire limpio.

En ciudades en las que la mejora de la calidad del aire está presente en la normativa y agendas ambientales, el monitoreo periódico de los niveles de contaminación es una práctica común. Debido a que los datos se utilizan para informar al público sobre los riesgos para la salud y para la vigilancia de las estrategias de gestión y el diseño de políticas públicas, los datos se recolectan a través de redes de monitoreo equipadas con instrumentos de alta precisión y exactitud, conocidos como de “grado regulatorio”. El monitoreo, los inventarios de emisiones y la modelación constituyen las herramientas básicas de la gestión de la calidad del aire. Sin embargo, la adquisición y operación de estas redes puede ser costosa, por lo que algunas ciudades de bajos y medianos ingresos podrían tener dificultades para realizar un monitoreo adecuado. Ante la creciente preocupación sobre los efectos de la contaminación, personas científicas y grupos organizados de la sociedad civil han explorado otras alternativas para conocer la calidad del

aire y han comenzado a emplear alternativas tecnológicas como dispositivos de bajo costo basados en dispositivos basados en microsensores y datos satelitales de libre acceso.

Por su disponibilidad, variedad, costo y facilidad de operación, el uso de los dispositivos de bajo costo se ha popularizado entre la ciudadanía. No obstante, sólo se consideran capaces de generar datos indicativos sobre la contaminación del aire. Afortunadamente, personas científicas y autoridades ambientales han empezado a explorar su uso en diversas aplicaciones. A pesar de sus deficiencias, es posible obtener datos útiles para identificar fuentes de contaminación y situaciones de riesgos a escalas comunitarias, por lo que han comenzado a presionar a las autoridades para la instalación de instrumentos de grado regulatorio. Algunas experiencias han demostrado que, cuando se emplean estos dispositivos con un estricto protocolo de aseguramiento y control de calidad, es posible incrementar la calidad de los datos y hasta suplementar las redes de monitoreo. Sin embargo, esto no implica que puedan reemplazar al monitoreo regulatorio. La generación de datos de calidad implica también un aumento en los costos de operación que opaca la baja inversión de la adquisición, por lo que en este documento haremos uso del término “dispositivos basados en dispositivos basados en microsensores” en vez de dispositivos de bajo costo.

Si bien cualquiera puede emplear los dispositivos basados en dispositivos basados en microsensores, si la aplicación o uso demanda datos de calidad, siempre es recomendable recurrir a la guía de una persona especialista para la selección del dispositivo, el diseño del experimento y el tratamiento de los datos. Es posible participar en la generación de conocimiento para contribuir a resolver problemas que afectan el bienestar de la comunidad, proteger a las personas más vulnerables de los cambios de la calidad del aire o para alertar a las autoridades sobre situaciones que requieren su atención e intervención. El uso de herramientas y estrategias adecuadas para generar conocimiento empodera a los colectivos para mejorar sus entornos y presiona a las personas tomadoras de decisiones para incluir a las comunidades en la formulación de políticas (Eitzel et al. 2017). Una de esas estrategias es la CP, que es una vertiente activa y co-creativa que encauza los métodos formales de la investigación hacia exploraciones abiertas e inclusivas para la generación de conocimiento científico. La CP incorpora el conocimiento empírico, visiones, capacidades y expectativas de las personas e instituciones involucradas para co-generar conocimiento y guiar la toma de decisiones gubernamentales, comunitarias e individuales.

Algunos ejercicios participativos en calidad de aire son *OK Lab Stuttgart en Alemania*, *CleanAir@School* de la Unión Europea y el Experimento Participativo de Monitoreo del Aire en Argentina. Se trata de trabajos colaborativos que involucran a la sociedad civil, la academia, entidades gubernamentales

locales o internacionales y/u organizaciones sin fines de lucro. En los tres casos, los objetivos giran alrededor de monitorear y comprender la condición de la calidad del aire, generar conciencia y promover avances en la ciencia ciudadana, así como fomentar la transparencia y el acceso a los datos. El involucramiento de personas e instituciones no especializadas guiados por especialistas en estos proyectos de interés colectivo llevaron a fortalecer sistemas de monitoreo, cambios en el comportamiento de las personas involucradas y mapeos de la evolución de la contaminación del aire durante la cuarentena por la COVID-19.

Este trabajo presenta resultados de dos experimentos participativos en México, uno en León, Guanajuato y el segundo en Guadalajara, Jalisco. Ambos se orientan hacia el estudio de la calidad del aire y sus impactos, e involucran a diferentes personas del sector académico, gubernamental y la sociedad civil. El propósito es emplear las herramientas que ofrece la CP y con ellas documentar las experiencias y lecciones aprendidas desde la visión y expectativas del área de Calidad del Aire de WRI México, en un esfuerzo por buscar mecanismos que involucren a la población en la sensibilización, estudio y participación activa en la solución de problemas que la involucran y afectan directamente. En la primera parte del documento se presenta una breve introducción y conceptos básicos sobre la calidad del aire y sus efectos, así como de la CP y sus antecedentes. Posteriormente se describen los dos casos de estudio.

En la segunda parte se abordan las ventajas, las personas e instituciones involucradas y su relación con las campañas, retos, áreas de oportunidad y lecciones aprendidas antes, durante y después de la aplicación de las campañas. Hacia el final se recapitulan los hallazgos encontrados al aplicar la CP en la creación de experiencias para la generación de conocimiento científico y técnico.

MALA CALIDAD DEL AIRE Y EFECTOS EN LA SALUD

El deterioro de la calidad del aire es el principal riesgo ambiental para la salud de la población mundial, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS). En 2019 “el 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire (OMS 2022)”. Tan sólo en 2016 se atribuyeron cerca de siete millones de muertes prematuras a la contaminación del aire ambiental (OPS s.f.). En México, durante 2019 ocurrieron más de 48,000 decesos prematuros por la exposición a los contaminantes del aire en exteriores e interiores, lo que la convierte en la novena causa de muerte en el país. Dicha mortalidad se relaciona principalmente con la exposición a partículas con diámetros menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) y en menor medida al ozono (O₃) troposférico (IHME 2019).

Las PM_{2.5} son una mezcla compleja de contaminantes que forman partículas sólidas y líquidas, pueden provenir directamente de la emisión de diversas fuentes (partículas primarias) o formarse en la atmósfera a partir de contaminantes gaseosos (partículas secundarias). Dentro de las fuentes de partículas finas se encuentran la combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa (carbón, madera, motores diésel, etc.) o procesos industriales (fundidoras, refinerías, ladrilleras, etc.), mientras que la principal fuente de partículas secundarias incluye la oxidación atmosférica de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y de azufre (SO_x), así como de compuestos orgánicos volátiles de origen antropogénico y natural. Las partículas finas, como también se les conoce a las PM_{2.5}, ingresan fácilmente al organismo a través del sistema respiratorio. Las más pequeñas pueden atravesar la barrera pulmonar, entrar al sistema sanguíneo y causar taquicardia, enfermedades cardiovasculares, enfermedad isquémica del corazón, infarto agudo al miocardio y finalmente mortalidad por causas cardiovasculares (Rojas y Garibay 2003, INECC 2019a).

Por otro lado, el O₃ a nivel de superficie resulta de la reacción entre los NO_x y los compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar. Es un contaminante secundario que puede provocar afecciones que incluyen reacciones inflamatorias agudas (ojos, nariz, garganta, etc.), edemas pulmonares, daño a los tejidos en el conducto bronquio-alveolar y reducción de la función pulmonar (INECC 2019a, OMS 2022).

La población en países de medianos y bajos ingresos padece desproporcionadamente los efectos de la contaminación del aire exterior (OMS 2022), los grupos más vulnerables son infantes, personas adultas mayores, personas gestantes y con enfermedades crónicas. Los impactos pueden agravarse por circunstancias como escaso acceso a servicios de salud, cercanía con las fuentes de emisión, minorías étnicas, entre otras (Nadadur y Hollingsworth 2015, Tessum et al. 2021).

En la mayoría de las ciudades mexicanas, la mala calidad del aire se relaciona con altas concentraciones de PM y O₃ (INECC 2019b). En los casos de las ciudades de León y Guadalajara, durante 2018 se registraron 116 y 216 días, respectivamente, con concentraciones superiores a los límites establecidos en las normas vigentes mexicanas y las directrices de la OMS de alguno de estos contaminantes (INECC 2019b).

Los contaminantes del aire no sólo provienen de la industria. La generación de energía eléctrica, vehículos de carga, vehículos privados, la combustión en el sector doméstico y el uso de solventes y limpiadores en el hogar son también fuentes importantes de contaminación. Por lo tanto, la atención de este problema no sólo atañe a los responsables de vigilar y regular las fuentes de contaminantes, sino también a la sociedad que tiene la capacidad de incidir directamente y

mejorar su entorno. Por ello, resulta clave que la ciudadanía se involucre con las entidades de gobierno para generar, adoptar e implementar el conocimiento en contextos particulares.

CIENCIA Y PARTICIPACIÓN

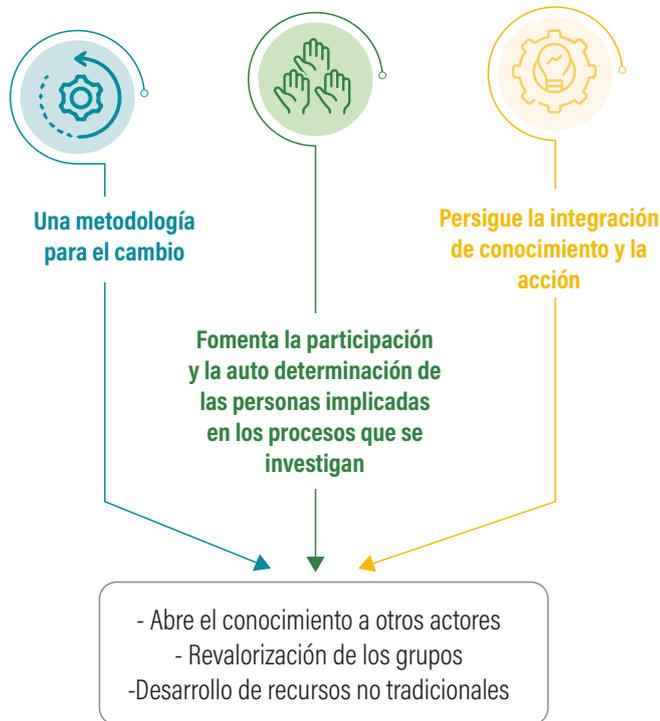
Uno de los retos para identificar problemas específicos a escala comunitaria es la ausencia de datos sobre las fuentes de emisión y los niveles de contaminación. Sin embargo, “[...] la falta de datos, o, a veces, la falta de un proceso de validación de estos datos plantea un problema grave para la formulación de políticas que deben basarse en datos y estadísticas. La ciencia participativa puede contribuir a la recopilación de datos sobre vulnerabilidades, factores, tendencias y cambios [en favor de la población] (UNESCO 2019)”.

La participación se entiende como un “proceso voluntario asumido conscientemente por un grupo de individuos y que adquiere un desarrollo sistemático en el tiempo y el espacio con el fin de alcanzar objetivos de interés colectivo, y cuya estrategia debe tener como instrumento fundamental a la organización (FAO 1988, citado en Contreras 2000)”.

Los antecedentes de la participación en procesos de investigación se remontan al trabajo del psicólogo social Kurt Lewin en 1940, quien empleó un modelo psicosocial de intervención en sus estudios sobre dinámicas de grupo y cambio social al que llamó Investigación Acción (Zapata y Rondán 2016). Buscaba transformar actitudes; partía de la reflexión conjunta de éstas entre integrantes de un grupo y descubrió que “[...] los cambios eran más efectivos cuando personas de estos grupos se implicaban en los procesos de investigación y tomaban parte colectivamente en las decisiones sobre los cambios oportunos (Contreras, citado en Sirvent y Riyal 2012)”. La relación entre la ciencia y la participación aparece muchos años después. Uno de los primeros acercamientos lo hizo Bonney (1996), quien introdujo el término *Citizen Science* (Eitzel et al. 2017).

El enfoque participativo puede adoptar una línea horizontal, cuando se lleva a cabo entre personas con conocimientos similares (colegas, investigadores e investigadoras, integrantes de una misma organización), o jerárquica, cuando es una investigación entre personas con diferente estatus, especialización o formación. Así, “la base... de dicho proceso es el involucramiento de las personas en dinámicas de decisión colectiva en función de sus intereses” (Contreras 2000). La inclusión, el grado de apertura y el empoderamiento de quienes participan depende de la construcción de cada proyecto, de acuerdo con lineamientos normativos específicos de su universo (Schrögel y Kolleck 2019). La investigación participativa se desarrolla alrededor de tres componentes (Figura 1): metodología para el cambio, participación de todas las partes, promoción de la acción y conocimientos individuales que aporten valor al trabajo.

Figura 1 | Sobre la investigación participativa



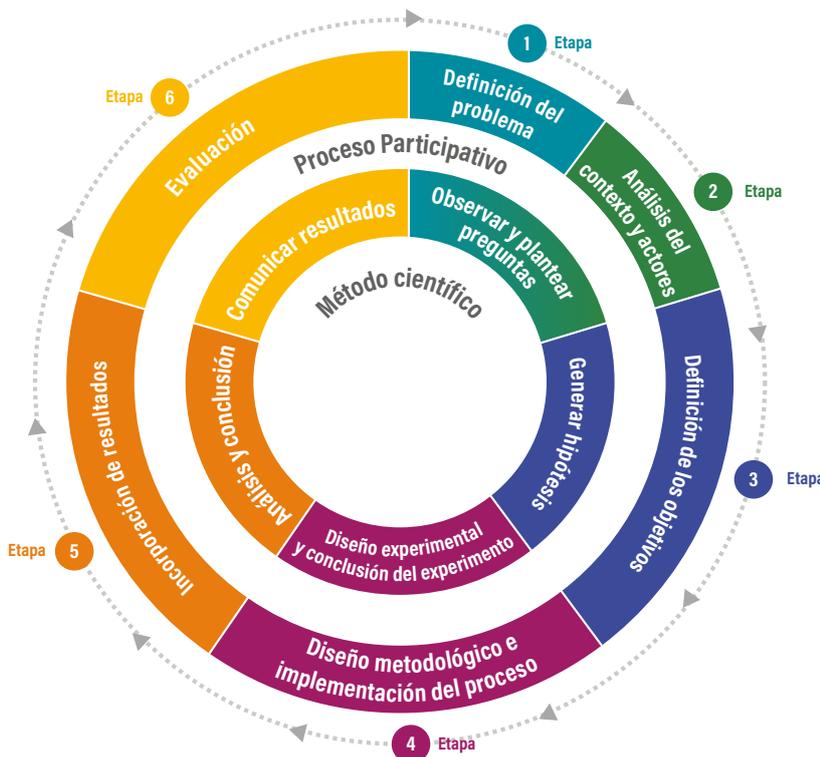
Fuente: Elaboración propia con información de Durston y Miranda (2002) y Universidad de la Laguna (2018)

La CP se define como “[...] una forma de hacer ciencia en la que se integra activamente la participación de la sociedad. Personas voluntarias y del área de la investigación comparten su esfuerzo intelectual, el conocimiento del entorno y los recursos, co-creando así una nueva cultura científica. Como resultado de este escenario abierto, trabajado en red y transdisciplinario, las interacciones ciencia-sociedad-política son mejoradas [sic] hacia una investigación más democrática basada en la evidencia informada para la toma de decisiones (SIB-Socientize Consortium, citado en Red Prensa Verde 2018)”.

Por otro parte, el derecho a la ciudad es “[...] el derecho de todos los habitantes a habitar, utilizar, ocupar, producir, transformar, gobernar y disfrutar ciudades, pueblos y asentamientos urbanos justos, inclusivos, seguros, sostenibles y democráticos, definidos como bienes comunes para una vida digna (ONU Habitat 2020)” y la CP promueve tres principios de este derecho: espacios y servicios públicos de calidad, ciudadanía inclusiva y mayor participación en las políticas públicas.

La Figura 2 ilustra el ajuste de las fases del método científico con los pasos del proceso participativo. El anillo interno muestra, a manera de ciclo, los cinco pasos del método científico y el círculo externo las seis etapas del proceso participativo. La mayoría de las fases son comunes y correspondientes, excepto las etapas dos y seis que son exclusivas del proceso participativo y, a su vez, determinan la naturaleza participativa de los proyectos de investigación.

Figura 2 | Etapas del método científico y su intersección con el proceso participativo



Nota: las etapas son la adaptación de un proyecto participativo a los pasos del método científico.

Fuente: Elaboración propia con información de Peñalva y de los Ríos (2014) y experiencias de las campañas.

CIENCIA PARTICIPATIVA EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE

Algunos ejemplos de participación en proyectos de investigación científica son:

- *OK Lab Stuttgart* en Alemania. Es un proyecto encabezado por una organización sin fines de lucro que provee datos sobre sensores, instrucciones de construcción y calibración a cualquier persona interesada en ser propietaria de un sensor de PM_{2.5}. Las personas participantes construyen e instalan los sensores por sí mismos, los datos son de código abierto y pueden visualizarse en su mapa de partículas⁷.

Estos resultados también se retoman como parte del Laboratorio de Cultura de Movilidad Sostenible de la Universidad de Stuttgart. Además, dan seguimiento en reuniones periódicas entre las personas involucradas. Actualmente la red se sostiene por más de 13,500 dispositivos distribuidos en 79 países de todos los continentes.

- *CleanAir@School* en la Unión Europea. Fue un proyecto que se llevó a cabo entre 2018 y 2020 en el que la ciudadanía monitoreó la calidad del aire en las escuelas de Europa para saber si, una vez que conocieran los efectos de las emisiones del transporte por carretera, evitarían acercarse a las instalaciones. Liderada por la Red Europea de Jefes [sic.] de Agencias de Protección Ambiental (EPA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), esta iniciativa de ciencia ciudadana midió la exposición a NO₂ con sensores de bajo costo del alumnado, personal docente, madres y padres.

Además de ayudar a comprender a las personas participantes el problema de la contaminación ambiental y visualizar los efectos de las emisiones de vehículos automotores, las mediciones complementaron el monitoreo oficial de la calidad del aire en Europa. También se crearon relaciones estrechas de cooperación entre los centros de investigación y los gobiernos de las ciudades⁸. Otro caso de mediciones en escuelas se implementa en Australia⁹.

- El Experimento Participativo de Monitoreo del Aire en Argentina fue un trabajo desarrollado por entidades gubernamentales nacionales, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la academia para mapear la calidad del aire durante el levantamiento del aislamiento social en Córdoba, derivado de la pandemia de COVID-19.

En este ejercicio, personas voluntarias instalaron sensores de bajo costo desarrollados por las Universidades Nacionales de Buenos Aires y de San Martín con la guía de la Universidad de Cambridge. Con anterioridad, el PNUD llevó a cabo mediciones en la Ciudad de Buenos Aires durante la cuarentena, lo que permitió hacer una comparación de la información para conocer cómo las medidas de restricción implementadas influyeron en la calidad del aire¹⁰.

Estos casos muestran que:

- Si bien el personal científico creó y guió las iniciativas, con el apoyo técnico adecuado la implementación puede llevarse a cabo completamente por la sociedad civil.
- Abrir los procesos de investigación y la información para involucrar a la ciudadanía en el estudio de la calidad del aire aumenta su interés en la problemática y les permite participar en la búsqueda de soluciones y tomar acciones a nivel local.
- La creación de redes dentro de estos trabajos mejoró la relación ciencia-sociedad-política. Además, generar sinergias con personas e instituciones con intereses afines no sólo facilita procesos de investigación, sino que también amplía los campos de acción en los que se puede trabajar para mejorar la calidad del aire y pasar de los proyectos a los procesos que fortalezcan las relaciones entre actores (Martínez-Callejas et al. 2018).
- La participación social en el monitoreo de la calidad del aire arroja datos de actividad más detallados que pueden ayudar a complementar y entender la información sobre fuentes de emisión con mayor precisión.

CASOS DE ESTUDIO

Los casos que se presentan a continuación fueron desarrollados por el personal de Calidad del Aire de WRI México con apoyo de la Escuela de Informática de la Universidad de Edimburgo (UdE), quienes equiparon los proyectos con dispositivos de medición con dispositivos basados en microsensores fijos *Airspeck-Stationary* (AS) y portátiles *Airspeck-Portable* (AP) capaces de medir contaminantes del aire y parámetros meteorológicos¹¹. Los AS se instalaron estratégicamente en calles, plazas y parques para medir las concentraciones a las que se expone el grueso de la población. Los AP se portaron en la cintura en recorridos pedestres y ciclistas para recolectar información sobre exposición personal (Figuras 3 y 4).

Figura 3 | Equipos de medición Airspeck-Stationary



AS colocado en una luminaria para medir las concentraciones en un punto dentro de la ciudad.
Fuente: Elaboración propia

Figura 4 | Sensores portables, cintas, cables y teléfonos móviles utilizados en las campañas de monitoreo



Fuente: Elaboración propia

A) León: niveles iniciales de contaminación a nivel de calle en área urbana destinada a Zona de Bajas Emisiones (ZBE)

Antecedentes

Previo al desarrollo de esta campaña piloto, WRI conocía el interés del gobierno local por instrumentar una ZBE en el centro histórico de León, pues las áreas de Desarrollo Urbano y Accesibilidad, y de Calidad del Aire, ya habían realizado un proyecto en 2018 y 2019 en el que se había propuesto un perímetro para esta zona. Una ZBE tiene el propósito de constituirse como un espacio público con bajos niveles de contaminación del aire, con el fin de mejorar la salud de la población que vive, trabaja y visita esta zona. Las restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos,

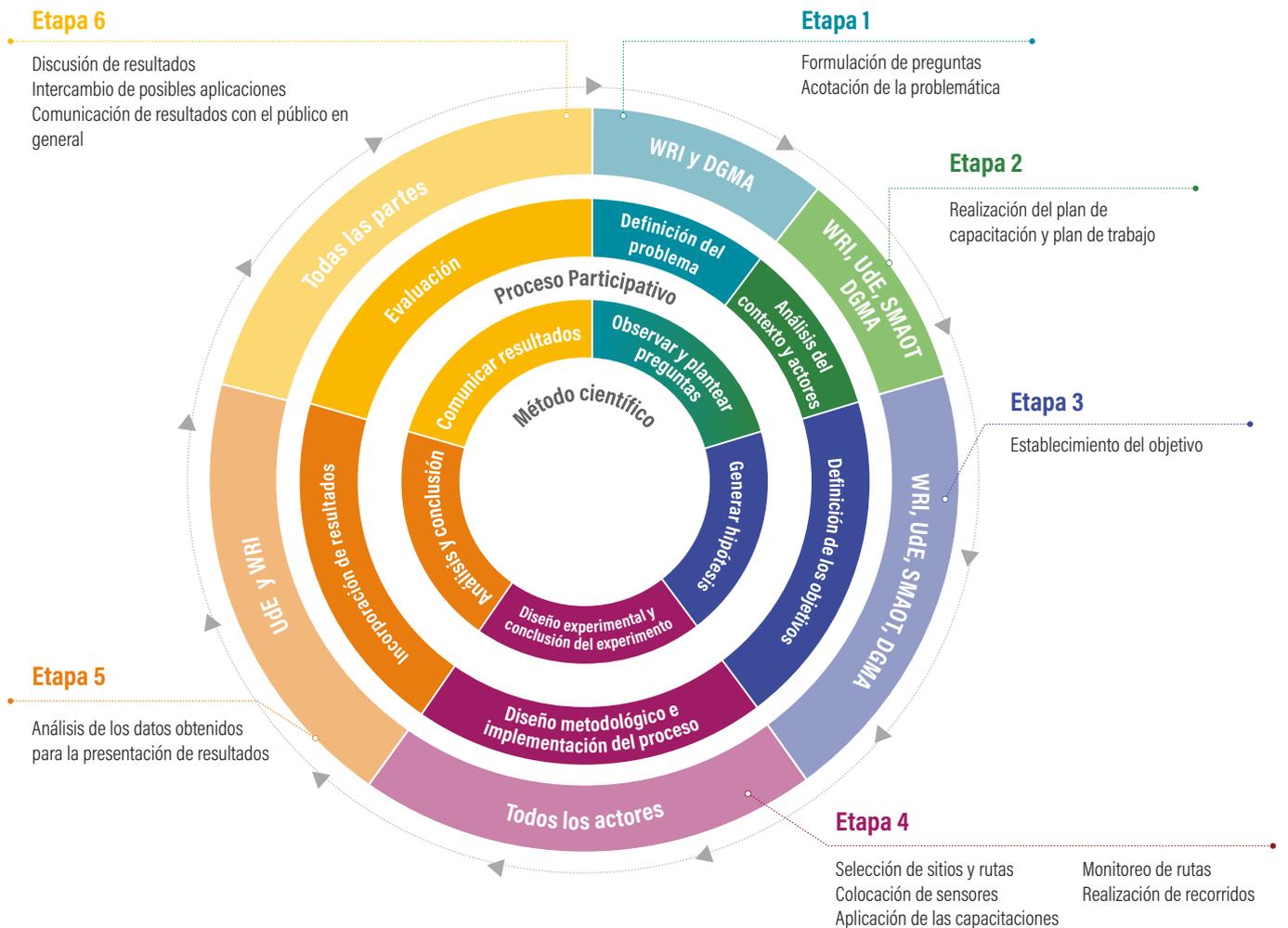
así como el ordenamiento y regulación de los comercios que emiten contaminantes, son algunas de las acciones que pueden implementarse en dichos perímetros.

A partir de estos antecedentes, surgieron la pregunta y el objetivo de la investigación:

- **Pregunta:** ¿cuáles son los niveles de contaminación del aire en el área delimitada para la ZBE previo a su posible implementación?
- **Objetivo:** proporcionar niveles de referencia con los que se pueda medir el impacto cuantitativo de la ZBE.

La Figura 5 muestra las actividades y los momentos de intervención de WRI, la Ude, la Dirección General de Medio Ambiente de León (DGMA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Guanajuato (SMAOT).

Figura 5 | Intervención y aportación de las instituciones involucradas en León, Guanajuato



Fuente: Elaboración propia

La UdE y WRI capacitaron al personal del municipio de León sobre los dispositivos basados en microsensores (calibración, empleo, análisis y cuidado), las tareas de cada participante y su nivel de involucramiento. Después de recibir esta información y con el conocimiento local sobre las dinámicas de movilidad, la intensidad del tráfico vehicular, los tipos de vehículos en las vialidades del centro y sus alrededores, así como de lugares de reunión de grandes grupos de personas e información acerca del comercio, se establecieron los criterios de selección de sitios de referencia y rutas dentro del área de estudio (Tabla 1).

Los recorridos estuvieron a cargo de la DGMA y la SMAOT de lunes a viernes de 8:30 a 9:30 am, del 19 de octubre al 5 de diciembre de 2019. Estas instituciones también se encargaron de aportar el material (bicicletas y chalecos) y descargar los datos de AS a un *dashboard* habilitado por la UdE para el proyecto.

La Caja 1 muestra las rutas designadas para el polígono delimitado y señala la ubicación de los dispositivos fijos, las fotografías seleccionadas de algunos de los recorridos pedestres y ciclistas realizados, así como la numeración con los detalles de las personas participantes y los kilómetros recorridos en la campaña de León, Guanajuato.

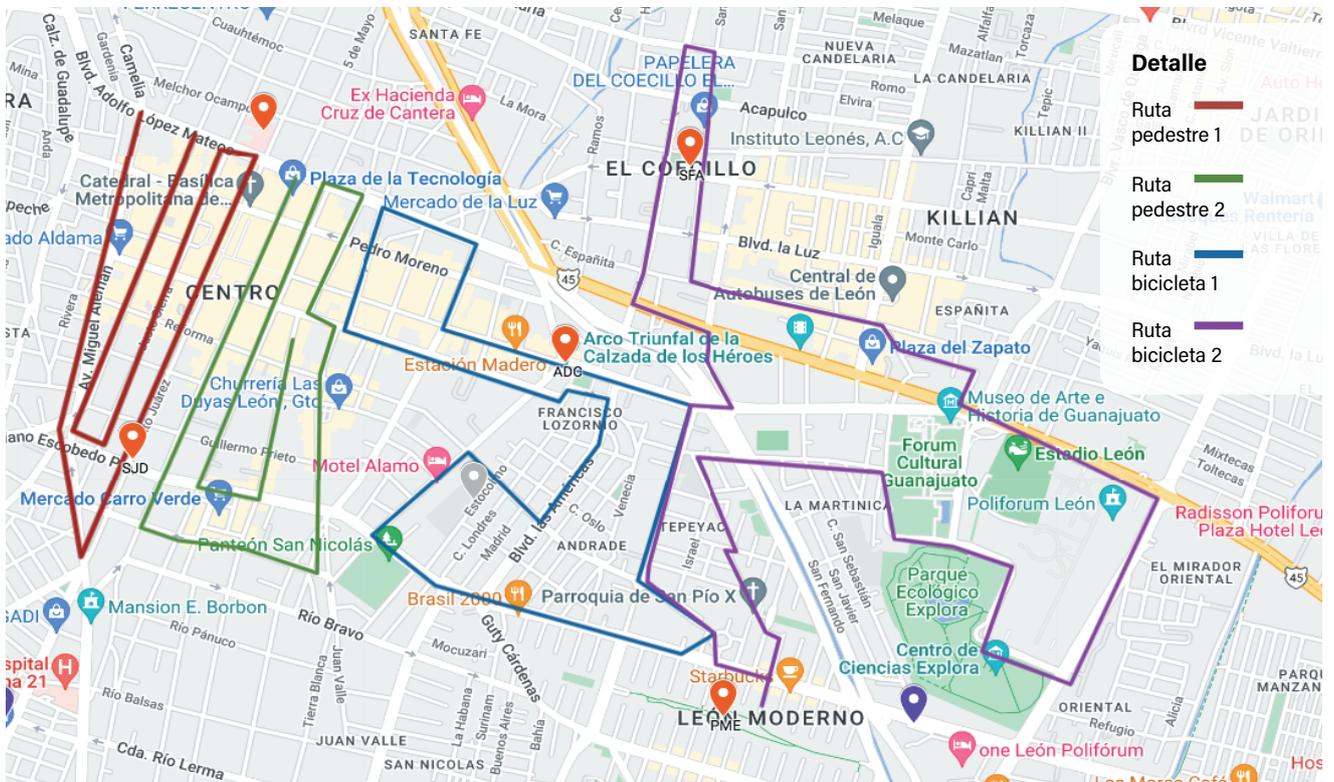
Tabla 1 | **Criterios de selección de sitios de referencia y rutas**

Criterio	Aplicación
Densidad de flujo peatonal y ciclista	Se priorizaron calles y avenidas con alto flujo peatonal y ciclista que convergieran con espacios públicos concurridos.
Seguridad	Se evitaron zonas catalogadas como "conflictivas" de acuerdo con la percepción de inseguridad de las personas voluntarias y reportes de incidentes delictivos (asaltos) en calles y zonas de esparcimiento público.
Tipo de vialidad y afluencia vehicular	Se eligieron vialidades secundarias que cruzaran con avenidas primarias de la ciudad con alto flujo vehicular.
Conectividad y alcance entre los sensores	Se escogieron lugares que aseguraran buena conectividad entre los sensores para evitar anomalías por pérdida de conexión.
Presencia de comercio ambulante	Se seleccionaron calles y vialidades con presencia media o baja de comercio informal.
Presencia de vegetación	Se buscaron rutas con alta y densa vegetación, específicamente arbolado alto con copas frondosas y arbolado bajo.

Fuente: Elaboración propia

Caja 1 | Rutas, evidencias y numeralia de la campaña de León, Guanajuato

1. Rutas pedestres, ruta ciclista y ubicación de los sensores fijos en León



Fuente: Elaboración propia

2. Evidencias fotográficas de los recorridos pedestres y ciclistas



Fuente: Adolfo Israel Lomelí García

3. Numeralia de León



Fuente: Elaboración propia

Resultados

La información registrada fue procesada por la UdE y, posteriormente, WRI normalizó los datos mediante la puntuación-z (*z-score*) para facilitar su interpretación. Las Figuras 6, 7, 8 y 9 son ejemplos de los resultados en términos de intensidad de las mediciones de $PM_{2.5}$. Los tramos con valores debajo de la media se iluminan en azul y los valores por arriba de la media en rojo. Los círculos de mayor diámetro representan valores extremos o atípicos.

En la ruta 1 pedestre, el polígono sur presenta medidas extremas y posibles *hotspots* entre la calle 5 de Febrero y el Boulevard Mariano Escobedo. En esta zona se desarrollan actividades comerciales que son fuente de $PM_{2.5}$ como ferreterías, tapicerías, la Central de Autobuses Metropolitana de León, estacionamientos, restaurantes y universidades (por la llegada de vehículos particulares).

En la ruta 2 pedestre, 3 y 4 ciclista, hay un incremento de estas concentraciones cerca del Boulevard Mariano Escobedo que a lo largo del polígono de estudio se caracteriza por la presencia de restaurantes y escuelas. Esta vialidad, al igual que el Boulevard Adolfo López Mateos, es principal pero no es tan amplia como su contraparte. Aunado al tránsito de carga que se estaciona momentáneamente para descargar insumos en diferentes establecimientos, esto pudo limitar la dispersión de contaminantes.

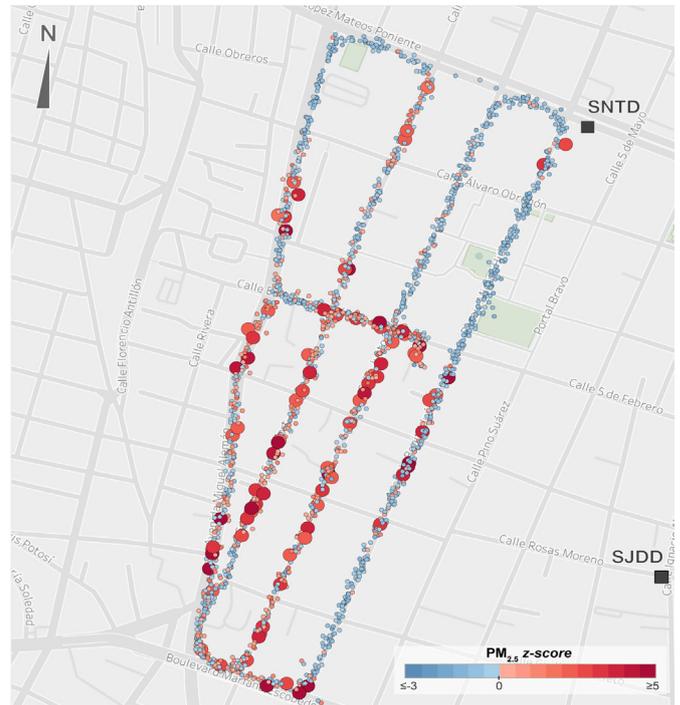
Evaluación de resultados y conclusiones

Los resultados arrojaron que los niveles de contaminación en el área considerada para implementar la ZBE son altos entre la calle 5 de Febrero al norte, calle Pino Suárez el oeste, Boulevard Mariano Escobedo en el sur y la Avenida Miguel Alemán al este. Esta actividad puede atribuirse a la intensa actividad comercial de la zona y al tránsito y estacionamiento constante de vehículos.

La variabilidad diurna de $PM_{2.5}$ (Figura A1, Apéndice A), marcada por los AS y AP, muestra dos incrementos importantes registrados alrededor de las 7 - 8 a.m. y 6 - 7 p.m., y descensos entre las 3 y 4 p.m. La estación que registró las mayores concentraciones durante la mañana fue el ITEC (Instituto Tecnológico de León). El pico coincide con el horario de ingreso del alumnado del plantel y podría asociarse con emi-siones vehiculares.

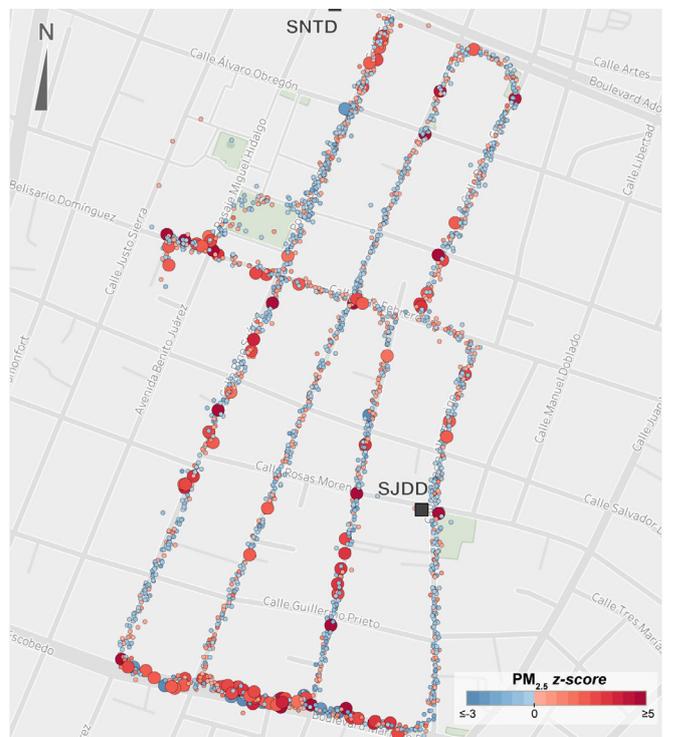
Se espera que, con la implementación de las medidas adecuadas para la ZBE, los niveles de estas concentraciones se reduzcan y esto tenga un efecto positivo en la salud de la población. Para observar estos beneficios será indispensable realizar un estudio posterior para contrastarlo con las mediciones iniciales.

Figura 6 | Ruta 1 pedestre en León



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 | Ruta 2 pedestre en León



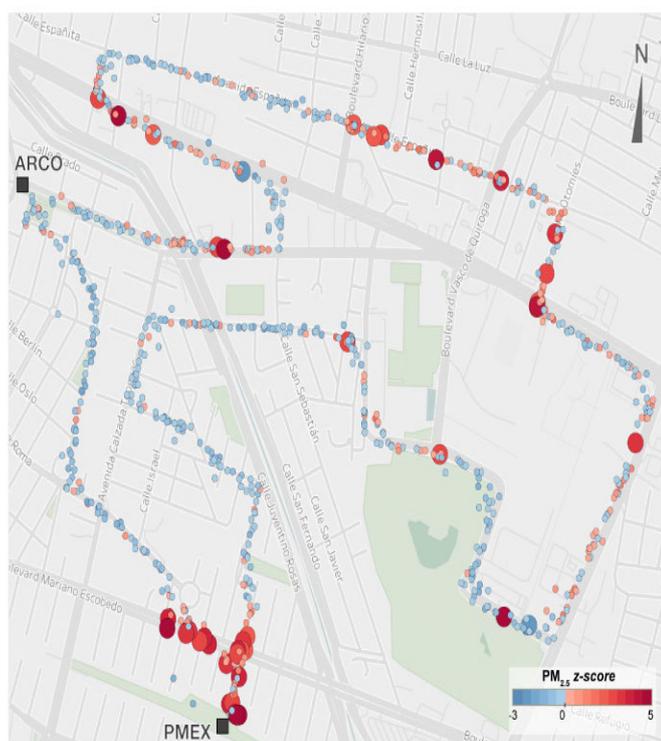
Fuente: Elaboración propia

Figura 8 | Ruta 1 ciclista en León



Fuente: Elaboración propia

Figura 9 | Ruta 2 ciclista en León



Fuente: Elaboración propia

B) Guadalajara: exposición a PM_{2.5} en vías peatonales y ciclistas

Antecedentes

En diciembre de 2019, el Colectivo Ecologista Jalisco A.C. (CEJ)¹³ propuso a WRI un proyecto para medir las concentraciones de PM_{2.5} a nivel de calle en Guadalajara, Jalisco. (Gracias a este plan la Ude extendió el plazo de préstamo de los dispositivos basados en microsensores). A partir de estos antecedentes, surgieron la pregunta y el objetivo de la investigación:

- **Pregunta:** ¿cuáles son los niveles de contaminación a los que se exponen personas a pie y ciclistas en trayectos peatonales y de ciclovías de la ciudad?
- **Objetivo:** proporcionar una referencia de las concentraciones de exposición de la población que vive, trabaja y visita el centro de Guadalajara.

Instituciones involucradas: WRI, CEJ, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Jalisco (SEMADET), Dirección de Movilidad y Transporte de Guadalajara (DMTG), Ayuntamiento de Guadalajara (AGDL), Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN) y MiSSiOn Bicimensajeros (MB). La Figura 10 muestra el involucramiento de cada persona por cada etapa del proyecto.

La capacitación sobre la herramienta de trabajo, metodología y aportación de personas participantes fue impartida por WRI y el personal del municipio de León que participó en su campaña. La delimitación del área de estudio, los sitios de referencia y las rutas de esta experiencia fueron delimitadas con los criterios desglosados en la Tabla 1.

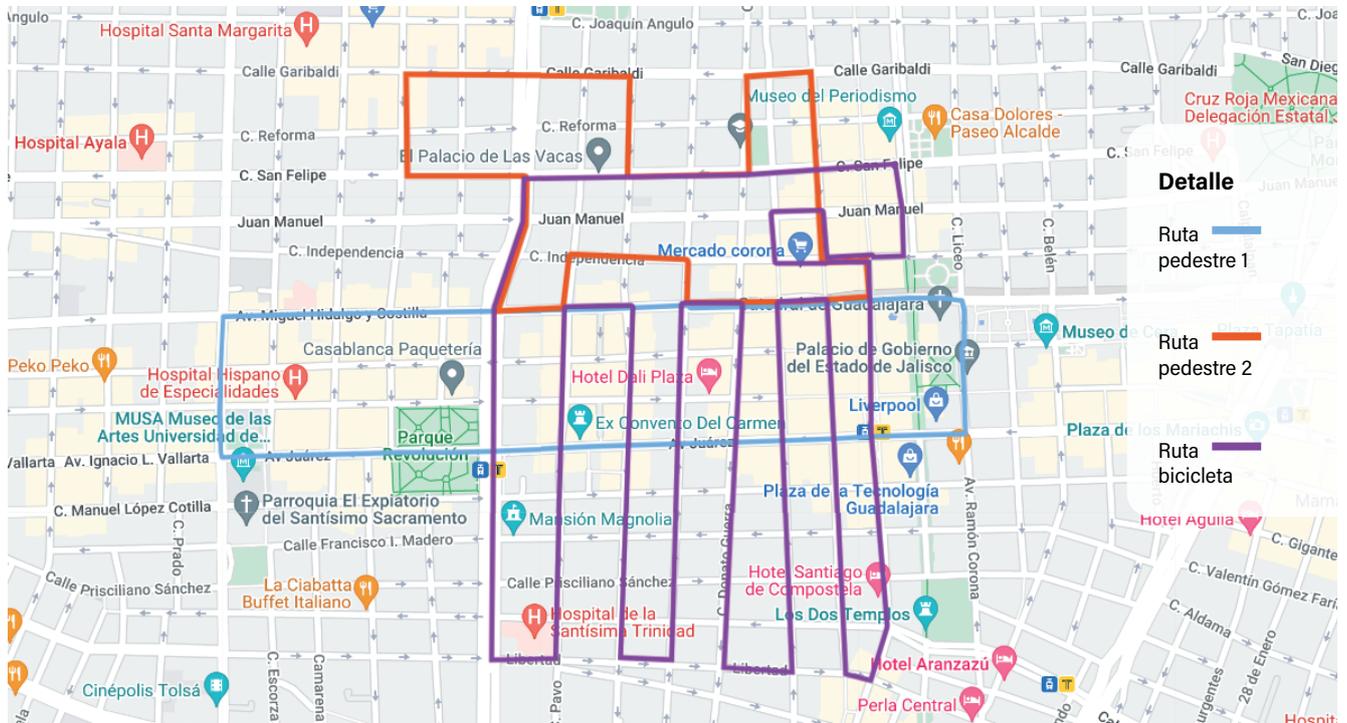
El AGDL tuvo contacto con la Comisaría de Seguridad Pública de Guadalajara, establecimientos comerciales y autoridades de iglesias cercanas para cuidar los AS y resguardó los AP. Personal de la AGDL y la SEMADET realizaron los trayectos pedestres, a excepción de un fin de semana que los hizo la DMTG. Las personas ciclistas de MB realizaron los recorridos de 8 a 9:30 a.m. La campaña se realizó del 10 de enero al 17 de febrero de 2019.

El CEJ impulsó una campaña de comunicación mediante carteles para que la ciudadanía que frecuentaba los espacios en los que se instalaron AS conociera el ejercicio que se llevaba a cabo en el lugar (Figura 11).

La Caja 2 muestra los caminos designados para el polígono delimitado y señala la ubicación de los dispositivos fijos, las fotografías seleccionadas de algunos de los recorridos pedestres

Caja 2 | Rutas, evidencias y numerialia de la campaña de Guadalajara

1. Rutas pedestres, ruta ciclista y ubicación de los sensores fijos en León



Fuente: Elaboración propia

2. Evidencias fotográficas de la entrega de sensores



Fuente: Elaboración propia

3. Numerialia de Guadalajara



Fuente: Elaboración propia

y ciclistas realizados, así como la numeraria con los detalles de las personas participantes y los kilómetros recorridos en la campaña de Guadalajara.

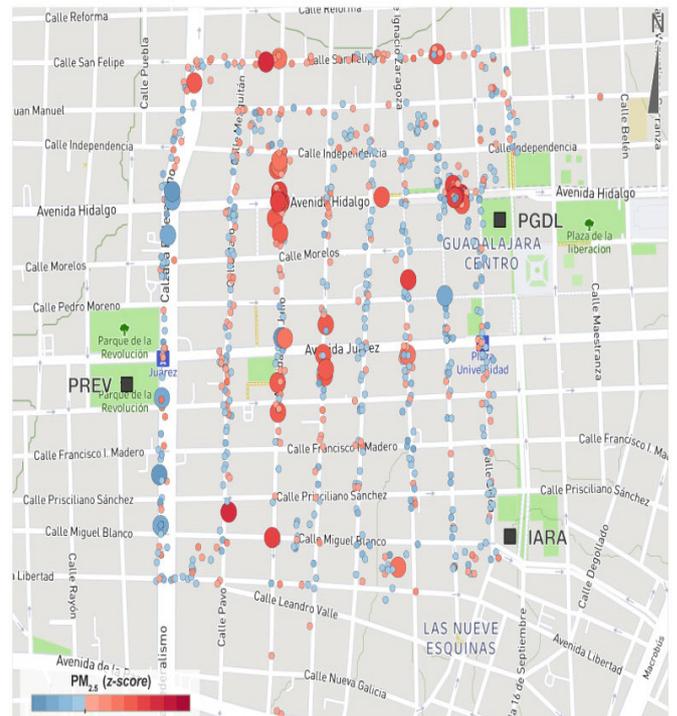
Resultados

Las Figuras 12, 13 y 14 son ejemplos de los resultados en términos de intensidad de las concentraciones de $PM_{2.5}$. Los tramos con valores debajo de la media se iluminan en azul y los valores por arriba de la media, en rojo. Los círculos de mayor diámetro representan valores extremos o atípicos.

Los valores atípicos en las rutas se presentaron en calles estrechas con circulación vehicular constante, locales comerciales y en algunas ocasiones estacionamientos. Este es el caso de las calles Contreras Medellín, Mezquitán, Garibaldi y el tramo entre ésta y a Santa Mónica. También se visualizaron valores extremos en algunos cruces con avenidas como en las calles Independencia y Morelos y su intersección con Av. Hidalgo, al igual que en la calle Enrique González Martínez y Av. Juárez.

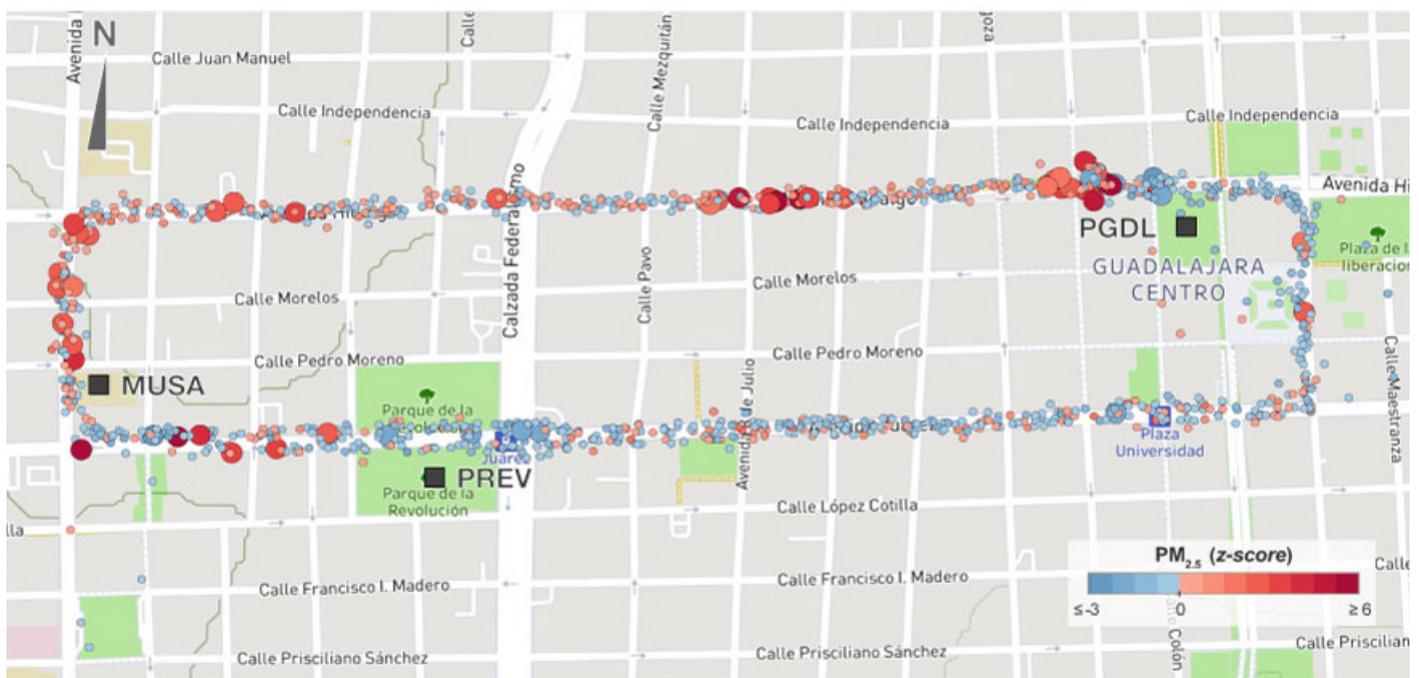
Otra zona importante se observó entre las calles Mariano de la Bárcena y Contreras Medellín, en donde algunos árboles forman una especie de túnel que limita la dispersión de los contaminantes. Caso contrario a la Calzada Federalismo que

Figura 13 | Ruta bicicleta en Guadalajara



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 | Ruta pedestre 1 en Guadalajara



Fuente: Elaboración propia

- Fortalecimiento de capacidades. El personal gubernamental implicado indicó que la información sobre la metodología y conocimientos técnicos le ayudó a reforzar sus conocimientos sobre identificación de fuentes de emisión y los retos que enfrentan a nivel local para lograr reducir la exposición de la población.

Las personas e instituciones involucradas y su relación con las experiencias

En materia de calidad del aire en México, la mayoría de los gobiernos locales cuentan con pocas instancias y personas dedicadas a la gestión de este problema. Lo mismo ocurre con los colectivos ciudadanos: muy pocos incluyen en sus intereses el problema de la contaminación del aire. Esto reduce la posibilidad de trabajar con más instancias que tengan entre sus facultades la atención del problema. Los gobiernos de León y Guadalajara se tomaron en cuenta para estos proyectos por colaboraciones previas con WRI México. Es decir, se conocía de antemano su interés por el tema, al igual que con el personal de la UdE, lo que facilitó su contacto y disposición para participar en ambas campañas.

- En el caso de León, la campaña piloto fue implementada por personal del gobierno con un enfoque ciudadano. Ello les ayudó a tomar consciencia de la contaminación del aire que existe dentro y fuera del centro histórico de su

ciudad al percibir efectos como irritación de ojos, náuseas y vómito. Además, propusieron soluciones locales para reducir las emisiones generadas por vehículos automotores.

- En Guadalajara, el proyecto lo implementó la sociedad civil con el propósito de incidir en su localidad. Al cierre de la campaña, se descubrió que entre las personas participantes que desconocían el tema de calidad del aire resultó de especial interés la relación entre ésta y la movilidad urbana. De igual manera, propusieron mejoras para reducir el tiempo en la curva de aprendizaje en el uso de dispositivos basados en microsensores.

Incluir a la sociedad civil en el proceso reveló una forma distinta de compromiso al que se generó en León sin esta participación: el CEJ comunicó a la ciudadanía del ejercicio y ésta decidió vigilar activamente que los AS no sufrieran daños o desaparecieran. Las personas participantes comentaron que esta intervención cambió su perspectiva sobre las calles de su ciudad en función de las fuentes de emisión y su agudización del sentido del olfato (WRI México 2021).

5.3 Retos y oportunidades

Los retos y oportunidades surgieron principalmente en la cuarta etapa, con el diseño metodológico y la implementación del proceso (Tabla 2).

Tabla 2 | Retos y oportunidades dentro de las etapas de la ciencia participativa

Etapa	Retos identificados	Área de oportunidad
Diseño metodológico e implementación del proceso	Falta de comunicación entre dependencias gubernamentales: limitación en gestión de permisos para la colocación de AS	Pláticas conjuntas con autoridades involucradas directa o indirectamente en el proyecto para resaltar su aporte y el beneficio del proyecto.
	Toma de decisiones particulares y no en conjunto, debido a la falta de comunicación entre personas e instituciones.	Homologar un canal y contacto de comunicación, así como terminología propia de la materia a través de la capacitación. Si hay instituciones que no se encuentren en la zona de estudio, podrían enviar personal al sitio durante la cuarta etapa.
	Complicaciones por condiciones meteorológicas (lluvias)	Contar con equipo especial para el personal y las herramientas de trabajo: impermeables, anteojos, señalización para dar visibilidad a los ciclistas, calzado adecuado, llantas para el terreno, etc.
	Contratiempos de personas voluntarias	Contar con personas voluntarias de respaldo y un plan de contingencia para cubrir a personal en caso de emergencia.
	Contratiempos con el equipo (bicicletas)	Tener equipo y refacciones de reserva.
	Seguridad urbana	Incluir personal de seguridad pública (elementos policiales o de tránsito) para abarcar más lugares o incluirlos en la realización de recorridos.
	Compromiso y motivación: en algunas ocasiones, algunas personas participantes no recorrieron las rutas completas en ambas campañas.	Dar seguimiento en tiempo casi real a participantes para la investigación y generar incentivos a través del involucramiento y reconocimiento.

Fuente: Elaboración propia

Lecciones aprendidas

- El conocimiento previo de los intereses y necesidades de investigación del área de estudio facilita el involucramiento de personas e instituciones.
- A medida que se incorporan más personas a la investigación, el proceso se alarga. Pero, como demostró la campaña de comunicación del CEJ y el cuidado de los dispositivos por parte de la ciudadanía de Jalisco, la adición de diferentes perspectivas puede ampliar el impacto del proyecto y con ello optimizar los recursos financieros y humanos.
- Identificar adecuadamente a personas e instituciones no científicas es clave para la aportación de conocimiento social y político del entorno (localizar, por ejemplo, zonas en situación de vulnerabilidad con atención y recursos inequitativos).
- La capacitación de las personas involucradas para comprender el problema de la contaminación del aire y los dispositivos de medición es esencial para elevar el grado de participación.
- Incluir a otras personas e instituciones en la definición de objetivos crea un marco de apropiación del proyecto que deriva en un mayor compromiso.
- Invertir tiempo en la capacitación de la herramienta de trabajo asegura un empleo adecuado y optimiza su uso.
- Es necesario informar a los equipos participantes el tiempo que dedicarán a la investigación para que, de ser el caso, no afecte sus deberes laborales.
- Incluir personal de seguridad pública abre la posibilidad de abarcar zonas con poblaciones en condiciones de vulnerabilidad para diseñar estrategias más incluyentes y justas.
- Las reuniones informativas de avance y finalización del proyecto contribuyen a comprender preocupaciones y necesidades de personas e instituciones para enriquecer futuros proyectos de CP.

CONCLUSIONES, BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LA CIENCIA PARTICIPATIVA

La CP es una metodología alternativa a la investigación científica tradicional que, además de generar conocimiento científico-técnico útil para la toma de decisiones en el ámbito público y privado para mejorar la calidad del aire y la salud, eleva la consciencia y el compromiso de personas no especializadas en calidad del aire. También sensibiliza sobre las causas y consecuencias de su contaminación, informa acerca de la complejidad y rigor científico de los procesos de investigación y empodera a la sociedad civil para buscar e implementar acciones integrales que incidan en la calidad del aire a nivel local.

Si bien los ejemplos presentados en este documento fueron guiados por personas especializadas en ciencias y ayudan a evolucionar los métodos de la investigación científica, el siguiente paso en la integración de la participación social en la ciencia es que estos proyectos puedan ejecutarse con todas las personas involucradas trabajando como pares, para abarcar contextos más amplios que tomen en cuenta el enfoque interseccional (es decir, que tomen en cuenta a personas con diversas identidades de género, de diferentes grupos de edad, de distintos niveles socioeconómicos, de diferentes orígenes étnicos raciales y con discapacidades, etc.) y las condiciones socioeconómicas y culturales como determinantes de los procesos de conciencia individual y colectiva.

La participación de la sociedad civil en estos procesos de investigación científica demuestra que existen formas activas en que la ciudadanía puede interactuar con la ciencia, lo que deja de lado la idea de que ésta sólo es el público o el sujeto de estudio. Su intervención en la creación de información ayudará a la generación de políticas, pero también la sitúa como actor clave en la transformación del entorno y en procesos democráticos de toma de decisiones.

La CP no puede sustituir las redes de monitoreo ambiental cuyos equipos utilizan métodos de medición de referencia para realizar un monitoreo robusto y especializado de la calidad del aire, las cuales son normadas por instituciones internacionales reconocidas para tales efectos. Pero sí puede ayudar a complementar datos a nivel local e incluso a detectar fuentes de contaminación en determinadas zonas geográficas que ayuden a mapear y comprender otras dinámicas de contaminación.

LISTA DE ABREVIATURAS

AGDL	Ayuntamiento de Guadalajara
AP	<i>AirSpeck Portable</i>
AS	<i>AirSpeck Stationary</i>
CEJ	Colectivo Ecologista Jalisco, A.C.
CP	Ciencia participativa
DGMA	Dirección General de Medio Ambiente de León
DMTG	Dirección de Movilidad y Transporte de Guadalajara
IMEPLAN	Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara
MB	MiSSIOn Bicimensajeros
NO₂	Dióxido de nitrógeno
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Jalisco
SMAOT	Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, Guanajuato
O₃	Ozono
PM	Particulate Matter (partículas suspendidas en este documento)
PM_{2.5}	Partículas suspendidas con diámetro de menos de 2.5 micras
PM₁₀	Partículas suspendidas con diámetro de menos de 10 micras
UdE	Universidad de Edimburgo
SIMAJ	Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco
SIMEG	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Guanajuato

NOTAS FINALES

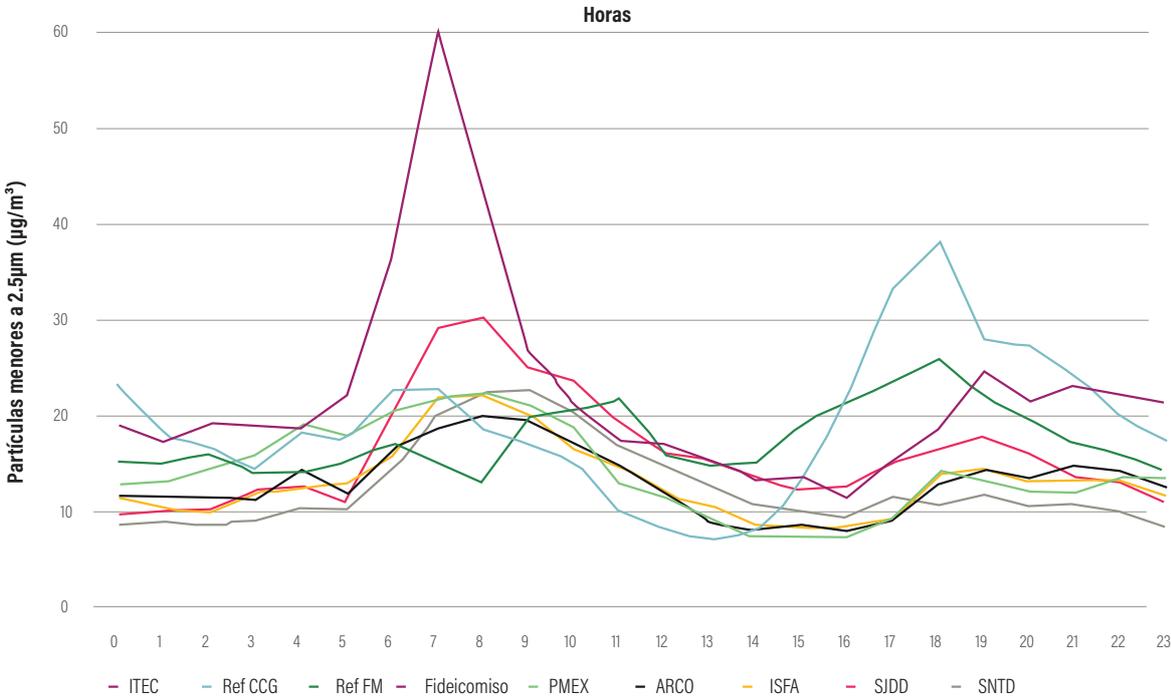
1. Decesos antes de la edad promedio de defunción en el país.
2. Más información en: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2020/cap3/306/>
3. Más información en: <http://cienciaparticipativa.net/>
4. Más información en: <https://eu-citizen.science/>
5. Más información en: <https://www.buergerschaffenwissen.de/en>
6. Más información en: <https://sensor.community/es/>
7. Más información en: <https://luftdaten.info/>
8. Más información en: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality/cleanair-at-school>
9. Más información en: <https://www.cleanairschools.com.au/>
10. Más información en: <https://www.undp.org/es/argentina/noticias/cordoba-experimento-participativo-de-monitoreo-de-calidad-del-aire>
11. Para conocer más información sobre estos dispositivos, puede consultar: <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/the-airspeck-family-of-static-and-mobile-wireless-air-quality-mon>
12. Los datos completos y su análisis estarán disponibles en una publicación posterior a ésta, a cargo del analista Armando Retama. Cualquier persona interesada en conocer más detalles sobre los resultados técnicos de estos ejercicios puede escribir directamente al investigador a través de su correo electrónico.
13. El CEJ es una organización mexicana de la sociedad civil que, mediante el diálogo intersectorial, la educación ambiental, la incidencia pública, la innovación social y la investigación aplicada, busca defender el interés público en la sustentabilidad ambiental y social.

REFERENCIAS

- Contreras, R. 2000. "Empoderamiento campesino y desarrollo local". *Revista Austral de Ciencias Sociales* 4: 55-68. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45900403>.
- Durston, J. y Miranda, F. 2002. *Experiencias y metodología de la investigación participativa*. Santiago de Chile: Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6023/S023191_es.pdf.
- Eitzel, M.V., Oliver, J., Santos-Lang, C., Duerr, R., Virapongse, A., West, S., Kyba, C., Bowser, A., Cooper, B., Sforzi, A., Metcalfe, A., Harris, E., Thiel, M., Haklay, M., Ponciano, L., Roche, J., Ceccaroni, L., Shilling, F., Dörler, D. y Jiang, Q. 2017. "Citizen Science Terminology Matters: Exploring Key Terms". *Citizen Science: Theory and Practice* 2 (1). DOI:10.5334/cstp.96.
- HEI (Health Effects Institute). 2010a. *Proceedings of an HEI Workshop on Further Research to Assess the Health Impacts of Actions Taken to Improve Air Quality*. <https://www.healtheffects.org/publication/proceedings-hei-workshop-further-research-assess-health-impacts-actions-taken-improve>.
- HEI. 2010b. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. <https://www.healtheffects.org/publication/traffic-related-air-pollution-critical-review-literature-emissions-exposure-and-health>.
- IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation). 2019. México. <https://www.healthdata.org/mexico?language=149>
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2019a. *Estado de la Calidad del Aire en México*. <https://www.gob.mx/inecc/articulos/estado-de-la-calidad-del-aire-en-mexico?idiom=es>.
- INECC. 2019b. *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2018*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/pags/informes.php>.
- INECC. 2020. *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2019*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/pags/informes.php>.
- Martínez-Callejas, S.J., Rey Velasco, J. y Soacha K. 2018. *Ciencia participativa. Contribución al conocimiento de la biodiversidad*. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap1/105/#seccion1>.
- Nadadur, S. y Hollingsworth, J.W. (eds). 2015. *Air Pollution and Health Effects*. Humana Press: Estados Unidos.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2022. *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [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).
- OMS. 2023. *Air Pollution*. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/theme-details/GHO/air-pollution>
- ONU Habitat. 2020. *Componentes del Derecho a la Ciudad*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/componentes-del-derecho-a-la-ciudad>.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). s/f. *Calidad del aire*. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.
- Peñalva Torres, A.P. y de los Ríos, E. 2014. *Manual de participación en políticas de movilidad y desarrollo urbano*. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo (ITDP). <https://www.itdp.org/2014/02/26/manual-de-participacion-en-politicas-de-movilidad-y-desarrollo-urbano/>.
- Red Prensa Verde. 2018. "Las aves, el gran atractivo para la ciencia participativa". Historias de un país megadiverso. Red Prensa Verde. <https://redprensaverde.org/2018/09/11/las-aves-el-gran-atractivo-para-la-ciencia-participativa/>.
- Rojas Bracho, L. y Garibay Bravo, V. 2003. "Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud? ¿podemos hacer algo?". *Gaceta ecológica*. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906902.pdf>.
- Schrögel, P. y Kolleck, A. 2019. "The Many Faces of Participation in Science: Literature Review and Proposal for a Three-dimensional Framework". *Science & Technology Studies* 32(2): 77-99. DOI: <https://doi.org/10.23987/sts.59519>.
- Sirvent, M.T. y Rigal, L. 2012. *Investigación Acción Participativa. Un desafío de nuestros tiempos para la construcción de una sociedad democrática*. Páramos Andinos. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32967>.
- Tessum, C.W., Paoletta, D.A., Chambliss, S.E., Apte, J.S., Hill, J.D., y Marshall, J.D. 2021. "PM_{2.5} pollutants disproportionately and systemically affect people of color in the United States". *Science Advances*. DOI: 10.1126/sciadv.abf4491.
- UNESCO. 2019. *Participatory Science for Sustainable Development*. <https://en.unesco.org/events/participatory-science-sustainable-development>.
- Universidad de la Laguna. 2018. "Investigación participativa y colaborativa". *YouTube*. <https://youtu.be/rQIR1tELwIY>.
- WRI México. 2021. "Ciencia participativa para un aire limpio en ciudades mexicanas." *YouTube* https://www.youtube.com/watch?v=0S-IYP_J8_k.
- Zapata, F. y Rondán, V. 2016. *La investigación Acción Participativa: Guía conceptual y metodología del Instituto de Montaña*. Instituto de Montaña. <https://mountain.pe/recursos/attachments/article/1mailigaciónion-Accion-Participativa-IAP-Zapata-y-Rondan.pdf>.

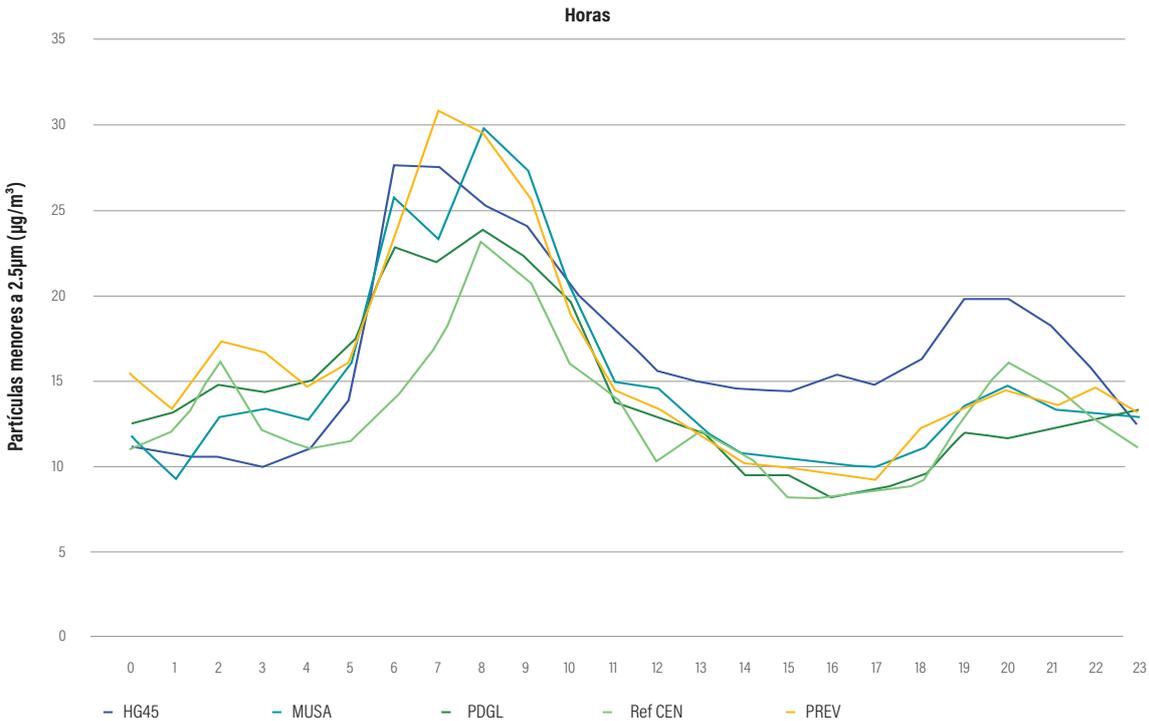
APÉNDICE A

Figura A1 | Variabilidad de la mediana de la concentración horaria en los sitios con AS en León



Fuente: Elaboración propia
Nota: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos/metro cúbico)

Figura A2 | Variabilidad de la mediana de la concentración horaria en los sitios con AS en Guadalajara



Fuente: Elaboración propia
Nota: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos/metro cúbico)

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Zoë Petard y DK Arvind (integrantes de la Universidad de Edimburgo) por su interés, apoyo y su disposición de venir a México para formar parte de los proyectos. Además, a la Secretaría de Movilidad de León, al Ayuntamiento de León, la SMAOT, el CEJ, la SEMADET, la Dirección de Movilidad y Transporte de Guadalajara, el IMEPLAN y la asociación MiSiOn Bicimensajeros por toda su ayuda e involucramiento. Gracias a las personas que apoyaron en la realización de la campaña de medición en León: María Teresa González Rodríguez, Luis Antonio Sánchez Granados, Adolfo Israel Lomelí García, Ana Cristina Ruiz Bravo, Alexis Daniel Storms Villagómez, Jorge Arturo Gómez Magdaleno, Lucio Hernández Romero, Ricardo René García López, Carlos Aarón Ávila, Guillermo López, Juan Manuel Pérez, María Libertad Mendoza Ramírez, Erick Gerardo Armenta Acevedo, Graciela de Lourdes Ramos Flores, Javier Rivera Flores. Y las personas que apoyaron en la realización de la campaña de medición en Guadalajara: Estefany López Murillo, Claudia Gabriela Canales Gallardo, Adriana Rodríguez Villavicencio, Paulina Cervantes Flores, Pilar Romero Magaña, Mario Molina, Cecilia Mejía, Gabriela Gutiérrez, Itzel Gutiérrez, Beatriz Rodríguez, Rubén Gómez, Daniel Ríos, Daniel Romero, Mario Alberto Sandoval, Michelle Ascencio, Axell Sutton, Luis Osegueda, Yesenia Ortega, José de Jesús Sandoval González, Jesús Andrés Flores de la Torre, Emely Malacón Hill, Silvina Razo Islas, Verónica Valeria Duarte Illan, Diana Paulina Serrano Roldán, Víctor Miguel Tinoco Figueroa, Nathalia de Jesús Ruvalcaba Nuño y Adriana Estefanía Robles Gómez.

También agradecemos a las personas que realizaron las revisiones internas de este trabajo: José Luis Santana, Ana Santana, Anamaría Martínez, Acoyani Adame, Elizabeth Moses y Paula Manoela dos Santos; además de los valiosos comentarios de Abraham Ortinez, Aron Jazcilevich, Miguel A. Zavala y Sindy Jineth Martínez Callejas como revisores externos. A Kar López por la revisión del lenguaje inclusivo, Javier Toscano por la edición y Nancy Rojas por el diseño editorial.

Las campañas de mediciones en León y Guadalajara, así como la mayor parte de la elaboración de la publicación fueron posibles gracias a recursos bilaterales y flexibles del WRI Ross Center for Sustainable Cities para el equipo de Calidad del Aire 2020-2022. También agradecemos la aportación de fondos de RDI para una parte de la elaboración y publicación.

ACERCA DE LA AUTORÍA

Tania López es experta en Salud Ambiental. Cuando realizó este documento se desempeñaba como Coordinadora de proyectos de Calidad del Aire en el World Resources Institute México. Tania participó en la estructura, revisión bibliográfica y redacción del documento en lo relativo a los efectos en la salud de los contaminantes del aire y en la narrativa de los casos de estudio. Además, diseñó y coordinó las campañas de mediciones en León y Guadalajara y participó en la coordinación del análisis de datos.
Contacto: lvania@gmail.com

Mercedes Escobar es Urbanista. Cuando realizó este trabajo era Analista de Calidad del Aire en el World Resources Institute México. Mercedes participó en la estructura, revisión bibliográfica sobre los antecedentes de los ejercicios de ciencia participativa, diseño de algunas ilustraciones y redacción del documento. Además, participó en la campaña de mediciones en Guadalajara.
Contacto: mael.corunum@gmail.com

Yasmin Duran es egresada de Comunicación y Periodismo de la UNAM. Cuando realizó este documento era Consultora para el equipo de Calidad del Aire del World Resources Institute México. Yasmin participó en la estructura, revisión bibliográfica y redacción del documento, así como en el seguimiento del proceso de producción.
Contacto: yasminduran63@gmail.com

Armando Retama es investigador experto en calidad del aire. Cuando realizó este trabajo se desempeñaba como consultor para el equipo de Calidad del Aire del World Resources Institute México. Armando estuvo a cargo de la revisión y análisis estadístico de datos, visualización de resultados y redacción en lo relativo al uso de sensores de bajo costo, así como de la revisión del documento.
Contacto: armando.retama@gmail.com

Beatriz Cárdenas es Directora Global de Calidad del Aire en el World Resources Institute. Cuando realizó este escrito, Beatriz era Directora de Calidad del Aire del World Resources Institute México. Beatriz participó en la estructura y revisión del mismo. Beatriz gestionó la colaboración con el Dr. Arvind de la Universidad de Edimburgo, que involucró el préstamo de los equipos, y colaboró en el diseño y coordinación de las campañas en León y Guadalajara.
Contacto: Beatriz.Cardenas@wri.org

Maite Cortés es cofundadora y directora del Colectivo Ecologista Jalisco, A.C. Su aportación en este escrito fue en la revisión del documento. Maite diseñó y coordinó el proyecto de ciencia participativa en Guadalajara y coordinó la participación de las personas voluntarias en la campaña de mediciones.
Contacto: maite@cej.org.mx



Copyright 2023 Instituto de Recursos Mundiales. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International License. Para ver una copia de la licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ACERCA DE LA UNIVERSIDAD DE EDIMBURGO

La Universidad de Edimburgo es un centro de educación superior e investigación situado en Edimburgo (Escocia, Reino Unido). La Escuela de Informática es una unidad de enseñanza que tiene bajo su responsabilidad la investigación, docencia, divulgación y comercialización en informática de la institución. La Universidad de Edimburgo y WRI México ya han colaborado antes en otras investigaciones.

ACERCA DEL CEJ

Es una organización de la sociedad civil con sede en Guadalajara, Jalisco, que desde 1986 promueve formas creativas de ciudadanía y construcción de comunidades de sentido para avanzar hacia la sustentabilidad. Uno de sus principales objetivos es generar información para la acción, a partir de procesos de investigación participativa y ciencia ciudadana.

ACERCA DE WRI MÉXICO

El Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) es una organización técnica global que convierte las grandes ideas en acciones en la intersección entre la conservación del medio ambiente, las oportunidades económicas y el bienestar humano.

Nuestro desafío

Los recursos naturales son la esencia de la oportunidad económica y el bienestar humano. Pero hoy en día estamos agotando los recursos de la Tierra a velocidades que no son sostenibles, lo que pone en peligro las economías y las vidas de las personas. Las personas dependen del agua limpia, los suelos fértiles, los bosques saludables y un clima estable. Las ciudades habitables y la energía limpia son esenciales para tener un planeta sostenible. Debemos abordar estos desafíos urgentes y globales en esta década.

Nuestra visión

Vislumbramos un planeta equitativo y próspero impulsado por la sabia gestión de los recursos naturales. Aspiramos a crear un mundo en el que las acciones del gobierno, los negocios y las comunidades se combinen para eliminar la pobreza y tener un medio ambiente natural sostenible para todas las personas.

El estudio

Las líneas rectoras de nuestras investigaciones se centran en la integridad, la innovación, la urgencia, la independencia y el respeto de cada área de labor de la administración. Los programas activos se enfocan en las ciudades, el clima, la energía, la comida, los bosques, el océano y el agua.

Nuestra aportación

Rompemos las brechas entre la conservación del medio ambiente, las oportunidades económicas y el bienestar humano. Vinculamos indagaciones rigurosas y análisis de datos con proyectos sobre cada terreno a través de la colaboración con diferentes socios. Todo esto para encaminar al mundo a un futuro más sostenible.

Los mapas tienen fines ilustrativos y no implican la expresión de ninguna opinión por parte de WRI sobre el estado legal de ningún país o territorio o sobre la delimitación de fronteras o límites.



Copyright 2023 Instituto de Recursos Mundiales. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International License. Para ver una copia de la licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>