

# Hacer visible lo invisible:

Una guía para el mapeo de la contaminación del aire hiperlocal para impulsar acciones por un aire limpio



# Índice

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	1
<b>PARTE 1: PARA EMPEZAR</b> .....	5
1. Entender los retos y oportunidades de la calidad del aire de su ciudad.....	5
2. Explorar las herramientas para medir y mapear la contaminación del aire hiperlocal .....	11
<b>PARTE 2: ASPECTOS ESENCIALES</b> .....	13
1. Diseñar una red de monitoreo del aire hiperlocal .....	13
2. En sus marcas, listos, fuera: Encender y mantener su red.....	28
3. Darle sentido a los datos .....	40
<b>PARTE 3: DE LOS DATOS A LA ACCIÓN</b> .....	45
1. Usar los datos acerca de la contaminación del aire para desarrollar e implementar soluciones de aire limpio .....	45
2. Crear conciencia y fomentar la participación y el apoyo comunitario .....	49
3. Medir el éxito y mantener el impulso .....	53
<b>LISTA DE RECURSOS DE EDF</b> .....	54

*Basada en la Edición 1 en inglés publicada en octubre de 2019.*

## Coautores

**Elena Craft, Ph.D.**

EDF, Directora Sénior, Clima y Salud

**Aileen Nowlan**

EDF, Directora Sénior, EDF + Negocios

**Harold Rickenbacker, Ph.D.**

EDF, Gerente, Aire Limpio e Innovación,  
EDF + Negocios

**Fern Uennatornwarangoon**

EDF, Gerente, Políticas de la Calidad del Aire

## Revisión técnica de la versión en español

**Sergio Sánchez**

EDF, Director Sénior de Política, Iniciativa Mundial de Aire Limpio

**Armando Retama**

Consultor

**Georgina Echániz**

Consultora

## Traducción al español

**Sofía Garduño**

Papiro Traducciones

## Agradecimientos

Agradecemos a los numerosos socios y asesores que han colaborado con EDF en los múltiples proyectos mencionados en esta guía, así como a los miembros del equipo de EDF por sus aportes. Las lecciones aprendidas de esta guía son fruto de estos esfuerzos colectivos.

# RESUMEN EJECUTIVO

## La ciencia es clara.

La contaminación del aire es dañina para la salud humana y sus impactos (aumento de las visitas al hospital, ausencias al trabajo y a clases, y cajas de inhaladores de rescate en las escuelas) son recordatorios frecuentes de que sus riesgos son reales y personales. Aún más, estos riesgos son mayores para las poblaciones más vulnerables: niños, personas mayores e individuos con condiciones respiratorias.

Debido a que la contaminación del aire es difícil de observar, a menudo es difícil para los líderes locales identificar fuentes y tendencias para desarrollar soluciones efectivas. La nueva tecnología de sensores está cambiando esa dinámica, permitiéndonos medir y mapear las concentraciones de contaminación cuadra por cuadra e identificar patrones y puntos críticos como nunca antes.

En comparación con la gestión convencional de la contaminación del aire, comúnmente basada en un número limitado de monitores ubicados de manera dispersa y en modelación atmosférica, el monitoreo hiperlocal permite una imagen más holística de la calidad del aire con una alta resolución espacial (con diferentes concentraciones cada 30 metros, por ejemplo) y con una mayor frecuencia (con lecturas cada minuto, en lugar de una vez de por hora o por día). El monitoreo hiperlocal puede llenar un gran vacío de información en aquellos lugares donde no hay datos modelados disponibles. Además, la medición de la contaminación en campo permite una mejor comprensión de la exposición real y de los impactos en la salud ocasionados por la contaminación del aire, lo cual puede dar la pauta para soluciones específicas.

Esta guía brinda consejos sobre cómo diseñar, financiar, implementar,

analizar y aprovechar los datos de una red de monitoreo de la calidad del aire hiperlocal, para que los interesados puedan desarrollar soluciones para mejorar la salud en sus comunidades.

En los últimos años, Environmental Defense Fund (EDF) ha trabajado con científicos, empresas tecnológicas, organizaciones de base y líderes de ciudades en Estados Unidos, el Reino Unido, China, India y México para diseñar y desplegar sistemas de monitoreo de la contaminación del aire hiperlocal que midan y analicen los niveles locales de contaminación del aire. Hemos desarrollado herramientas y adquirido experiencias que pueden resultar útiles para ciudades con una amplia gama de desafíos y capacidades. Al compartir estas herramientas y aprendizajes, esperamos contribuir al desarrollo de capacidades para crear mejoras duraderas en la calidad del aire local.

El mundo necesita soluciones de calidad del aire a gran escala. Nueve de cada diez personas en todo el mundo respiran aire contaminado desde su primer aliento hasta el último. La contaminación del aire a nivel global es ahora el mayor riesgo de mortalidad prematura, causante de alrededor de siete millones de muertes prematuras cada año. Eso es más que el SIDA, la tuberculosis y la malaria juntas. Y estudios recientes han descubierto que la contaminación del aire puede afectar la salud mental, el desarrollo pulmonar, e incluso el desempeño del mercado de valores.

Todos merecemos respirar aire limpio, pero el lugar donde vivimos determina la probabilidad de que la contaminación empeore o acorte nuestra vida. Y aunque la mayoría de los sistemas de monitoreo convencionales pueden darnos una visión general de la calidad del aire de una ciudad, son insuficientes para darnos información



acerca de sobre la contaminación del aire a nivel de vecindario, donde la gente vive, trabaja y juega. Las investigaciones demuestran que la contaminación del aire no está distribuida de manera uniforme y, de hecho, puede ser hasta ocho veces peor en el extremo de una cuadra que en otro.

A través de nuestro trabajo con líderes de ciudades y comunidades, hemos visto cómo este nuevo tipo de datos puede ayudar a diseñar nuevas soluciones, generar apoyo político para la acción, aumentar el cumplimiento de la ley y hacer responsables a quienes contaminan. También hemos aprendido que el compromiso sólido con los líderes comunitarios y los residentes que se ven directamente afectados por el aire sucio es fundamental para la creación de soluciones de aire limpio bien pensadas, sensibles y con un alto impacto. La participación social debe emprenderse como un proceso iterativo y de largo plazo. La participación a través de entrevistas individuales, grupos focales y campañas de ciencia ciudadana ayudará a coproducir conocimientos, aumentar la autoeficacia entre los miembros de la comunidad y, en última instancia, a generar confianza y garantizar mejores resultados.

**El mundo necesita soluciones de calidad del aire a escala.**

En Oakland, California, EDF y socios desarrollaron mapas de contaminación del aire utilizando datos obtenidos a partir de una combinación de monitores fijos y móviles. Al combinar estos resultados con registros médicos electrónicos, pudimos mapear los riesgos de salud asociados con la contaminación por vecindario. Los líderes comunitarios utilizaron esta información para abogar por esfuerzos de mitigación bajo una nueva ley de calidad del aire que busca reducir la contaminación en las comunidades más afectadas de California.

Además de medir la contaminación del aire a través de los autos de Google Street View en los vecindarios alrededor de Houston, Texas, líderes de EDF trabajaron con personal clave de la ciudad para probar cómo los sistemas de sensores en los vehículos municipales podrían alertar a la ciudad sobre las amenazas de contaminación del aire y determinar cuántos vehículos equipados con sensores se necesitarían para mapear la

contaminación del aire en toda la ciudad. También trabajaron con los funcionarios de la ciudad a raíz del huracán Harvey para medir los eventos de emisión que ocurrieron después de los daños a las instalaciones petroquímicas de la región, lo que proporcionó a la comunidad información sobre altas concentraciones de benceno, una conocida sustancia carcinógena.

Con base en nuestro trabajo en Estados Unidos, EDF lanzó el proyecto Breathe London junto con el alcalde de Londres, Google, la red de ciudades C40 y otros socios, combinando análisis de datos sofisticados con tecnología de vanguardia (como monitoreo móvil en autos de Google Street View y más de 100 monitores fijos) para recopilar datos puntuales de contaminación del aire en miles de ubicaciones. Esta es una de las redes de monitoreo de calidad de aire más completas del mundo en una de las ciudades más concurridas y complejas. Estos datos crean una línea base

para ayudar a Londres en el diseño, adaptación y comprensión del impacto de futuras acciones de aire limpio.

En China, científicos y socios de EDF están trabajando con funcionarios del gobierno para utilizar conocimientos hiperlocales para mejorar la eficacia de la inspección y la vigilancia del cumplimiento a través de microrredes para una identificación más precisa de puntos críticos de contaminación.

A través de nuestros esfuerzos, EDF ha aprendido sobre el presupuesto, el personal, el análisis y la logística necesarios para monitorear, mapear y, en última instancia, reducir la contaminación a nivel de vecindario. Esperamos que estas lecciones sean de ayuda en la consideración de distintos enfoques para el monitoreo de la contaminación del aire que informen soluciones de aire limpio y fomenten comunidades más saludables en las ciudades.

## Cómo utilizar esta guía

Esta guía brinda consejos sobre cómo diseñar, financiar, implementar, analizar y aprovechar los datos de una red de monitoreo de la calidad del aire hiperlocal para que pueda desarrollar soluciones para mejorar la salud en su comunidad.



## PARTE 01: PARA EMPEZAR

### 1. Entender los retos y oportunidades de la calidad del aire de su ciudad

Esta sección guía al lector a través de las razones para realizar un monitoreo a nivel hiperlocal y la forma en la que el cambio que espera generar define qué y dónde se deben realizar las mediciones. Esto varía en función de la combinación de contaminantes en la ciudad, las partes interesadas que exigen acción, los socios disponibles y la necesidad de cumplir con estándares de salud específicos, entre otros.

### 2. Explorar las herramientas para medir y mapear la contaminación del aire hiperlocal

En esta sección se examinan los datos, los actores, la tecnología y el financiamiento que impulsan un programa de monitoreo. Presenta los tipos y fuentes de datos que pueden existir previamente y ayuda a hacer un balance de dónde y a quién podría involucrar para formular los argumentos en favor de un esfuerzo de monitoreo.

## PARTE 02: ASPECTOS ESENCIALES

### 1. Diseñar sistemas de monitoreo de aire hiperlocal

Una vez que su equipo haya definido un problema, deberá diseñar un proceso de monitoreo para resolverlo. Esta sección lo guía a través de las decisiones que guiarán su proceso de diseño. Llegará a conocer una gran gama de monitores y sensores existentes y las ventajas y desventajas de utilizar monitores de datos fijos o móviles. Las herramientas que se presentan aquí describen cómo es que las distintas fuentes de contaminación requieren diferentes equipos, ubicaciones y expertos. Esta sección también destacará las necesidades de personal, incluidas las personas para instalar monitores y analizar datos.

### 2. En sus marcas, listos, fuera: Encender y mantener su red

Esta sección se basa en nuestro trabajo en ciudades de todo el mundo para compartir las mejores prácticas para la contratación de personal, el funcionamiento y el mantenimiento de una red de monitoreo del aire. También aprenderá a mantener los monitores, los sensores y a las personas que los administran funcionando de manera óptima durante el período de tiempo deseado del proyecto.

### 3. Dar sentido a los datos

Aquí examinaremos los límites y ambigüedades inherentes al análisis de datos hiperlocales. El lector aprenderá a estimar y dedicar el tiempo necesario para dar sentido a los datos. También compartiremos las mejores prácticas para visualizar y publicar los datos y lo que significan para las comunidades. Aprenderá sobre qué preguntas hacer a los proveedores de software y hardware acerca de la propiedad, el seguimiento y de cómo asegurarse de calidad de los datos. Brindaremos información sobre cómo estar atento a los errores, reconsiderar las tácticas, traducir las estadísticas para los no matemáticos y manejar distintos equipos para trazar el progreso hacia un aire más limpio y vecindarios más saludables.

## PARTE 03: DE LOS DATOS A LA ACCIÓN

### 1. Usar datos de contaminación del aire para desarrollar e implementar soluciones de aire limpio

Los monitores y sensores sirven para identificar el problema; las ciudades desarrollan e implementan soluciones. En esta sección, proporcionaremos marcos para unir a miembros de la comunidad y expertos a la hora de planificar acciones que reduzcan la contaminación del aire donde esta haya sido encontrada. También compartiremos cómo aplicar los datos al diseño de un plan de reducción de contaminación que se adapte a su ciudad, asignar organismos para llevar a cabo el trabajo y poner en marcha un conjunto de acciones por un aire limpio.

### 2. Crear conciencia y fomentar la participación y el apoyo de la comunidad

Esta sección discutirá las mejores prácticas para crear conciencia acerca de las soluciones de aire limpio. Analizaremos el diálogo constructivo entre su personal, ONG orientadas a una misión y líderes comunitarios que abogan por un alivio inmediato. Presentaremos casos de estudio de nuestro trabajo en Oakland y Houston que subrayan la importancia de la participación comunitaria.

### 3. Medir el éxito y mantener el impulso

Esta sección describe las lecciones que aprendimos acerca de cómo mantener a las partes interesadas al tanto del trabajo en curso, la búsqueda y mantenimiento de fondos y la recepción de retroalimentación. Estas herramientas también pueden establecer un marco a través del cual su equipo pueda medir el éxito y que le indique cómo puede aprovecharlo para construir acuerdos dirigidos a una mayor investigación, promoción y ciencia.

Si su ciudad está comenzando a comprometerse con el aire limpio como una prioridad, el material al principio de esta guía acerca del impacto de la contaminación del aire y acerca de la dificultad de rastrearla podría resultarle de utilidad. Si ya ha comenzado, los recursos que incorporamos en cada sección pueden ayudarlo a avanzar en su trabajo. También puede descargar este recurso para uso futuro y tenga en cuenta que actualizaremos la guía a medida que nosotros y nuestros socios recopilemos más lecciones aprendidas a lo largo del camino.



# PARTE 01: PARA EMPEZAR



## Entender los retos y oportunidades de la calidad del aire de su ciudad

Su comunidad vive con un problema invisible que tiene un gran impacto tanto en las personas como en la economía en su conjunto. Es probable que los padres se quejen sobre el asma, las faltas a la escuela, calificaciones bajas o los “[Días de Acción del Ozono](#)”. Los parques podrían quedarse vacíos porque los ataques de asma hacen que los juegos sean demasiado riesgosos. El tráfico podría dificultar los desplazamientos al trabajo o la asistencia a eventos en el centro haciendo que su ciudad sea menos atractiva para los trabajadores y sus empleadores, impactando el desarrollo económico. Usted está consciente de que los niños, las comunidades de bajos ingresos y grupos marginados son quienes más sufren por la contaminación, lo que genera preocupaciones sobre la equidad en su ciudad. Identificar y cuantificar exactamente cuándo la calidad del aire se encuentra en su peor momento ha sido típicamente desafiante para la ciencia y prohibitivamente costoso.

La nueva tecnología de sensores de menor costo permite a los científicos, defensores comunitarios y funcionarios del gobierno comprender mejor los patrones de contaminación dentro de los vecindarios e incluso en cada cuadra de la ciudad. Algunas organizaciones comunitarias están cada vez más empoderadas para comprender mejor el aire que las rodea por medio de la adquisición y colocación de monitores por sus propios medios y la contaminación del aire en ciertos lugares, incluso en ciudades que cumplen con los estándares de protección a la salud, puede ser una carga o incluso acortar la vida de sus residentes.

Los monitores y sensores en postes de luz, edificios o automóviles pueden medir contaminantes específicos que podrían estar causando el mayor daño. Las redes de monitores de menor costo pueden cubrir áreas geográficas mayores, proporcionando más información que los monitores tradicionales de calidad del aire, lo que incluye los patrones y relaciones entre fuentes y concentraciones en toda la ciudad. Estas redes de monitoreo del aire hiperlocales pueden ayudar a determinar las fuentes de contaminantes y a identificar soluciones para mitigarlos. El uso de información y datos sobre la contaminación del aire hiperlocal también puede permitirle trabajar de manera más eficaz con los residentes y las partes interesadas para reducir la contaminación del aire en las comunidades con impactos desproporcionados.



## ¿QUÉ ES LO QUE ENTENDEMOS POR “CONTAMINACIÓN DEL AIRE”?

Si bien la contaminación del aire no es tan perceptible en algunas partes del mundo desarrollado como hace décadas, sigue siendo mortal. Gases y partículas diminutas pueden acumularse en los pulmones y extenderse a otros órganos, donde pueden causar daños duraderos.<sup>1</sup> Las partículas son gránulos de polvo o fibras clasificadas por tamaño de diámetro menor de 0.1µm, 2.5 µm, o 10µm, o material particulado ultrafino (PM), PM<sub>2.5</sub>, o PM<sub>10</sub>, respectivamente. El carbono negro (CN) es un tipo de material particulado que tiene tanto un efecto invernadero como riesgos para la salud. Los gases incluyen contaminantes comunes: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). También incluyen compuestos orgánicos volátiles (COV), productos químicos con alta presión de vapor que pueden reaccionar con el dióxido de nitrógeno y la luz solar para crear ozono.<sup>2</sup>

## ¿QUÉ TAN PELIGROSA ES?

Según la Organización Mundial de la Salud, la exposición a la contaminación del aire ocasiona alrededor de siete millones de muertes prematuras cada año en todo el mundo. Además, la exposición a la a ella puede contribuir al asma, enfermedades cardíacas, enfermedades respiratorias y cáncer, así como afectar el desarrollo del niño desde el embarazo. El público está expuesto continuamente a la contaminación del aire y, a menudo, cambiar la trayectoria o el avance de la exposición está fuera del control de los individuos. Aunque la contaminación del aire varía de un país a otro, de una región a otra y de un vecindario a otro, la exposición afecta a todos. Investigaciones recientes muestran que las personas mayores que viven en áreas con niveles de contaminación del aire elevados tienen un riesgo de ataque cardíaco de más de un 40 por ciento superior que aquellas que viven en lugares menos contaminados. Esto es similar a tener antecedentes de tabaquismo.

## ¿DE DÓNDE VIENE LA CONTAMINACIÓN?

En el entorno extramuros, lo que llamamos contaminación “ambiental” puede provenir del transporte que utiliza combustibles fósiles; la combustión *in situ* proveniente de generadores, sistemas de calefacción, cocinas de restaurantes, fuentes industriales, quema de desechos y rastros, polvo de construcción y residuos peligrosos.<sup>3</sup> La combustión o quema también puede arrojar al aire partículas provenientes de incendios forestales y de plantas de energía eléctrica. Estas fuentes representan diversas secciones transversales de la economía. Los contaminantes pueden ser de naturaleza primaria o secundaria. Un contaminante primario se emite directamente de una fuente, mientras que un contaminante secundario se forma cuando otros contaminantes (contaminantes primarios) reaccionan en la atmósfera.

### Contaminante Características

Óxido nítrico (NO)	Primario. Asociado con la combustión de combustibles.
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Primario y secundario. Asociado a la combustión de combustible. Precursor del ozono con mayor variabilidad espacial.
Material particulado 2.5 (PM <sub>2.5</sub> )	Primario y secundario. Es responsable de la mayoría de los impactos en la salud por contaminación del aire según las investigaciones más recientes.
Carbón negro (BC)	Primario. Marcador de emisiones de motores diésel, quema de biomasa. Está directamente relacionado con la fuente y es un contaminante climático.
Ozono (O <sub>3</sub> )	Secundario. Menos variable espacialmente que muchos contaminantes primarios. Variación en el tiempo debido a las condiciones atmosféricas.
Partículas ultrafinas (PUF)	Primario y secundario. Pueden ser mucho más tóxicas que las PM <sub>2.5</sub> ya que penetran en el interior del cuerpo.
Compuestos orgánicos volátiles totales (COVs)	Primario y secundario.
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Primario y secundario. Es un gas de efecto invernadero clave causante del cambio climático.

### Efectos en la salud

<b>Crónicos:</b> disminución del desarrollo pulmonar, resultados adversos en el parto, enfermedades cardíacas, asma, muerte prematura. <b>Agudos:</b> visitas a urgencias y hospitalizaciones debido a enfermedades cardíacas y pulmonares.
<b>Crónicos:</b> disminución del desarrollo pulmonar, resultados adversos en el parto, enfermedades cardíacas, asma, muerte prematura. <b>Agudos:</b> visitas a urgencias y hospitalizaciones debido a enfermedades cardíacas y pulmonares.
<b>Crónicos:</b> cáncer, enfermedad cardíaca, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, accidente cerebrovascular. Disminución de la esperanza de vida. Evidencia creciente de impactos en el desarrollo y la función del cerebro, demencia y diabetes. <b>Agudos:</b> visitas a urgencias y hospitalizaciones por enfermedades cardíacas y pulmonares
<b>Crónico:</b> cáncer, enfermedad cardíaca y pulmonar, muerte prematura. <b>Agudos:</b> empeoramiento del asma, infartos.
<b>Crónicos:</b> enfermedades pulmonares como asma, enfisema, muerte prematura. Nueva evidencia sugiere impactos en el cerebro. <b>Agudos:</b> hospitalizaciones y visitas a la sala de emergencias por asma, otras enfermedades pulmonares y accidentes cerebrovasculares.
Menos estudiado ya que es muy variable y el seguimiento regulatorio para esto es limitado. <b>Crónicos:</b> alguna evidencia de enfermedad cardíaca. <b>Agudos:</b> inflamación pulmonar y cambios en los marcadores para enfermedades del corazón.
<b>Crónicos:</b> cáncer, afecta la función y el desarrollo del cerebro. <b>Agudos:</b> irritación pulmonar, dolores de cabeza, náuseas.
<b>Crónicos:</b> disminución de la seguridad alimentaria, malaria, diarrea, otras enfermedades infecciosas, aumento de los efectos sobre la salud del ozono. <b>Agudos:</b> Muertes, enfermedades cardíacas y pulmonares debido a olas de calor y huracanes. Aumento de alergias y asma.

## ¿Por qué es importante y útil comprender la contaminación del aire hiperlocal?

Utilizamos el término contaminación del aire “hiperlocal” en esta guía para referirnos a información o datos de contaminación del aire con una alta resolución espacial (con diferentes concentraciones cada 30-60 metros, por ejemplo) y temporal (diferentes concentraciones cada minuto o en pocos minutos, en lugar de cada hora o día). Hay diferentes contaminantes presentes en el aire y viajan de diferentes maneras, lo que hace que un monitor en un lugar a menudo no pueda detectar un peligro incluso a 100 pasos de distancia. Las investigaciones demuestran que la contaminación del aire no se distribuye de manera uniforme y, de hecho, puede ser hasta ocho veces peor de un extremo de una cuadra a otro.

A medida que profundice en el aprendizaje, vislumbrará formas efectivas y costeables de medir la contaminación en su ciudad, incluso a una escala de cuadra por cuadra. Algunos contaminantes en áreas residenciales exacerban dolencias crónicas como el asma o la dificultad para respirar en los más vulnerables, haciendo que personas sanas se enfermen. Datos sólidos sobre la ubicación de la contaminación particularmente aguda pueden ayudar a las ciudades a desarrollar medidas para reducir la exposición a contaminantes nocivos de manera más confiable.

Los estudiantes que presentaron exámenes importantes en días con mayor contaminación del aire obtuvieron puntuaciones más bajas.



Diversos estudios también demuestran que el aire sucio daña la economía local, además de la salud humana:

- Un estudio mostró que la contaminación del aire en el centro de Londres causa el equivalente a más de 650,000 días de enfermedad cada año.
- Los estudiantes que presentaron exámenes importantes en días con mayor contaminación del aire obtuvieron calificaciones significativamente más bajas.
- Los niveles de contaminación del aire impactaron el mercado de valores. Un estudio de datos diarios del índice S&P 500 y datos diarios de calidad del aire de un sensor de la EPA cerca de Wall Street encontró que en los días con mayor contaminación del aire, los rendimientos de las acciones eran más bajos en casi 12 por ciento. Este análisis se replicó utilizando datos de la Bolsa de Valores de Nueva York y Nasdaq.
- Un estudio de la Oficina Nacional de Investigación Económica sobre la productividad de los trabajadores en una fábrica de empaque de peras mostró que un aumento de material particulado (PM2.5), un contaminante dañino que puede ingresar fácilmente al interior de los edificios, disminuyó en un seis por ciento la velocidad de empaque dentro de la fábrica.
- Las empresas internacionales en ciudades con una gran contaminación del aire han tenido que ofrecer pagos por riesgo para atraer a los mejores ejecutivos. Por ejemplo, Panasonic ofreció a sus empleados chinos una “prima por contaminación” y Coca-Cola ofreció una bonificación del 15 por ciento para los empleados que deseen mudarse a China. Pero incluso después de mudarse, muchos ejecutivos aún optan por irse, expresando que les preocupan los problemas de salud que la contaminación del aire les provoca tanto a ellos como a sus hijos.

## NO SE PUEDE MANEJAR LO QUE NO SE PUEDE MEDIR

Cuando comience a monitorear la calidad del aire es posible que descubra la forma en la que los descuidos o los desastres naturales afectan la salud de maneras que no podría haber predicho. Por ejemplo, este caso de estudio muestra cómo los expertos de EDF forjaron una asociación con Houston para revelar altos niveles de benceno, un contaminante altamente tóxico, provenientes de una instalación industrial dañada poco después del huracán Harvey. Estos esfuerzos de monitoreo fueron fundamentales para llamar la atención hacia un problema que estaba poniendo en riesgo la salud de los residentes de Houston en medio de un desastre, proporcionando evidencia crítica que validó las preocupaciones de los residentes y destacó la necesidad de que se llevara a cabo una investigación. Los datos ofrecieron el respaldo para atender las quejas sobre una instalación que había reportado menos emisiones de las que realmente emitía.

Es posible que residentes y funcionarios locales sospechen que la contaminación afecta áreas específicas, pero no tienen la evidencia para respaldar sus hipótesis. Por ejemplo:

- ¿Esta planta de cemento está contribuyendo a la mala calidad del aire en las cercanías?
- ¿Contribuye el tráfico de camiones a aumentar el asma, los ataques cardíacos o las visitas a urgencias por parte de la comunidad?
- ¿Proviene las altas concentraciones de benceno de una refinería después de una inundación u otro desastre natural?
- ¿Las rutas de camiones cerca de una escuela primaria local hacen que los niños pierdan días de clases y eviten pasar tiempo en el patio durante el recreo?



A largo lo del tiempo, podría ser posible motivar a algunos socios y patrocinadores destacando los vínculos que existen entre la contaminación del aire y el cambio climático. Muchas estrategias para reducir emisiones pueden disminuir la contaminación climática. Varios contaminantes del aire como el carbono negro son sustancias de efecto invernadero en sí mismos y otros son precursores químicos de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, los óxidos de nitrógeno y los COV emitidos por las centrales eléctricas y otras fuentes industriales reaccionan con la luz del sol para formar ozono, uno de los principales contribuyentes al forzamiento radiativo. El aumento de las temperaturas también incita a los ocupantes de los edificios a encender el aire acondicionado, lo que puede aumentar inadvertidamente los niveles de material particulado.

A medida que avance en esta guía, llegará a comprender el alcance de esta oportunidad, así como la complejidad de las decisiones interconectadas que usted y su equipo tendrán que tomar. Definir su objetivo es el primer y más poderoso paso para comenzar.

Las políticas y acciones que pueden surgir de la información hiperlocal incluyen:

- Investigación y aplicación de la ley en fábricas u otras fuentes estacionarias de contaminación: priorice los recursos de aplicación de la ley para monitorear puntos críticos e identificar mejor las fuentes más contaminantes y los grupos más vulnerables en estas áreas.
- Intervenciones de emergencias de salud pública: mejorar las alertas de respuesta a emergencias como evacuaciones y órdenes de refugiarse; optimizar el despliegue de los recursos de respuesta a emergencias para responder mejor a las diferentes demandas en distintas áreas o momentos (por ejemplo, en respuesta al humo de un incendio forestal o un día de acción del ozono); aportar a las campañas de información pública.
- Planificación del transporte (a largo plazo): informar el diseño de los proyectos de transporte (como la infraestructura de transporte público o la inversión en flotas de vehículos eléctricos) para mejorar la calidad del aire donde más se necesite.
- Manejo del tráfico (a corto plazo): informar el diseño de las medidas de manejo del tráfico para priorizar las mejoras de la calidad del aire en áreas críticas a través de restricciones de circulación y desvíos de tráfico, por ejemplo.
- Zonificación, permisos, códigos de construcción y uso de suelo: informar el uso de suelo y la zonificación para mitigar la exposición de poblaciones sensibles a áreas de alta contaminación.
- Inversiones e incentivos para proyectos de reducción de emisiones: utilice datos hiperlocales de contaminación del aire para priorizar inversiones (como autobuses eléctricos o remodelaciones de edificios) en áreas altamente contaminadas.

## A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN ALGUNAS PREGUNTAS FRECUENTES SOBRE LAS RAZONES PARA REALIZAR CAMPAÑAS DE CALIDAD DEL AIRE:

### ¿Por qué realizar un monitoreo hiperlocal cuando hay poca aplicación de la ley o control de la calidad del aire?

Si su objetivo implica crear conciencia sobre la contaminación, querrá determinar dónde existen “hotspots”, o puntos críticos de contaminación. Es posible que desee aprender a identificar la presencia y el impacto localizado de un contaminante problemático; generar impulso para abogar por políticas o acciones locales, regionales o nacionales; o generar apoyo para inversiones públicas de aire limpio.

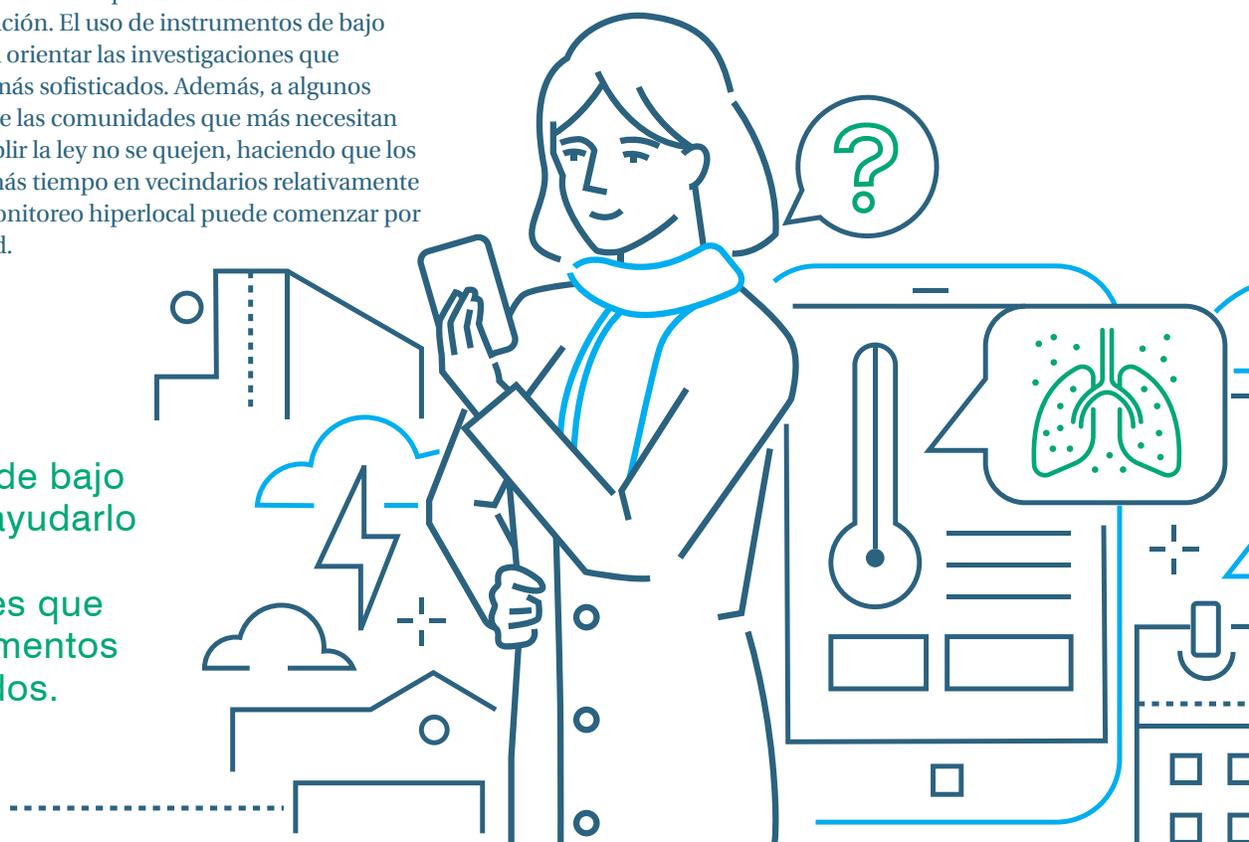
### ¿Por qué realizar un monitoreo hiperlocal cuando ya ha generado capacidades para aplicar la ley?

Si desea aplicar una ley o designar una autoridad local específica para lograr un cambio en la práctica en una ubicación en particular, como por ejemplo, en una ubicación industrial o una intersección de tráfico, puede usar monitores para producir datos hiperlocales que muestren dónde prevalece la contaminación. El uso de instrumentos de bajo costo puede ayudarlo a orientar las investigaciones que utilicen instrumentos más sofisticados. Además, a algunos líderes les preocupa que las comunidades que más necesitan apoyo para hacer cumplir la ley no se quejen, haciendo que los investigadores pasen más tiempo en vecindarios relativamente menos afectados. El monitoreo hiperlocal puede comenzar por abordar esta disparidad.

El uso de instrumentos de bajo costo puede ayudarlo a orientar las investigaciones que utilicen instrumentos más sofisticados.

### ¿Por qué realizar un mapeo hiperlocal cuando está tomando una decisión de infraestructura o políticas a largo plazo?

Si desea decidir si permitir el uso de suelo en una ubicación en particular, revisar un código de construcción o diseñar infraestructura de transporte, puede usar monitores para comprender dónde es significativa la carga de problemas de salud por contaminación del aire. Con esta información, puede proteger mejor a las poblaciones vulnerables y construir para el futuro. Y si desea medir cómo ha funcionado un cambio de política existente, utilice datos hiperlocales para trazar medidas que ilustren el “antes” y el “después” de un área. En Londres, nuestra asociación midió los niveles de contaminación antes y después de la introducción de una nueva Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ por sus siglas en inglés). Discutiremos las lecciones aprendidas sobre Londres a lo largo de esta guía.



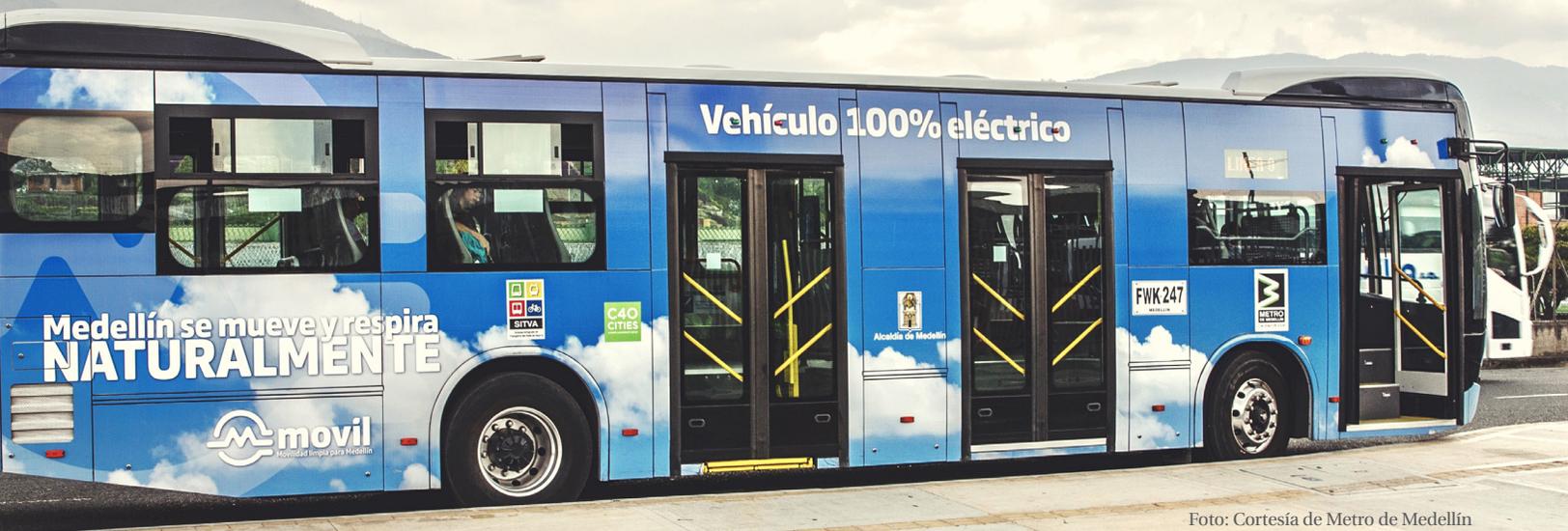


Foto: Cortesía de Metro de Medellín

## ¿Por qué realizar un mapeo hiperlocal cuando realiza una inversión?

Si está decidiendo dónde realizar inversiones que protejan la salud, como incentivos para retirar motores diésel, nuevas rutas de autobuses para vehículos eléctricos o fondos de modernización de edificios, puede usar el monitoreo hiperlocal para destinar fondos a vecindarios donde las intervenciones por medio de políticas serán más efectivas.

**A medida que desarrolle sus objetivos de monitoreo, es posible que también desee comprender lo que su ciudad ya está tomando en cuenta o haciendo para abordar la contaminación del aire.**

Una lista general de las áreas de acción que puede investigar en su ciudad incluye pero no se limita a:

- Cargos por congestión
- Zonas de bajas emisiones
- Normativas sobre camiones de carga
- Infraestructura ciclista y zonas peatonales
- Transporte masivo de pasajeros
- Programas de incentivos para vehículos eléctricos (por ejemplo, automóviles de pasajeros, autobuses urbanos y escolares, taxis, etc.)
- Normas estrictas sobre emisiones vehiculares
- Alumbrado público regido por la demanda
- Amortiguadores de vegetación al borde de carretera
- Cumplimiento y observancia anti-ralentí
- Manejo inteligente del tráfico
- Desulfuración y desnitrificación de centrales eléctricas
- Controles de emisiones fugitivas
- Iniciativas de construcción limpia
- Evaluación obligatoria de riesgos para la salud para proyectos de expansión
- Programas de eficiencia energética
- Descuentos por energías renovables



## Explorar la herramientas para medir y mapear la contaminación del aire hiperlocal

Puede adquirir monitores o sensores de proveedores comerciales pero los equipos varían ampliamente en cuanto a los contaminantes que miden, la complejidad y la calidad de los datos que producen, sus requisitos operativos y de mantenimiento y, por supuesto, su costo. Por lo tanto, es importante que detalle sus prioridades cuidadosamente antes de hablar con un posible proveedor. Las capacidades del sistema de sensores y la facilidad de operación pueden variar ampliamente, desde equipos que involucran mantenimiento relativamente sencillo, hasta sistemas de múltiples contaminantes más complejos que probablemente requerirán que solicite el apoyo de un especialista.

Para decidir qué sistema de monitoreo hiperlocal implementar, comience con una evaluación de lo que ya se está haciendo en su ciudad. Podría ser posible que las leyes requieran que su región mantenga una red de monitoreo del aire.

En los Estados Unidos, La Ley de Aire Limpio de 1970 requiere un monitoreo de rutina de seis contaminantes de criterio: PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, monóxido de

carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y plomo (Pb). Cada estado debe tener un plan para cumplir con los estándares de salud conocidos como Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS por sus siglas en inglés) para estos contaminantes. La mayoría de los condados de Estados Unidos cuentan únicamente con, si es que los hay, un monitor de la calidad del aire. Y aunque las ciudades tengan más, la mayoría de las áreas dependen de una combinación de estos monitores escasamente ubicados y modelos sofisticados para determinar si el aire es saludable. Si bien esto brinda un vistazo de la calidad del aire, los líderes podrían necesitar datos que reflejen las concentraciones de contaminantes a nivel de comunidad o vecindario y estos monitores no pueden proporcionar estos datos.

Incluso entonces, es posible que no necesite construir una red de monitoreo desde cero. Podría ser que las organizaciones académicas, de investigación o sin fines de lucro locales ya hayan comenzado a monitorear la contaminación del aire. Puede escanear los datos de salud disponibles, como los inventarios públicos de las emisiones y las condiciones de salud nacionales, regionales y locales para calibrar sus metas. La recopilación de datos bien fundamentados no solo lo ayudará a orientar sus objetivos y lo ayudará a diseñar una red mejor pensada, sino que también lo ayudará a fundamentar su proyecto de una manera que resultará útil en el futuro si busca apoyo para futuras recomendaciones referentes a políticas.

Identificar su línea base de emisiones, ya sea por contaminación del aire, emisiones de GEI o ambas, será indispensable, ya que su objetivo es mostrar el impacto y establecer responsabilidades al finalizar el camino que va de los datos a la acción. Las Naciones Unidas y el Banco Mundial han creado un estándar para

reportar la contaminación del aire y de GEI. El protocolo detallado [se encuentra disponible en línea](#) así como [cursos de capacitación en línea](#) que brindan apoyo para desarrollar un inventario. Los informes de emisiones proporcionarán un método para que su ciudad establezca objetivos de mejora y mida las tendencias anuales. Nueva York es un gran ejemplo de una ciudad que ha tomado la iniciativa de hacer precisamente eso: [el Estudio del Aire de la Comunidad de la Ciudad de Nueva York](#) es uno de los programas de monitoreo del aire urbano en curso más grandes de los Estados Unidos. Este estudio monitorea las tendencias anuales de los niveles de contaminantes del aire, identifica sus fuentes, mapea los puntos críticos en los vecindarios y rastrea la promulgación de regulaciones y políticas públicas. Trate de identificar de antemano no solamente cómo es que realizará un seguimiento de la nueva política o acción, sino también cómo cuantificará las emisiones mitigadas.

Incluso antes de elegir los sistemas de sensores o sus ubicaciones exactas, piense en las formas de invitar a los miembros del público, incluidos los defensores de la comunidad que comprendan los problemas locales, a ser copropietarios del proyecto. Esto puede ayudarlo a ganarse la confianza y la paciencia de los residentes mientras delibera sobre dónde colocar los monitores y se toma el tiempo necesario para instalarlos y tomar decisiones basadas en lo que muestran. Este [caso de estudio](#) destaca un ejemplo de colaboración entre EDF y una organización comunitaria en Oakland, CA que utilizó datos hiperlocales para informar las acciones dirigidas a procurar un aire limpio. Además, las políticas y los procesos para la instalación de monitores varían entre ciudades y países. Nuestros socios globales en la red de ciudades C40 ofrecen [orientación](#) para configurar un sistema de monitoreo que pueda ganar legitimidad y escalar.





## El apoyo local puede ser de gran ayuda para formular los argumentos para financiar el diseño de su red de monitoreo:

- Un alcalde, un ayuntamiento o incluso una junta municipal pueden comparar el precio de una red propuesta con el gasto actual en la aplicación de la ley referente a la contaminación del aire que puede incluir una camioneta que sale a tomar mediciones o un conjunto de monitores fijos para cumplir con los mandatos nacionales. El monitoreo hiperlocal puede aumentar la eficacia de la vigilancia tradicional.
- También puede explorar los costos que el aumento del monitoreo y la mitigación de la contaminación del aire puede ayudar a reducir. Por ejemplo, aminorar el tráfico puede disminuir los costos de salud pública o mejorar la productividad. Combatir el asma antes de que ocurran los ataques puede reducir las inasistencias a la escuela y al trabajo.
- Comprender los costos y beneficios a largo plazo puede ayudar a su equipo a formular los argumentos para la elaboración del presupuesto para el monitoreo y la mitigación de la contaminación del aire.

Muchos líderes locales están desarrollando nuevos enfoques creativos. Por ejemplo, el Bay Area Air Quality Management (Distrito de Manejo de la Calidad del Aire del Área de la Bahía en español y BAAQMD por sus siglas en inglés), que regula la contaminación del aire en nueve condados alrededor de San Francisco, autorizó recientemente (ver diapositivas #7-15) avanzar en un contrato de \$6 millones de dólares con Aclima Inc. para mapear la contaminación del aire en el área durante los próximos dos años. Aclima Inc. propuso

desplegar su sistema móvil de sensores de contaminación del aire por medio de vehículos a lo largo del Área de la Bahía y poner esos datos a disposición del público a través de un portal en línea que puede ayudar a las comunidades a comprender mejor los patrones locales de contaminación. BAAQMD planea usar estos datos para ayudar a identificar áreas donde se necesitan más investigaciones, lo que podría conducir a una mejor observancia de las regulaciones en materia de contaminación.

# PARTE 02: ASPECTOS ESENCIALES



## Diseñar una red de monitoreo del aire hiperlocal

Esta sección explica cómo diseñar sistemas de monitoreo hiperlocal. Mientras trabaja en este recurso, tome en cuenta su punto de partida. Si no existe un monitoreo de la calidad del aire, podría tener sentido que comience con algunos monitores con una alta calidad y grado de referencia, especialmente si su objetivo es avanzar en acciones regulatorias. Las redes de sensores fijos y el mapeo móvil de bajo costo podrían

complementar el equipo de referencia o servir como una alternativa a los sistemas de monitoreo de referencia para ciudades con una capacidad más limitada. No importa desde dónde empiece, la estrategia de monitoreo debe tener como objetivo recopilar el tipo de datos que le permitan lograr acciones que motiven el monitoreo.

Además de utilizar la guía y los ejemplos de este recurso, debe consultar a socios expertos que puedan ayudarlo a diseñar e implementar sistemas y procesos de monitoreo que cumplan con sus objetivos. Estos expertos incluyen:



### Científicos de la contaminación del aire:

Ellos pueden brindarle asesoramiento experto sobre sistemas y métodos de monitoreo que cumplirán con sus objetivos de recopilación de datos. Estos expertos suelen ser científicos en el campo de la ingeniería ambiental, las ciencias atmosféricas (química y/o física) o las ciencias de la salud ambiental. Si bien a menudo trabajan en instituciones académicas, muchos también trabajan en agencias públicas responsables del manejo de la calidad del aire o para empresas privadas.



### Residentes locales y grupos comunitarios:

Ellos le pueden brindar información importante sobre las posibles fuentes de contaminación y áreas de interés y se les debe consultar durante la fase de diseño y planificación del monitoreo.



### Científicos de la salud:

Ellos pueden proporcionarle experiencia en la evaluación del riesgo asociado con la exposición a contaminantes y el contexto necesario para explicar completamente el impacto en la salud pública.



### Proveedores de sistemas de monitoreo del aire y/o consultores o contratistas especializados:

Además de vender o arrendar sistemas de monitoreo del aire, algunas empresas también brindan servicios auxiliares como el de diseño de sistemas y acceso a sus expertos internos en contaminación del aire. Los consultores especializados pueden ayudarlo a evaluar las tecnologías de monitoreo, diseñar y/o evaluar sus sistemas de monitoreo, así como crear un sistema de manejo de datos apropiado.

Un equipo que incluya este tipo de expertos puede garantizar que el plan del proyecto comience con una estrategia de monitoreo que se adapte a los objetivos de salud y clima que motivan el proyecto y proporcione datos adecuados para el propósito. También se asegurarán de que el plan incluya una estrategia de validación de datos continua que comience con garantizar que los instrumentos estén correctamente calibrados durante el período de estudio.

## A. DEFINIR LOS OBJETIVOS DE MONITOREO

Antes de comenzar a diseñar su sistema de monitoreo del aire hiperlocal, primero debe definir sus objetivos de monitoreo. Estos objetivos determinarán qué contaminantes medir y el tipo de datos de monitoreo que necesita para informar el enfoque general y el diseño de su sistema de monitoreo. Los objetivos de monitoreo más comunes incluyen:

- 1. Identificar y caracterizar un problema de contaminación del aire.** Esto puede incluir comprender la variación en las concentraciones de contaminación en su ciudad, identificar puntos críticos, diferenciar fuentes y evaluar los impactos adversos para la salud
- 2. Crear conciencia y un sentido de urgencia en torno a la aplicación de la ley, un programa de salud pública o una campaña de defensa.** Es posible que desee documentar y hacer visible el problema de la contaminación en su ciudad para hacer visible lo invisible; generar impulso para abogar por políticas o acciones locales, regionales o nacionales; o encontrar apoyo para inversiones públicas que impulsen acciones por un aire limpio.
- 3. Uso de datos a nivel de cuadra para ajustar acciones y políticas.** Esto puede aplicarse a: a) investigación y observancia; b) intervenciones de emergencia de salud pública; c) planificación del transporte y manejo del tráfico; d) zonificación, permisos, códigos de construcción y uso de suelo; y e) inversiones e incentivos específicos para proyectos de reducción de emisiones.
- 4. Evaluar el impacto de una política midiendo los niveles de contaminación antes y después de una intervención.** Los datos hiperlocales de contaminación del aire se pueden utilizar para iterar y mejorar las acciones políticas y hacer que los datos sean públicos aumenta la transparencia y el sentido de responsabilidad.

Además de estos objetivos principales, es posible que también pueda usar los resultados del monitoreo para mejorar los inventarios de emisiones y los modelos y pronósticos de contaminación del aire, lo que sustenta aún más la toma de decisiones.

Tenga en cuenta que los contaminantes del aire tienen diferentes propiedades físicas, así como diferentes impactos en la salud y esto será parte de lo que defina la mejor manera de medirlos y mapearlos.

### ¿QUÉ CONTAMINANTES MEDIR?

La definición de los contaminantes de interés es un paso clave en el diseño de monitoreo. Los contaminantes que elija dependerán de la(s) fuente(s) de preocupación en su ciudad o de cuáles serán las más relevantes para su objetivo de monitoreo. Tenga en cuenta que los contaminantes del aire tienen diferentes propiedades físicas, así como distintos impactos en la salud y esto será parte de lo que defina la mejor manera de medirlos y mapearlos. Por ejemplo, el carbono negro es un buen marcador para la combustión de diesel y está directamente relacionado con su fuente, lo que lo convierte en un buen contaminante para evaluar si está interesado en medir el impacto de la combustión de diesel en la calidad del aire con una buena resolución espacial. El carbono negro también tiene importantes impactos crónicos y agudos en la salud y es un contaminante climático.

Los contaminantes que desee medir se definirán principalmente por las fuentes de emisión que le preocupen. La siguiente tabla proporciona un resumen de los contaminantes que se ajustan mejor a los diferentes objetivos de monitoreo. Estos contaminantes han sido el foco de los esfuerzos de monitoreo de EDF y sus socios ya que son relativamente adecuados para el monitoreo hiperlocal ya que la mayoría son contaminantes primarios<sup>4</sup> que están estrechamente relacionados con su fuente. (Nota: esta no es una lista exhaustiva de contaminantes de interés para estos objetivos de monitoreo).





## Contaminantes que se ajustan mejor a cada objetivo de monitoreo

OBJETIVOS DE MONITOREO	NO	NO <sub>2</sub>	BC	PM <sub>2.5</sub>	PUF	O <sub>3</sub>	COV
1) Identificar el problema de contaminación del aire y evaluar la gravedad	●	●	●	●	●	●	●
2) Crear conciencia y sensación de urgencia		●	●	●	●	●	●
3a) Investigar y observar el cumplimiento de la ley*		●		●		●	●
3b) Implementar intervenciones de salud pública de emergencia		●		●		●	●
3c) Informar la planificación de transporte y el manejo del tráfico	●	●	●	●	●	●	
3d) Informar la zonificación del uso de suelo, el otorgamiento de permisos y los reglamentos de construcción	●	●	●	●	●		●
3e) Dirigir o priorizar inversiones e incentivos**		●	●	●	●		●
4) Evaluar la calidad del aire antes y después de una intervención realizada a través de una política***	●	●	●	●	●	●	●

### Notas:

\* Los contaminantes de interés para la investigación y el cumplimiento tienden a ser aquellos que están regulados.

\*\* Múltiples contaminantes probablemente de interés para comprender mejor la carga acumulada.

\*\*\* Los contaminantes de interés dependen en gran medida del tipo de intervenciones políticas que se estén evaluando.

Una vez que haya establecido sus objetivos de monitoreo y determinado los contaminantes de interés, podrá definir los objetivos respecto a los datos. Estos objetivos describen lo que usted quiere obtener de los datos. La siguiente tabla ilustra los tipos de objetivos de datos que corresponden a varios objetivos de monitoreo. Sus objetivos de datos determinarán qué contaminante(s) necesitará medir, los tipos de monitores fijos y móviles que usará y dónde realizará el monitoreo. Si bien es posible que los resultados del monitoreo del aire se utilicen para abordar más de un objetivo, priorizar sus objetivos de datos ayudará a garantizar que su diseño de monitoreo aborde el más importante.

## Objetivos de monitoreo y objetivos de datos: Uso posible de la información hiperlocal

OBJETIVOS DE MONITOREO	OBJETIVOS DE DATOS
1) Identificar el problema de contaminación del aire y evaluar la gravedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación en la ciudad o áreas de interés</li> </ul>
2) Crear conciencia y sensación de urgencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar la contaminación y los patrones de impacto en la salud asociados en la ciudad o áreas de interés</li> <li>• Identificar la presencia de contaminantes que superen los parámetros de referencia de salud</li> </ul>
3a) Investigar y observar el cumplimiento de la ley	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar fuentes de emisión desconocidas o sospechosas (puntos críticos)</li> </ul>
3b) Implementar intervenciones de salud pública de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar niveles agudos de contaminantes nocivos en tiempo real con una precisión espacial razonable</li> <li>• Detectar puntos críticos en tiempo real</li> </ul>
3c) Informar la planificación de transporte y el manejo del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar puntos críticos a lo largo de corredores viales o cerca de instalaciones</li> <li>• Caracterizar y cuantificar los niveles de contaminación del aire, los daños ocasionados a la salud y a la economía que estén relacionados con el transporte dentro de la ciudad</li> </ul>
3d) Informar la zonificación del uso de suelo, el otorgamiento de permisos y los códigos de construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar fuentes de emisión desconocidas o sospechosas (puntos críticos)</li> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación en la ciudad o áreas de interés</li> </ul>
3e) Dirigir o priorizar inversiones e incentivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar puntos críticos</li> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación para identificar las áreas más afectadas o comprender la carga relativa de contaminación en diferentes áreas; identificar áreas y estrategias con el mayor retorno de inversiones</li> </ul>
4) Evaluar la calidad del aire antes y después de una intervención realizada a través de una política	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar los cambios en los niveles de concentración a lo largo del tiempo</li> </ul>



Surgirán dos preguntas importantes cuando comience a diseñar su esfuerzo de monitoreo: ¿Qué sistemas de sensores debería usar? y ¿Qué enfoque de monitoreo debería adoptar?

## B. SELECCIONAR EL EQUIPO DE MONITOREO

Los monitores o sensores que elija agregar a su red dependerán de los contaminantes que desee medir, la calidad de los datos que necesite para cumplir con sus objetivos de monitoreo y del presupuesto que pueda destinar a la compra y mantenimiento del equipo (así como el manejo y análisis de los datos).

Cabe señalar que los términos sensores, instrumentos y monitores a menudo se usan indistintamente. Para los propósitos de esta guía, los definimos de la siguiente manera:

### Sensores:

El hardware básico en un sistema que detecta y mide un contaminante, pero necesita componentes adicionales (por ejemplo, energía, procesador) para implementarse.

También hay sensores que detectan y miden parámetros meteorológicos que a menudo

se utilizan junto con sensores de contaminación.

### Sistema de sensores / Paquete de sensores:

Un conjunto integrado de hardware que utiliza uno o más sensores para detectar y/o medir contaminantes, señales de procesamiento y parámetros de salida. Estos pueden o no incluir pantallas visuales, baterías y ethernet o una red de internet inalámbrico.

(Nota: Los términos “instrumento” y “monitor” a

menudo se definen de manera similar. Para los fines de esta guía, los usamos de manera intercambiable con sistema de sensores).

### Monitor de referencia:

Instrumento operado y mantenido generalmente por una agencia y de acuerdo con el método equivalente federal (FEM por sus siglas en inglés), el método de referencia federal (FRM por sus siglas en inglés) y los protocolos de garantía de calidad (QA por sus siglas en inglés).

## Ejemplos de tipos de monitores y aplicaciones correspondientes:



Con un número creciente de sensores y sistemas de sensores de menor costo en el mercado, las agencias reguladoras y los investigadores han estado evaluando su desempeño. Recomendamos los siguientes recursos. Para conocer los rangos de costos, consulte el centro de recursos de AQ-SPEC que se describe a continuación. Este centro recopila las estimaciones de los costos de una amplia gama de sistemas de sensores de partículas y gases.

### Evaluación del rendimiento de monitores y sensores de contaminación del aire

- [U.S. Environmental Protection Agency Evaluation of Emerging Air Pollution Sensor Performance](#)
- [Air Quality Sensor Performance Evaluation Center \(AQ-SPEC\) by California South Coast Air Quality Management District \(SCAQMD\)](#)

Consulte también una guía más detallada sobre los factores a considerar al seleccionar sensores o monitores en [la Parte 2.2 \(A\) Adquisición del sistema](#).

## C. ELEGIR UN ENFOQUE DE DESPLIEGUE DE MONITOREO

- ¿Debería implementar una red de sensores fijos, sistemas de sensores móviles o ambos?
- Para redes fijas: ¿Dónde debería colocar los monitores fijos? ¿Qué densidad debería tener su red de monitores?
- Para estrategias móviles:<sup>5</sup> ¿Qué vehículos debería utilizar para el monitoreo móvil y dónde deberían conducir? ¿Cuántas veces necesita un conductor recorrer un lugar para caracterizar adecuadamente la contaminación?

El objetivo determina el diseño. Por ejemplo, en la primera campaña de monitoreo móvil en Oakland, California, los residentes han sabido desde hace mucho tiempo que la contaminación del aire en sus vecindarios puede diferir significativamente de los niveles mostrados por los pocos monitores regulatorios existentes. Los principales objetivos de este esfuerzo de monitoreo fueron comprender cómo varía la contaminación del aire dentro de la comunidad de West Oakland a nivel de cuadra e identificar los puntos críticos de contaminación. Esto significó que se debieron cubrir todas las calles públicas de la comunidad, incluidas las posibles fuentes de contaminación cercanas, como los recicladores de metales, así como las calles más tranquilas sin fuentes conocidas. La estrategia de muestreo envió a los conductores por todas las calles del área varias veces durante el estudio. Los recorridos repetidos, programados para crear un equilibrio de datos en diferentes momentos del día, días de la semana y meses del año, aseguraron que los datos móviles capturarán con precisión los patrones espaciales de contaminación.

Se puede combinar una red fija densa con el monitoreo móvil para ayudar a establecer una línea base más completa de la calidad del aire antes de una intervención política como por ejemplo la de la Zona de Emisiones Ultrabajas (ULEZ por sus siglas en inglés) en Londres. La combinación del monitoreo fijo y móvil aseguró la cobertura temporal y espacial de las mediciones que se pueden utilizar para evaluar los cambios en las concentraciones de contaminación del aire ambiental. Para evaluar las condiciones del antes y el después de la implementación de la política, el monitoreo comenzó alrededor de seis meses antes de que la ULEZ entrará en vigencia en abril de 2019 y continuó después.

Si su objetivo es identificar patrones para las evaluaciones de salud o evaluar el antes y el después de una política, idealmente debería planear realizar monitoreos durante un año, especialmente si su ciudad experimenta cambios estacionales significativos. Comprender la variación según la hora del día es un factor importante para entender no solo dónde, sino también cuándo es que las personas estarán expuestas a niveles más altos de contaminación.

# Mapeo de la contaminación del aire hiperlocal: Fijo y móvil

Existen ventajas y desventajas entre los monitores fijos que miden los contaminantes las 24 horas del día los 7 días de la semana en un lugar fijo y el monitoreo móvil, por medio del cual los vehículos de monitoreo toman medidas mientras conducen por las calles. Los resultados de los monitores fijos tendrán una resolución temporal mucho más alta, mientras que los resultados del monitoreo móvil generalmente brindarán una cobertura espacial más completa y granular. En la práctica, una estrategia de monitoreo podrá combinar tanto el monitoreo móvil como el fijo para obtener lo mejor de ambos enfoques.

## MAPA DE CARBONO NEGRO (MONITOREO MÓVIL REALIZADO DURANTE UN AÑO)

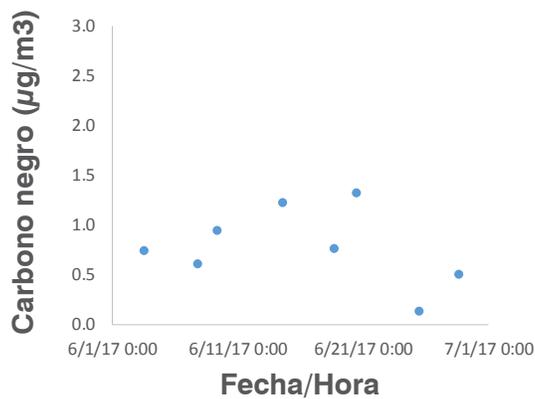
El mapa muestra la mediana de los niveles de carbono negro para el período de estudio cada 30 m en West Oakland.



Espacio

Mayor resolución espacial

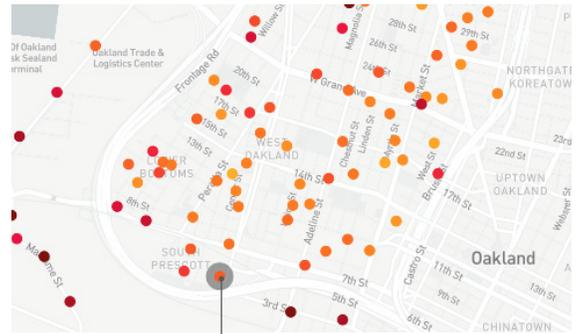
Hora



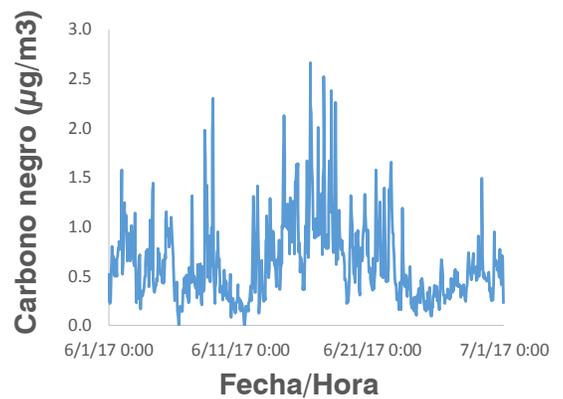
Menor resolución temporal

## (MAPA DE CARBONO NEGRO (PROYECTO '100x100'))

Una red de monitoreo fija de cien detectores de carbono negro en aerosol desplegados durante cien días en West Oakland). Los mapas muestran los niveles de carbono negro en 100 ubicaciones (6.7 sitios de muestreo/km<sup>2</sup>) a las 8 a.m. y a la medianoche de un miércoles. La naturaleza de alta resolución temporal de los datos de monitoreo fijo nos permite ver cómo cambia la contaminación del aire con el tiempo.



Menor resolución espacial



Mayor resolución temporal

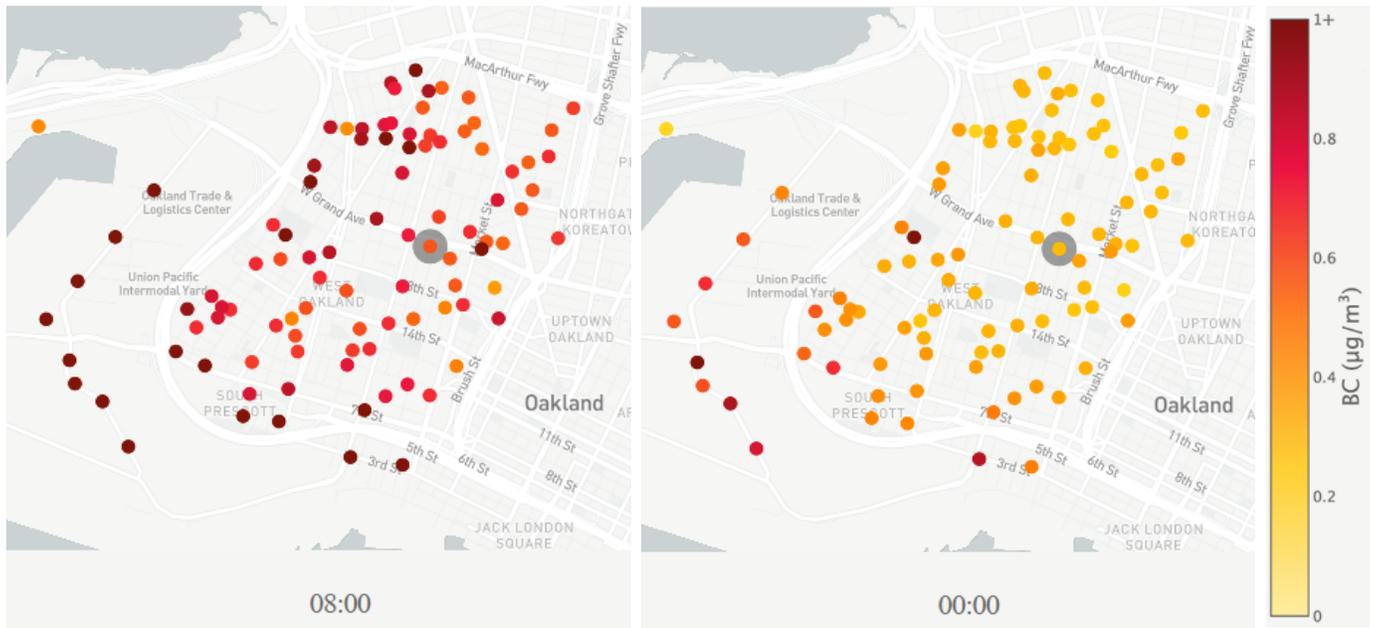
Por ejemplo, en Oakland, nuestros resultados de monitoreo móvil arrojaron una imagen detallada de las concentraciones de carbono negro y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) cada 30 metros. El mapa resultante se aproxima a los niveles promedio anuales de contaminantes durante los períodos de muestreo diurno. Si bien este mapa inicial permite a los usuarios ver patrones de contaminación detallados, no puede indicar en qué mes, día de la semana u hora del día la contaminación está en su punto máximo. Para comprender mejor las variaciones temporales, un estudio posterior colocó sensores de carbono negro en 100 ubicaciones durante 100 días. Si bien el mapa producido por este estudio no tiene una resolución espacial tan alta, los datos responden preguntas sobre cómo cambian los niveles de contaminación en diferentes períodos de tiempo, de una manera que el monitoreo móvil no pudo.

**MAPA DE CARBONO NEGRO DEL MONITOREO MÓVIL REALIZADO DURANTE UN AÑO. EL MAPA ILUSTRA LA MEDIANA DE LOS NIVELES DE CARBONO NEGRO CADA 30 M EN WEST OAKLAND DURANTE EL PERIODO QUE ABARCÓ EL ESTUDIO.**

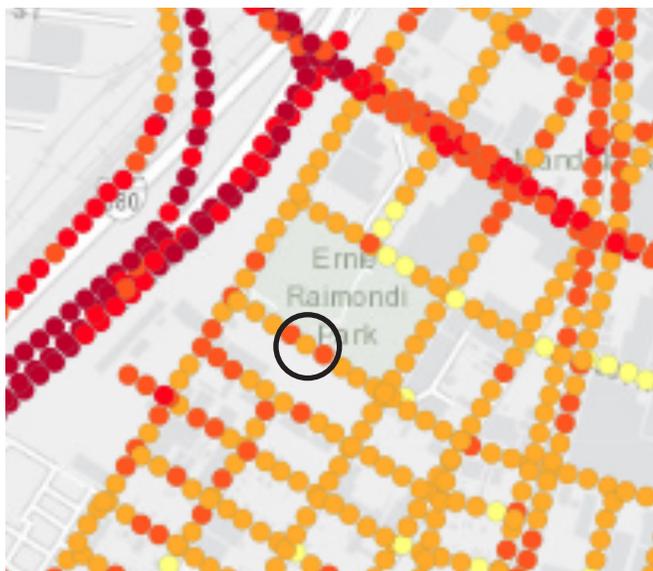


**MAPA DEL CARBONO NEGRO DEL 'PROYECTO 100X100', UNA RED DE MONITOREO FIJO DE CIENTO DETECTORES DE CARBONO NEGRO EN AEROSOL DESPLEGADOS DURANTE CIENTO DÍAS EN WEST OAKLAND.**

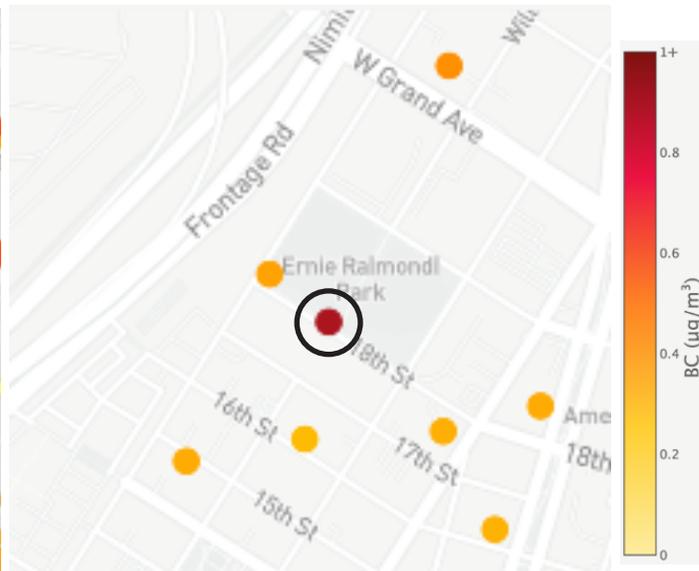
Los mapas muestran los niveles de carbono negro en 100 ubicaciones (6.7 sitios de muestreo/km<sup>2</sup>) a las 8 a.m. y a la medianoche de un miércoles. La naturaleza de alta resolución temporal de los datos de monitoreo fijos nos permite ver cómo cambia la contaminación del aire con el tiempo.



Además, los datos móviles a menudo se recopilan durante el día como fue en el caso de Oakland, donde se condujeron los automóviles desde la mañana hasta la tarde. Por el contrario, las redes de monitoreo fijo pueden recopilar datos de forma continua. Por ejemplo, en nuestro estudio 100x100, un monitor ubicado directamente a favor del viento proveniente de una empresa de camiones al otro lado de la calle de un campo de deportes rastreó patrones de contaminación que aumentaron durante la noche, incrementando la exposición de las personas que jugaban en el campo. Si bien este punto crítico apareció en los datos de nuestra red fija, esto no fue evidente en nuestros datos de monitoreo móvil ya que las plataformas móviles solo se desplegaban durante el día. Esto se ilustra mediante la comparación de los dos mapas siguientes.



Concentración media de carbono negro durante el día a partir del monitoreo móvil



Concentración promedio de carbono negro a las 2:00 am a partir del monitoreo fijo

El monitoreo móvil hiperlocal puede ser más útil para fines de detección, dada la cobertura espacial integral de los mapas de contaminación resultantes. Los dos tipos de monitoreo pueden trabajar juntos en etapas y los resultados del monitoreo móvil se utilizan para informar dónde colocar los monitores fijos mediante la identificación de ubicaciones de interés o fuentes de emisión desconocidas previamente.

Los monitores fijos pueden ser una opción más rentable en áreas donde se espera menos variación en la contaminación del aire o donde se tiene una mejor idea de dónde están las fuentes de emisión o las áreas problemáticas.

Otras ventajas y desventajas entre del monitoreo fijo y del móvil incluyen el costo y la relativa facilidad de despliegue. La construcción de una red de monitoreo fijo densa (o más densa) puede ser más factible para una ciudad que está considerando realizar una inversión inicial en el monitoreo de la calidad del aire. Los monitores fijos de bajo costo se han vuelto más fáciles de encontrar en los últimos años y su rendimiento está mejorando. Si bien el monitoreo móvil puede proporcionar una mayor cobertura y una imagen más granular, configurar y administrar plataformas móviles especializadas puede requerir mucho tiempo y recursos.



## Consideraciones de diseño de monitoreo fijo para el mapeo de la contaminación del aire hiperlocal

Sus objetivos (que pueden ir desde detectar y evaluar los niveles de contaminación alrededor de una fuente sospechosa, cuantificar la forma en la que la contaminación afecta los hogares y las escuelas o evaluar el efecto de una política que tiene como objetivo mejorar la calidad del aire) determinarán dónde ubicará sus monitores.

Las principales consideraciones en cuanto a su ubicación incluyen:

- ¿Cuál es su área geográfica de interés?
- ¿Dónde se encuentran las fuentes de contaminación que le preocupan? O ¿dónde sospecha que la contaminación podría ser un problema con base en las quejas del público, el historial de cumplimiento deficiente, el uso de suelo u otro conocimiento local que su equipo conozca por experiencia?
- ¿Dónde vive, trabaja, juega y estudia la gente?
- ¿Dónde pasan el tiempo las poblaciones sensibles?

En el proyecto de monitoreo 100x100 en West Oakland, los colaboradores (guiados por el consejo de los residentes locales y los líderes comunitarios) colocaron un paquete de 100 sensores de carbono negro en 100 ubicaciones distintas en un área de 15 km<sup>2</sup> del vecindario de West Oakland. La colocación de los sensores se diseñó para:

- Distribuir los paquetes de sensores de manera uniforme (o lo más uniformemente posible) en los vecindarios para caracterizar los distintos niveles de carbono negro en diferentes partes de la comunidad.
- Capturar una variedad de condiciones y fuentes posibles (por ejemplo, la carretera principal que da servicio al Puerto de Oakland, rutas designadas para camiones, rutas prohibidas para camiones, residencias en calles más tranquilas y fuentes conocidas o sospechosas) para determinar qué estaba causando daño a quién.
- Realizar muestreos en lugares a favor del viento de fuentes locales para utilizarlos como indicador con respecto a los niveles de contaminación regional de referencia.
- Evaluar si los sensores fueron calibrados adecuadamente desplegándolos en o cerca de la estación de monitoreo regulatorio existente en el área.

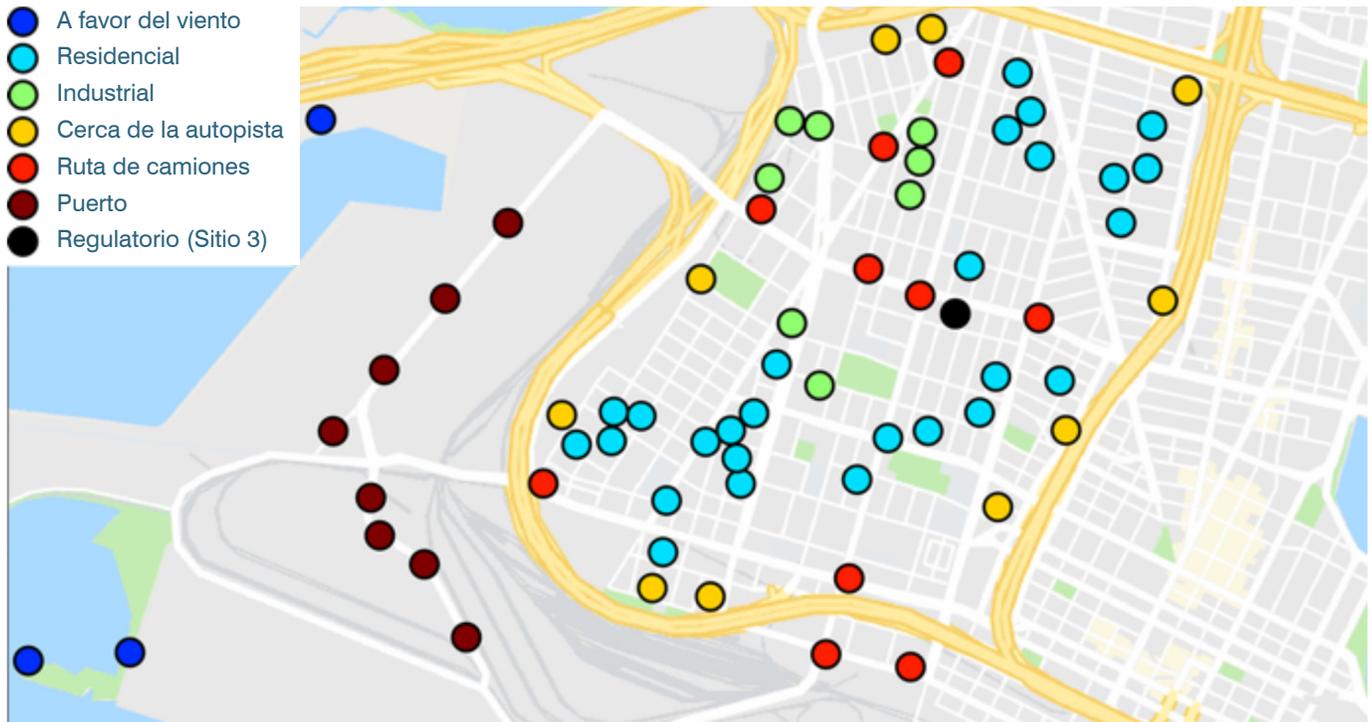
## Otros recursos sobre el diseño y la ubicación del monitoreo fijo que quizás desee revisar son:

- [U.S. Environmental Protection Agency Air Sensor Toolbox](#)
- [Greater London Authority Guide For Monitoring Air Quality in London](#)
- [Guidebook for Developing a Community Air Monitoring Network by the Imperial County Community Air Monitoring Project](#)

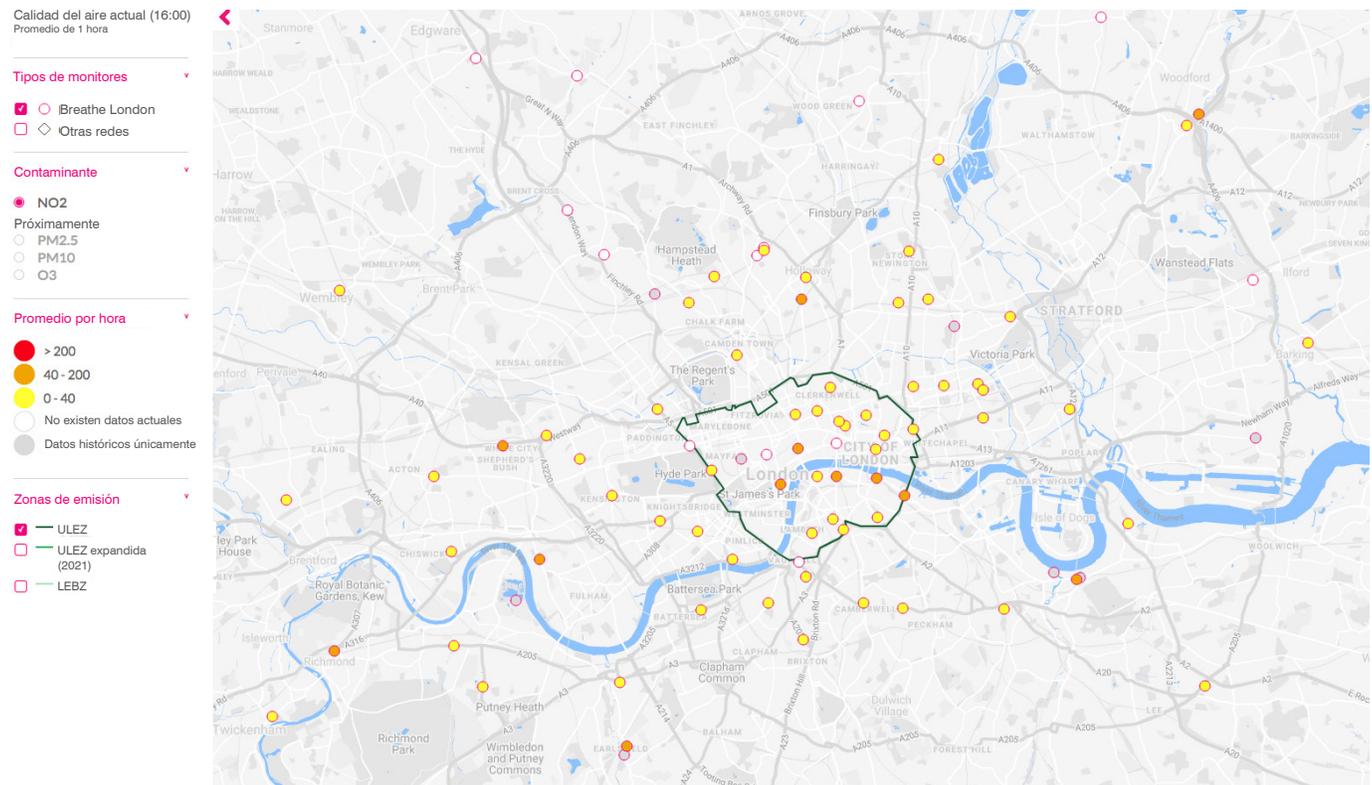
En Londres, la localización de la plataforma de sensores tenía como objetivo:

- Cubrir los 32 distritos de Londres y la ciudad de Londres
- Llenar los vacíos de la red existente de monitores gubernamentales de la calidad del aire.
- Colocar monitores prioritarios en lugares sensibles como escuelas primarias e instalaciones médicas.
- Brindar apoyo a las evaluaciones del impacto de las nuevas políticas diseñadas para reducir la contaminación del aire, como la ULEZ, la ULEZ Ampliada y las Zonas de Autobuses de Emisiones Bajas (LEBZ por sus siglas en inglés).
- Distribuir paquetes de sensores a lo largo de zonas con distintos niveles de tráfico y a diferentes distancias de las principales carreteras e intersecciones, parques, áreas residenciales, calles con un alto nivel de tráfico y otras áreas comerciales.
- Co-ubicar sensores, a largo plazo o periódicamente, junto con monitores de referencia para evaluar su desempeño.

**MAPA QUE MUESTRA DIFERENTES TIPOS DE SITIOS DONDE SE ENCUENTRAN SENSORES DE CARBONO NEGRO EN LA RED DE SENSORES 100X100 EN WEST OAKLAND. <sup>6</sup> (NOTA: ALGUNAS UBICACIONES NO SE CATALOGARON Y NO SE MUESTRAN EN ESTE MAPA).**



**MAPA DE LA RED DE SENSORES FIJOS DE BREATHE LONDON.**



Si hay una dirección del viento predominante y constante en el área que está monitoreando, es una buena práctica colocar algunos monitores a favor del viento proveniente del área que está monitoreando para que sirvan como referencia de los niveles de contaminación que no se ven afectados por las fuentes locales. Esto puede ayudarlo a distinguir mejor los efectos de las fuentes locales. Además, coloque sus monitores en sitios que sean representativos de lo que está intentando medir. Si está tratando de comprender ampliamente como varía la contaminación del aire en su ciudad, intente lograr una distribución espacial uniforme.

Una vez que tenga el plan de alto nivel de dónde desea ubicar sus sistemas de sensores, habrá muchos detalles específicos de cada sitio que deberá tomar en cuenta. Estos se discuten en [la Parte 2.2\(C\) Despliegue, operaciones y mantenimiento de instrumentos](#).

## Consideraciones de diseño de monitoreo móvil para el mapeo de la contaminación del aire hiperlocal

El monitoreo móvil puede medir y mapear las variaciones de los niveles de contaminación a escalas que van de los 30 a los 150 metros. Esto es mucho más preciso que la mayoría de las redes de monitoreo fijo. Sin embargo, cada medición es una fotografía instantánea de la contaminación en un tiempo y lugar determinado. Para crear una imagen estable, sólida y representativa de la contaminación en cualquier lugar a lo largo del tiempo, es necesario realizar mediciones en repetidas ocasiones.

Diferentes tipos de vehículos pueden servir como plataformas de monitoreo móvil. En la mayoría de nuestros proyectos, EDF y sus colaboradores han empleado vehículos de monitoreo, principalmente automóviles de Google Street View, cuyo único trabajo es recopilar datos. Esto puede requerir muchos recursos, incluyendo la necesidad de comprar o alquilar vehículos, contratar conductores para que conduzcan sistemáticamente rutas preestablecidas, coordinarse estrechamente con los conductores a diario y gestionar una serie de detalles logísticos.

La principal ventaja de emplear vehículos de monitoreo destinados a este fin específico es que se tiene más control sobre cómo, dónde y cuándo se recopilan los datos. Los conductores profesionales pueden conducir mucho en un territorio determinado, proporcionando una recopilación de datos completa, receptiva y dirigida. Como se discutió en el recuadro [Estrategia de muestreo móvil especializado](#), el método de muestreo es un factor importante para controlar posibles sesgos en el conjunto de datos resultante. Además, en nuestros proyectos con una flota de monitoreo especializada, hemos utilizado sistemas de monitoreo de mayor costo (de grado de investigación o cercano al grado de referencia) que tienen una mayor exactitud y precisión que los sistemas de menor costo. Sin embargo, esto requiere recursos específicos, como contratistas especializados, para respaldar las operaciones diarias y realizar el mantenimiento de rutina de los sistemas de sensores.

## Tamaño de muestra

Cuanto más frecuentemente recoja las mediciones en cada segmento de un camino, mayor será el tamaño de la muestra que tendrá para detectar cualquier patrón en los niveles de contaminación dentro del área de monitoreo. Para nuestro proyecto en Oakland, el equipo de investigación sobremuestreó deliberadamente al hacer que los vehículos de monitoreo condujeran por todos los caminos entre 20 y 50 veces en promedio durante el primer año de recopilación de datos.<sup>7</sup> Un análisis más detallado descubrió que podríamos llegar a un punto en el que las mediciones agregadas se volvieran estables con menos de 30 recorridos repetidos. Generalmente, EDF tiene como objetivo recolectar mediciones en cada calle de un área determinada de estudio entre 15 y 20 veces para encontrar una tendencia central. Sin embargo, no existe un número mágico único de recorridos repetidos; es probable que varíe para cada esfuerzo de monitoreo móvil dependiendo de la variabilidad inherente en la contaminación dentro de una ciudad y los instrumentos utilizados, lo cual depende de los factores discutidos anteriormente, incluyendo el tiempo de respuesta, la exactitud y la precisión del instrumento, entre otros. El número ideal y mínimo de mediciones repetidas también depende de la incertidumbre que pueda tolerar para la decisión que quiera tomar, el análisis que espera realizar, de sus otras fuentes de datos y de los recursos financieros y de tiempo que pueda invertir.



Existen alternativas al uso de vehículos dedicados únicamente a la recopilación de datos. Si puede alcanzar sus objetivos de datos sin conducir rutas específicas, es posible que pueda usar vehículos de la flota de la ciudad, como camiones de saneamiento, del departamento de parques, vehículos públicos o vehículos del departamento de salud. En este escenario, un director de proyecto examinaría los historiales de conducción de la flota y seleccionaría los vehículos que ofrezcan la mejor combinación de recorridos repetidos sobre segmentos de caminos de interés y cobertura de la ciudad.

El informe [Future Fleets de EDF](#) describe cómo funciona este análisis. Nuestro análisis encontró que un enfoque de monitoreo basado en flotas, en el que los conductores conduzcan por sus rutas regulares, haciendo su trabajo habitual, puede lograr la cobertura sustancial de una ciudad en unos pocos meses equipando solo algunos de los vehículos correctos.

La [ciudad de Houston](#) y EDF se asociaron para probar este enfoque aprovechando los vehículos municipales de Houston equipados con sistemas de sensores simples y de menor costo. Los sistemas de sensores están diseñados para instalarse fácilmente en la parte superior de los vehículos municipales y sus funciones están optimizadas para minimizar el tiempo y las habilidades que los conductores necesitan para operarlos. Al final del día, los conductores pueden necesitar como máximo 10 minutos para recargar las baterías de los instrumentos o realizar chequeos sencillos. Este enfoque de monitoreo de bajo costo pudo detectar niveles elevados en una escuela, en un parque y en una instalación industrial que no habrían sido evidentes en un monitoreo regional. Es posible que la recopilación de datos basada en flotas no identifique todos los puntos críticos potenciales y los instrumentos de menor costo podrían no ser adecuados para la medición móvil de algunos contaminantes. Sin embargo, este enfoque requiere mucho menos recursos.

## Estos roles y expertos pueden servir de ayuda para planificar una estrategia de monitoreo móvil:



Los expertos en calidad del aire y los científicos de datos aconsejan que se implemente un diseño de monitoreo óptimo que corresponda al análisis planificado y que se verifique periódicamente para determinar si el plan inicial dará como resultado mediciones suficientes para informar ese análisis.



Los residentes locales y los grupos comunitarios pueden proporcionar información importante sobre las posibles fuentes de contaminación y áreas de interés y se les debe consultar durante la fase de diseño y planificación del monitoreo.



Para los esfuerzos de monitoreo móvil, los coordinadores del proyecto identifican los vehículos adecuados, los conductores de trenes, administran los proveedores de instrumentos y trabajan con los expertos y el equipo de conductores para desarrollar un plan de ruta diario.

## Estrategia de muestreo móvil especializado

Para garantizar una cobertura completa y sistemática de su área de monitoreo, es útil dividirla en subsecciones o polígonos de manera que todas las calles puedan ser cubiertas por un vehículo en no más de 2-4 horas. Los factores a tomar en cuenta incluyen:

- El sesgo de muestreo se minimizará si rota el programa para que todos los polígonos se muestreen de manera uniforme en diferentes momentos del día y diferentes días de la semana.
- La congestión del tráfico afectará la cantidad de terreno que se pueda cubrir cada día. Es posible que deba considerar las ventajas y desventajas de las visitas repetidas a determinadas

ubicaciones (más puntos de datos en un lugar, pero menos ubicaciones) y obtener una mayor cobertura espacial (menos puntos de datos en un lugar, pero más ubicaciones).

- Turnos de trabajo de los conductores.
- Distancia entre la base de operaciones del vehículo y las áreas de muestreo.
- Recopilación de datos a lo largo de las estaciones del año relacionadas con las diferentes condiciones meteorológicas así como las fuentes de emisión y las actividades cambiantes a lo largo de las estaciones.
- Sobremuestreo en áreas particulares como puntos críticos conocidos o sospechosos. Tome en cuenta que la estrategia de muestreo que se discute aquí es aplicable al uso de una flota especializada de vehículos de

monitoreo por medio del cual puede dirigir el itinerario de conducción y controlar cuándo y dónde tomar muestras. Esto le permite restringir el sesgo temporal y evitar escenarios en los que muestrea ciertas ubicaciones solo en ciertos momentos o días. Asegurar una muestra equilibrada y robusta es importante para la capacidad de producir una tendencia central significativa que le permita discernir las verdaderas diferencias entre los niveles de contaminación de distintas ubicaciones. Consulte la Parte 2.3 Darle sentido a los datos para obtener más información sobre el método de tendencia central.

## ¿Monitoreo fijo, móvil o ambos?

La siguiente tabla proporciona ejemplos de dónde utilizar métodos de monitoreo fijo, móvil o ambos, según sus metas de monitoreo y los objetivos de sus datos. Además de una red fija distribuida o un monitoreo móvil integral que brinde una cobertura de área amplia, las ciudades también pueden combinar diferentes tipos de monitoreo en secuencia. Por ejemplo, las ciudades pueden utilizar un monitoreo móvil de base amplia para decidir los lugares de interés en los que sus plataformas de monitoreo móvil o estacionario de corta duración debe detenerse para realizar mediciones o dónde desplegar sensores fijos.

OBJETIVOS DEL MONITOREO	OBJETIVOS DE LOS DATOS	ENFOQUE DE MONITOREO QUE MEJOR SE AJUSTA
1) Identificar el problema de contaminación del aire y evaluar la gravedad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación en la ciudad o áreas de interés.</li> </ul>	<b>Red fija densa y distribuida o monitoreo móvil integral</b> , según la resolución espacial que espere obtener y los recursos disponibles
2) Crear conciencia y sensación de urgencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación en la ciudad o áreas de interés</li> <li>Identificar la presencia de contaminantes que superen los parámetros de referencia de salud.</li> </ul>	<p><b>Red fija densa y distribuida que proporcione</b> información sobre la contaminación del aire en tiempo real como una herramienta eficaz para crear un sentido de urgencia y aumentar la conciencia entre el público.</p> <p>Además, los datos de <b>monitoreo tanto fijos como móviles</b> pueden incorporarse a las evaluaciones de salud que pueden contribuir al mismo objetivo.</p>
3a) Investigar y observar el cumplimiento de la ley.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar fuentes de emisión desconocidas o sospechosas (puntos críticos).</li> </ul>	<b>Monitoreo móvil integral</b> para detectar puntos críticos. El monitoreo móvil es una herramienta de detección muy efectiva dada la alta resolución espacial de los datos resultantes. Una vez detectados, los monitores móviles podrían desplegarse en puntos críticos para monitorear los niveles de contaminación a largo plazo ( <a href="#">descripción general</a> del tablero de calidad del aire). También se puede hacer uso del <b>monitoreo fijo dirigido a un objetivo específico</b> cuando se conoce la ubicación de fuentes sospechosas.
3b) Implementar intervenciones de salud pública de emergencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los niveles agudos de contaminantes nocivos en tiempo real</li> <li>Detectar puntos críticos en tiempo real.</li> </ul>	<b>Monitoreo fijo o móvil dirigido a un objetivo específico que proporciona datos en tiempo real.</b> Los sistemas de sensores estacionarios se pueden desplegar en fuentes conocidas o sospechosas para detectar niveles elevados durante eventos de alta emisión (por ejemplo, monitoreo perimetral alrededor de instalaciones industriales). Monitoreo móvil desplegado en áreas de interés durante o inmediatamente después de eventos de alta emisión (por ejemplo, después de desastres industriales). (Véase también el <a href="#">caso de estudio</a> de monitoreo de respuesta a emergencias).
3c) Informar la planificación del transporte y la gestión del tráfico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar puntos críticos</li> <li>Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación a lo largo de carreteras y calles, incluyendo cierta variación conforme a la hora del día.</li> </ul>	<b>El tipo de enfoque de monitoreo necesario dependerá de las medidas de transporte</b> que se tomen en cuenta. Por ejemplo, las intervenciones para reducir las emisiones vehiculares, como las Zonas de Bajas Emisiones o los Planes de Cargos por Tráfico, cubren grandes áreas geográficas y es probable que requieran un enfoque de monitoreo más extenso, ya sea una red fija distribuida o un monitoreo móvil integral en el área relevante para informar la planificación y/o evaluar la eficacia. Más intervenciones a nivel local, como la reducción del límite de velocidad, la restricción y reasignación del tráfico, la reasignación del tráfico y la colocación de infraestructuras de transporte activo como ciclovías, podrían informarse por medio de una red de monitoreo fijo dirigido o semidistribuido (por ejemplo, a lo largo de ciertos caminos). El monitoreo fijo dirigido también puede ser útil para actividades de observancia como el cumplimiento de las disposiciones de no-ralentí y las normas de motores limpios.

OBJETIVOS DEL MONITOREO	OBJETIVOS DE LOS DATOS	ENFOQUE DE MONITOREO QUE MEJOR SE AJUSTA
3d) Informar la zonificación del uso de suelo, el otorgamiento de permisos y los reglamentos de construcción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar fuentes de emisión desconocidas o sospechosas (puntos críticos).</li> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación en la ciudad o áreas de interés.</li> </ul>	<p>El <b>monitoreo móvil integral</b> puede proporcionar una imagen más completa de la variabilidad espacial de la contaminación con una mayor capacidad para detectar fuentes de emisión locales o puntos críticos distribuidos de manera desigual. Este tipo de monitoreo móvil es particularmente adecuado para áreas urbanas más densas con patrones de uso de suelo mixtos. Una imagen completa de los patrones de contaminación del aire en toda la ciudad podría informar la planificación de un nuevo desarrollo (por ejemplo, de vivienda y de receptores sensibles lejos de áreas de alta contaminación), la re-zonificación, la renovación de permisos o la creación de zonas de amortiguamiento apropiadas entre las fuentes de emisión y los lugares donde la gente vive, trabaja y juega. Los datos altamente granulares pueden informar los códigos de construcción o las intervenciones específicas del sitio (por ejemplo, que requieren sistemas de filtración de aire o barreras verdes en áreas residenciales altamente contaminadas). El <b>despliegue dirigido (ya sea monitoreo fijo o móvil)</b> en fuentes conocidas o sospechosas también puede informar la decisión de volver a zonificar o de volver a emitir permisos en esos sitios específicos.</p>
3e) Destinar inversiones e incentivos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar puntos críticos.</li> <li>• Cuantificar los niveles de contaminación del aire y caracterizar los patrones de contaminación para identificar las áreas más cargadas de contaminación o comprender la carga relativa de contaminación en diferentes áreas.</li> </ul>	<p>Los datos espacialmente granulares de contaminación del aire pueden ayudar a distribuir el financiamiento de medidas de reducción de emisiones (por ejemplo, fondos de sustitución de vehículos, zonas de cero emisiones, fondos para autobuses y camiones limpios, sistemas de filtración de aire) de una manera más dirigida. Se pueden emplear <b>múltiples tipos de enfoques de monitoreo</b> según el alcance geográfico de interés.</p>
4) Evaluar la calidad del aire antes y después de la intervención de una política.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar los cambios en los niveles de concentración a lo largo del tiempo.</li> </ul>	<p>Se pueden utilizar <b>múltiples tipos de enfoque de monitoreo</b> según el tipo de intervención política que se esté implementando. Por ejemplo, para evaluar el impacto de las Zonas de Bajas Emisiones, es posible que se necesite tanto una red de monitoreo fija distribuida como un monitoreo móvil extensivo. Justificar las inversiones en tecnología limpia, como por ejemplo en una flota de autobuses de cero emisiones, puede garantizar un monitoreo fijo dirigido a lo largo de las rutas clave de los autobuses y en una terminal de autobuses.</p>



## En sus marcas, listos, fuera: Encender y mantener su red

Esta sección describe cómo poner su plan de monitoreo en marcha, desde la adquisición, instalación y prueba de su nuevo equipo de monitoreo, hasta las operaciones diarias del mapeo de contaminación del aire hiperlocal y el manejo de datos. Lo orienta sobre cómo garantizar que los datos que recopile se ajusten a su propósito y que tenga la capacidad y la experiencia adecuadas en su equipo para completar el proyecto. Esta guía se basa en la experiencia de EDF y de nuestros socios en la implementación de proyectos de monitoreo a gran escala en varias ciudades.

Los esfuerzos de monitoreo de la contaminación del aire hiperlocal requieren una amplia gama de expertos y roles para diseñar e instalar el equipo y el software y mantenerlos diariamente. La lista del tipo de expertos y los roles clave se enumeran a continuación; las funciones más específicas se destacan en el resto de esta sección:



### Proveedores de sistemas de monitoreo del aire

Son empresas que solo venden o alquilan instrumentos de monitoreo del aire así como contratistas de servicio completo que pueden trabajar junto con usted en el diseño de sistemas, la instalación y mantenimiento de instrumentos y que proporcionan y mantienen un sistema de manejo de datos. También podría considerar colaborar con investigadores u otros socios técnicos con instrumentos existentes.



### Equipo de soporte técnico en campo

Proporciona apoyo referente a operaciones clave y mantenimiento como calibración y verificación de los sistemas de monitoreo, supervisión continua del desempeño de los instrumentos y resolución de los problemas técnicos que puedan surgir a lo largo de su proyecto. Este nivel de soporte ha sido particularmente crucial para el esfuerzo de monitoreo móvil utilizando vehículos especializados pero puede ser menos necesario para instrumentos que requieran poca calibración.



### Consultores o contratistas especializados

Ayudan a evaluar tecnologías de monitoreo, a diseñar y/o evaluar sus sistemas de monitoreo, a configurar un sistema de manejo de datos y posiblemente a hacer análisis de datos. La gama de servicios disponibles varía de un contratista a otro.



### Director(es) y coordinador(es) de proyecto del día a día

Desempeñan roles cruciales para el manejo y coordinación de los numerosos aspectos de los esfuerzos de monitoreo hiperlocal. Sus funciones incluyen el enlace con y entre los contratistas y otros socios, la planificación, la facilitación de reuniones, la divulgación y la participación de las partes interesadas y la resolución de problemas.



### Científicos o analistas de datos

Ayudan a analizar, sintetizar e interpretar los datos de contaminación del aire. También juegan un papel integral durante la fase de recopilación de datos para evaluar continuamente la calidad de los datos. Es especialmente útil trabajar con científicos o analistas de datos con habilidades de modelaje espacial y estadístico.

## Los procesos y sistemas operativos clave involucrados en los esfuerzos de monitoreo hiperlocal incluyen:

- a. **La adquisición e instalación del sistema** (por ejemplo, especificaciones de instrumentación, ubicaciones de instalación (fijas y/o móviles), fuentes de energía, etc.)
- b. **La verificación del rendimiento del sistema** de instrumentos (por ejemplo, chequeos de instrumentos, calibración, etc.)
- c. **Despliegue y operación de instrumentos** (por ejemplo, instalación, mantenimiento, resolución de problemas, garantía de calidad y calibración, etc.)
- d. **Manejo y procesamiento de datos** (por ejemplo, registrar de datos y metadatos de múltiples instrumentos a la velocidad adecuada, almacenarlos o transmitirlos en tiempo real a un servidor, garantizar la calidad de datos robustos y procedimientos de control de calidad de los datos, etc.)

Además, las siguientes tareas son críticas para garantizar que su proyecto funcione sin problemas en general:

- **Gestión de colaboraciones** (por ejemplo, finalización de contratos, memorandos de entendimiento (MOU por sus siglas en inglés), acuerdos de comodato y otros acuerdos legales que aseguren automóviles, conductores, etc.)
- **Logística y coordinación del proyecto** (esto puede cubrir la capacitación de conductores, la búsqueda de sitios de respaldo para monitores fijos, la reparación de instrumentos y el arbitraje de disputas)

## A. ADQUISICIÓN DEL SISTEMA

En la mayoría de los casos, buscará un contratista que se especialice en mediciones de contaminación del aire para suministrar los sistemas de sensores de su elección. Hay muchos elementos importantes a considerar al elegir un contratista apropiado y seleccionar sus sistemas de monitoreo.

Al elegir al contratista(s) que diseñará, instalará y manejará su(s) sistema(s) de sensores, considere su experiencia previa con el mapeo móvil de la contaminación del aire, su capacidad de entrega, su capacidad de responder rápidamente a los problemas y solicitudes y su motivación para satisfacer sus necesidades. Tenga en cuenta que el diseño de un sistema va más allá de la mera selección de los instrumentos correctos e implica numerosas decisiones de diseño; por ejemplo, la entrada de aire y el material de la tubería pueden afectar la recolección de muestras y los datos resultantes. La experiencia y los conocimientos pertinentes son fundamentales.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de Solicitudes de Propuesta (RFP por sus siglas en inglés) para solicitar ofertas de posibles contratistas, así como los criterios para evaluar sus propuestas:

- 📄 [RFP de servicio y monitoreo móvil para plataforma de instrumentos de mediano costo](#)
- 📄 [RFP de plataforma de instrumentos de bajo costo en flota municipal](#)
- 📄 [Criterios de selección de \[RFP\]\(#\) de plataforma de instrumentos de bajo costo en flota municipal](#)

Querrá hablar a detalle sobre el desempeño de los sensores o instrumentos y si acude a un contratista o construye un sistema usted mismo, consulte el informe de Houston para conocer las lecciones aprendidas y los consejos de diseño de código abierto.

- 📄 [Informe final sobre el monitoreo móvil de bajo costo de Houston](#)



## Indicadores clave del desempeño de los sensores o instrumentos a considerar:

### Exactitud, precisión y sesgo

Estos son factores fundamentales que determinan el rendimiento de sus sensores o instrumentos. Determinan la precisión con la que el sensor o instrumento mide el valor real de la contaminación. La calidad de sus datos se verá influenciada por estas características de rendimiento.<sup>8</sup>

### Rango de detección

¿El sensor o instrumento es preciso dentro de los rangos de los contaminantes que espera en su ciudad? Los instrumentos podrían ser menos precisos más allá del límite inferior y superior de las concentraciones probadas. Si no tiene mediciones de referencia, busque un rango de detección lo más amplio y preciso posible.

### Desviación

Con el tiempo, la respuesta de un sensor o instrumento puede cambiar ante la misma cantidad de contaminación: las lecturas pueden comenzar a “desviarse”. Se necesitan chequeos y calibraciones periódicas para minimizar el efecto en sus datos. Esto se ve con mayor detalle más adelante.

### Interferencia

En el mundo real, los instrumentos necesitan identificar partículas y gases de una mezcla de sustancias en el aire. Considere si un instrumento se vuelve menos preciso para detectar una partícula o gas en presencia de otras sustancias.

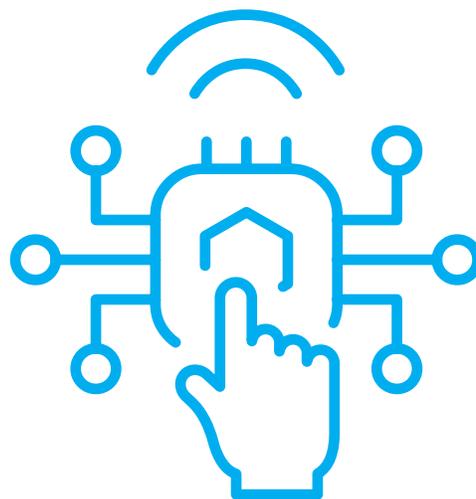
### Realizar pruebas en el entorno

Las pruebas llevadas a cabo por evaluadores independientes deben realizarse tanto en un laboratorio como en el campo. Cuando evalúe los resultados de las pruebas de laboratorio, identifique aquellas pruebas que se realizaron en intervalos amplios de humedad y temperatura.

### Tiempo de respuesta

En el caso de los instrumentos móviles, el tiempo de respuesta deberá ser rápido: de uno a tres segundos, según la velocidad de conducción. En un vehículo en movimiento, el tiempo de respuesta determinará la resolución de sus datos. Tenga en cuenta que el tiempo de respuesta tiende a ser más lento para los sensores de bajo costo, por lo que pueden no ser prácticos para el monitoreo móvil.

¿Cómo elegir un instrumento? Algunos terceros, incluidas las organizaciones gubernamentales, han evaluado una amplia gama de instrumentos de menor costo y lo están haciendo de forma continua a medida que los nuevos sensores y sistemas de sensores continúan proliferando en el mercado. Consulte la lista anterior de la [Evaluación del rendimiento de los sensores y monitores de contaminación del aire](#). Se recomienda que consulte a un científico o experto en monitoreo de la contaminación del aire para que lo ayude a evaluar y seleccionar un sistema de monitoreo apropiado si su ciudad no tiene experiencia respecto a este tema.





## Más allá del rendimiento

Además de los factores descritos anteriormente, considere los parámetros operativos del instrumento. Es posible que estos factores no se prueben porque no existe una medida independiente de calidad y es posible que no se describan en pruebas independientes. Como resultado, debe solicitar detalles al proveedor del instrumento y su RFP debe especificar todos los requisitos necesarios para satisfacer sus necesidades de monitoreo.

### Considere:

- Tamaño y peso.
- Resistencia al clima.
- Capacidad para funcionar en el vehículo o ubicación deseada bajo distintas condiciones.
- Datos adicionales recopilados. La temperatura y la humedad relativa pueden ser necesarias para el análisis de datos y los datos del viento son muy útiles para la atribución de fuentes.
- Bajo consumo de energía. El sistema preferiblemente funciona con batería o energía solar. El cableado o la conexión a cualquier cosa aumentará significativamente el costo y la complejidad de su despliegue y puede reducir las ubicaciones donde se puedan instalar los instrumentos.
- Cantidad mínima de calibración y mantenimiento a cargo de no expertos en caso de ser necesario. Revise si se requieren instrumentos o gases especializados para el mantenimiento o la calibración ya que estos pueden aumentar la complejidad del proyecto.
- Manejo de datos:
  - Almacenamiento de datos a bordo durante uno o más días.
  - Capacidad de transmitir datos a través de Wi-Fi, celular, LoRaWAN o Bluetooth sin una nueva codificación por parte del usuario. (Pregunte sobre el idioma o código en el que aparece la salida de datos y verifique si tiene a alguien que pueda manejar ese tipo de datos).
- Capacidad para controlar de forma remota el instrumento o enviar actualizaciones. Esto le permitirá realizar mejoras en sus capacidades de recopilación de datos sin tener que visitar físicamente todos los sensores.

Si tiene la intención de medir más de una especie de contaminante, es probable que usted o su contratista tengan que construir su propia plataforma de instrumentos a partir de un conjunto de sensores. Los proveedores de instrumentos y servicios establecidos pueden trabajar con usted para ensamblar un paquete personalizado. Vea los diferentes conjuntos de instrumentos que EDF ha utilizado en sus diversos proyectos a continuación.

## RED DE MONITOREO FIJO

Proyecto	Socio de instrumentos	Carbono negro	PM	PUF	NO	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
Oakland, CA	UC Berkeley	Personalizado*	-	-	-	-	-	-
Londres	Air Monitors Ltd	-	AQMesh					

*Nota: \*Custom Aerosol Black Carbon Detector construido por el equipo de investigación de UC Berkeley. Los monitores de carbono negro de menor costo aún no están disponibles comercialmente ya que el carbono negro aún no es un contaminante regulado en ningún país. Sin embargo, la investigación ha demostrado que el carbono negro es un contaminante climático potente y de corta duración que puede causar daño significativo a la salud humana. Se están realizando esfuerzos para introducir en el mercado monitores de carbono negro de menor costo.*

## MONITOREO MÓVIL

Proyecto	No. de vehículos de monitoreo*	Socio de instrumentos	PM <sub>2.5</sub>	CN	PUF	Área de superficie depositada en pulmones (LDSA por sus siglas en inglés)	Ozono	NO	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	VOC
Oakland	2	Aclima	Información confidencial			-	-	Información confidencial		-	-
Houston	2	Sonoma Technology	Thermo-Fischer PDR-1500	Magee Scientific AE33	Aerosol Dynamics MAGIC 200p	-	Teledyne API T400	Teledyne API T200	Teledyne API T500U	LiCor LI-7000	ppbRAE 3000
Houston (Smart Fleets)	2 (flota municipal)	TD Environmental Services	Thermo-Fischer PDR-1500	microAeth MA-200	-	-	-	-	-	-	-
Londres	2	Air Monitors	Thermo PDR - 1500 PM <sub>2.5</sub> Nephelometer + FIDAS 100 PM Monitor (1, 2.5, 4, 10, and TSP)	Magee AE33 Black Carbon Monitor	-	Naneos Partector - nano PM monitor	2B Tech 211G Ozone Monitor	Serinus 40 NOx Monitor	Aerodyne CAPS Direct NO <sub>2</sub> Monitor	LiCor Model 7200RS CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O Monitor	-

*Nota: \*Vehículos de Google Street View, excepto cuando se indique lo contrario*

*Deslinde de responsabilidades: cualquier referencia a organizaciones, productos o servicios que se haga en esta guía no constituye ni implica el respaldo o recomendación de EDF.*



## Estimar los costos

El costo es clave al elegir su plataforma de monitoreo móvil. Le proporcionamos una [calculadora](#) para estimar el costo de adquisición y funcionamiento de sus sistemas de monitoreo.



Al presupuestar, recuerde que a medida que invierta en monitores, sensores y consultores asociados para ejecutar una campaña de monitoreo completa, deberá destinar tiempo del personal a la supervisión del proyecto. Mientras más calibración y mantenimiento lleve a cabo un consultor, menos tendrá que hacer su personal, aunque esto conllevará un costo. Como resultado, puede especificar por adelantado con su diseñador de instrumentos cuánto tiempo puede asignar al manejo de los instrumentos.

También deberá invertir en miembros del equipo o consultores para analizar y explicar los resultados. La calculadora de costos anterior no incluye estos costos. Es común concentrarse únicamente en los costos de compra y operación del hardware y subestimar el costo de mantenimiento, procesamiento de datos e interpretación de los resultados de los monitores. Tome en cuenta que, si bien puede comprar más instrumentos de menor costo, es posible que presente desventajas referentes a la calidad de los datos y a la cantidad de trabajo que se requiera durante la fase de operaciones para calibrar y dar mantenimiento. Incluso con instrumentos de alta calidad, descubrimos que gastamos \$5 en análisis de datos y toma de decisiones por cada \$1 invertido en instrumentos.

## Trámites

En algunos casos, es posible que deba establecer un acuerdo de comodato entre los socios para establecer los términos de transferencia, uso, posesión y protección de las propiedades que se utilicen en el proyecto (por ejemplo, instrumentos de monitoreo, vehículos, etc.). Por ejemplo, en nuestro esfuerzo de monitoreo móvil en Houston, tuvimos un acuerdo de comodato para el equipo de monitoreo bajo propiedad de/alquilado por EDF que fue instalado en automóviles de Google Street View y automóviles municipales.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de acuerdos de comodato:

-  [Acuerdo de comodato y asociación de monitoreo móvil de bajo costo entre el proponente del proyecto y la ciudad](#)
-  [Acuerdo de comodato y servicio de monitoreo móvil de bajo costo entre el proponente del proyecto y el consultor](#)

## B. VERIFICACIONES DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTOS

Antes de comenzar a recopilar datos, realice una prueba de sus instrumentos en campo para asegurarse de que funcionen correctamente en su ubicación particular. Los instrumentos pueden comportarse de manera diferente en distintas condiciones ambientales (por ejemplo, humedad, temperatura, viento, etc.). Los chequeos de los instrumentos deben realizarse mientras se construye el sistema de monitoreo, antes de la implementación inicial, así como también de forma rutinaria durante su despliegue.

### CALIBRE SUS INSTRUMENTOS COMPARÁNDOLOS CON MONITORES DE REFERENCIA

Como parte de la preparación de despliegue, es valioso co-ubicar los instrumentos elegidos e instrumentos de referencia (cuando sea posible) para verificar su desempeño en el campo. Este es un paso clave a la hora de desplegar una red de monitoreo fija, pero también se aplica a los chequeos de instrumentos que se utilizarán en el monitoreo móvil. Por ejemplo, los sistemas de sensores de monitoreo del aire utilizados en nuestro proyecto Breathe London se co-ubicaron cerca de varios sitios de monitoreo regulatorio en Londres. De manera similar, los sensores de carbono negro utilizados en nuestro proyecto 100x100 pasaron varias semanas cerca de monitores regulatorios en Oakland.

En algunas áreas urbanas, múltiples sitios de monitoreo de referencia pueden estar ubicados en una gran variedad de ambientes (por ejemplo, en el centro de una ciudad con una mayor concentración de contaminantes versus áreas suburbanas o espacios abiertos con concentraciones más bajas de contaminantes). Cuando sea posible, seleccione sitios de co-ubicación que sean representativos del entorno donde se desplegarán sus instrumentos.

### CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA PLATAFORMAS DE MONITOREO MÓVILES

Para plataformas de instrumentos móviles, ejecute pruebas para evaluar el impacto de las vibraciones (al conducir en diferentes superficies de la carretera) y del clima (por ejemplo, calor, frío, lluvia, humedad etc.) en el rendimiento del instrumento. Trabaje con su contratista y los expertos en calidad del aire para realizar estas pruebas.

Las verificaciones de rendimiento iniciales también deben incluir pruebas para determinar el tiempo en el que una muestra viaja a través del tubo de aire, así como confirmar el tiempo de respuesta del instrumento. Esto se utilizará para ajustar los datos de modo que los datos de concentración se asignen correctamente a la ubicación del GPS en donde ingresaron en el instrumento.

Asegúrese de que se sincronice una marca de tiempo para las mediciones móviles. Asegúrese de que la marca de tiempo asignada a sus mediciones se asigne simultáneamente a las coordenadas GPS registradas. A medida que la plataforma móvil se desplaza por un camino, el GPS del automóvil registra la hora y el lugar aproximadamente cada segundo. Sin embargo, el instrumento en la parte superior (o en el interior) del automóvil puede registrar un tiempo ligeramente diferente, confundiendo así la capacidad de asignar la medición al mismo lugar donde se tomó. De acuerdo con nuestra experiencia, para cada medición es mejor utilizar una marca de tiempo sincronizada entre instrumentos y lecturas de GPS que se base en un reloj GPS de grado satelital. Haga de esto un requisito para la configuración de su sistema y no confíe en el reloj del instrumento.

Ponga a prueba el tiempo de respuesta real para asegurarse de que funciona al ritmo de la especificación técnica. Además, muchos instrumentos se pueden configurar en diferentes tiempos de respuesta (comúnmente 1, 3, 5 o 10 segundos para instrumentos de grado de investigación). Asegúrese de que esté configurado a la velocidad adecuada para lograr la resolución espacial deseada.



## C. DESPLIEGUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS

### MONITOREO FIJO

Instalar monitores fijos en el mundo real es más desafiante que identificar ubicaciones ideales en un mapa. Además de determinar dónde colocar sus monitores para medir mejor la contaminación o las fuentes que desea capturar, hay una gran variedad de factores específicos del sitio que debe tomar en cuenta, lo que incluye pero no se limita a:

- Acceso al suministro de energía o viabilidad de la energía solar
- Conectividad a internet o Wi-Fi
- Seguridad y protección
- Estructuras de soporte estables para sujetar sus monitores
- Distancia desde la fuente (por ejemplo, lo más cerca posible del camino si está monitoreando las emisiones del transporte o en un parque o a favor del viento con respecto a las fuentes para obtener una estimación de la concentración de contaminación de referencia)
- Altura de la plataforma de instalación (colocar monitores a diferentes alturas puede brindarle información sobre los efectos de cañón de una calle, mantener muchos monitores a la misma altura permite una comparación más fácil entre las plataformas de su red)
- Entorno del área circundante inmediata que podría afectar las mediciones (por ejemplo, conductos de ventilación, rejillas, barreras que podrían obstruir el flujo de aire y el permiso de residentes, empresas, instituciones públicas, etc.)

Otras consideraciones de micro-ubicación que también podrían ser de su interés son:

- [European Directive 2008/50/EC – Anexo III](#)
- [U.S. Environmental Protection Agency Air Sensor Toolbox](#)
- [Greater London Authority Guide For Monitoring Air Quality in London](#)

Reúna la mayor cantidad de información posible sobre estas condiciones antes de desplegar sus monitores para garantizar una instalación exitosa y ahorrar tiempo. Estos factores no siempre estarán bajo su control, por lo tanto, permita que haya cierta flexibilidad en el diseño de su red.

Trabajar con otros departamentos de la ciudad o agencias públicas que tengan redes de infraestructura adecuadas para la instalación de monitores puede ser altamente productivo (por ejemplo, una agencia de tránsito que posee y mantiene el mobiliario urbano, el departamento de parques que puede otorgar permisos para colocar sistemas en parques públicos o distritos escolares). Lograr un acuerdo para poder colocar monitores en cualquier escuela, intersección de tráfico o centro comunitario, etc. es mucho más fácil que buscar acuerdos para cada sitio. Una vez que logre ese acuerdo, puede superponer sus ubicaciones ideales con la lista de ubicaciones disponibles.

Considere trabajar con grupos locales que puedan ayudarlo a identificar y llegar a muchos anfitriones, como grupos de vecindarios, organizaciones comunitarias, una cámara de comercio local o grupos de iglesias. Reclutar “anfitriones” para sus sensores o instrumentos y obtener su permiso puede requerir mucho tiempo así que considere esto al crear su cronograma de implementación. Proporcionar un acuerdo formal con el anfitrión o un certificado de seguro puede ayudar a aliviar las preocupaciones sobre la posible responsabilidad que esto podría significar.

A continuación, se muestra el ejemplo de un formulario de acuerdo de anfitrión:

 [Formulario de acuerdo de anfitrión de red de sensores fijos](#)

La mayoría de los monitores fijos de la calidad del aire no requieren operaciones diarias, sin embargo, los monitores podrían comenzar a funcionar mal y necesitar reparaciones de vez en cuando. Asegúrese de que esto esté incluido dentro del costo de su contrato de servicios si está empleando a un contratista externo.

## MONITOREO MÓVIL

Para el monitoreo móvil, tenga en cuenta que las operaciones diarias de rutina del instrumento (por ejemplo, encender y apagar el instrumento, realizar chequeos del instrumento, cargar las baterías, etc.) pueden ser realizadas por conductores capacitados adecuadamente. Proporcione instrucciones sencillas y claras como punto de partida para la formación de todos sus conductores.

Para asegurarse de mantener instrucciones simples, solicite a su(s) contratista(s) que preconfigure(n) el software en el instrumento o que utilicen equipos que no requieran limpieza o reemplazo frecuentes. También recomendamos encarecidamente que solicite SOP amigables con el usuario (por ejemplo, listas de verificación/procedimientos de arranque y apagado, procedimientos y frecuencias de calibración, resolución de problemas y mantenimiento, etc.) para cada instrumento como parte del contrato. Los fabricantes de ciertos instrumentos utilizados en el piloto municipal de Houston modificaron el software instalado (conocido como “firmware”) para facilitar las operaciones. Considere preguntar a los fabricantes si esto es posible en su caso.

Los sistemas de sensores más complejos (por ejemplo, sistemas de múltiples contaminantes de costo medio a alto) generalmente requieren apoyo técnico en campo que pueda llevar a cabo calibraciones y verificaciones diarias y periódicas de los sistemas de monitoreo y supervisar continuamente el rendimiento de los instrumentos.

## GESTIÓN DE RUTAS

Si está desplegando vehículos de monitoreo que conducen rutas específicas preestablecidas, es importante hacer un seguimiento de su progreso en comparación con el plan de muestreo que estableció al inicio del proyecto de manera diaria y semanal y hacer los ajustes necesarios. Los conductores pueden utilizar aplicaciones de rastreo GPS simples (por ejemplo, GPS Tracks) para visualizar las áreas de conducción programadas para cada día. Estas aplicaciones también brindan a los conductores información en tiempo real sobre el progreso de su mapeo en relación con los objetivos de conducción diarios. Estos sistemas pueden ayudar a los conductores a ser más eficaces para alcanzar la cobertura que se busca abarcar. Es importante destacar que los sistemas de rastreo por GPS le permiten evaluar la cobertura de manejo vehicular al final de cada día para ajustar el plan de conducción del día siguiente. Algunos tipos de flotas (por ejemplo, manejo de residuos o entregas) pueden tener ya incorporados sistemas de rastreo GPS más avanzados.

## MANEJO DE INSTRUMENTOS

En nuestra experiencia, es útil contar con herramientas de diagnóstico en tiempo real que se puedan visualizar tanto en los vehículos de monitoreo como de forma remota. Esto le brinda la capacidad de identificar rápidamente cualquier problema que pueda afectar la recopilación de datos y requiera una solución. Normalmente, los proveedores de sistemas de sensores pueden suministrar estas herramientas de diagnóstico de instrumentos. Algunos proveedores pueden personalizar las herramientas de acuerdo con sus necesidades específicas de gestión del rendimiento.

## PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tanto para el monitoreo fijo como para el móvil, deberá realizar los procedimientos de calibración y mantenimiento adecuados para cada instrumento.

Siga las mejores prácticas descritas por el fabricante en el manual del instrumento. Los diferentes sistemas de monitoreo requieren diferentes grados y frecuencias de calibración y mantenimiento, algunos de ellos involucran enviar expertos con equipos especializados. Si su contratista ha aceptado diseñar, instalar y gestionar su(s) sistema(s) de instrumentos, solicite un plan detallado para realizar y documentar la calibración y el mantenimiento como parte del contrato.

En nuestros proyectos de monitoreo, descubrimos que un técnico de servicio de campo local, nos ahorra horas y dolores de cabeza al detectar y resolver problemas en los instrumentos lo más rápido posible.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de un procedimiento operativo estándar (SOP por sus siglas en inglés) para una plataforma de monitoreo móvil:

 [SOP de O&M de instrumentos móviles de bajo costo](#)

 [SOP de O&M de instrumento de monitoreo móvil de Breathe London](#)

## Procedimiento de calibración de la plataforma Breathe London “Gold”

La red de monitoreo fija de Breathe London utiliza pequeños monitores de calidad del aire basados en sensores que son de menor costo (AQMesh). Estos dispositivos no están destinados a proporcionar una precisión equivalente a los métodos de monitoreo de referencia, sino más bien a proporcionar una cobertura más densa a un costo mucho menor que los sistemas de monitoreo existentes. Para garantizar la obtención de datos de alta calidad, estos monitores se colocan junto con los monitores de referencia antes del despliegue inicial.

Además de esta práctica convencional, co-ubicamos cápsulas que contenían sistemas de sensores “patrón” durante 6 meses después del despliegue inicial. Las cápsulas “patrón” son monitores AQMesh estándar que se han ubicado en una o más ubicaciones de monitoreo de referencia, proporcionando evidencia rastreada del desempeño de las cápsulas “patrón”. Una vez que se ha caracterizado la cápsula, sirve como un “estándar de transferencia” o “estándar de oro” y se puede mover junto a una cápsula “candidato” ubicada en la red durante un período de aproximadamente 7 a 14 días.

Después de este período, se analiza hasta qué punto las medidas de las cápsulas candidato concuerdan con la cápsula con “estándar de oro”. Un alto nivel de concordancia sirve como indicador de buen desempeño y se aplican los factores de escala

a la cápsula candidata para alinear sus medidas con las del estándar de oro. Si el nivel de concordancia es bajo, se investiga la candidata y se realizan los ajustes necesarios. El equipo del proyecto también está trabajando para desarrollar un método de calibración de red que permitirá calibrar toda la red de monitores sin una co-ubicación adicional.

Para obtener más información acerca del proceso de garantía de calidad y verificación de datos del proyecto Breathe London, consulte la página de Metodología de su sitio web.

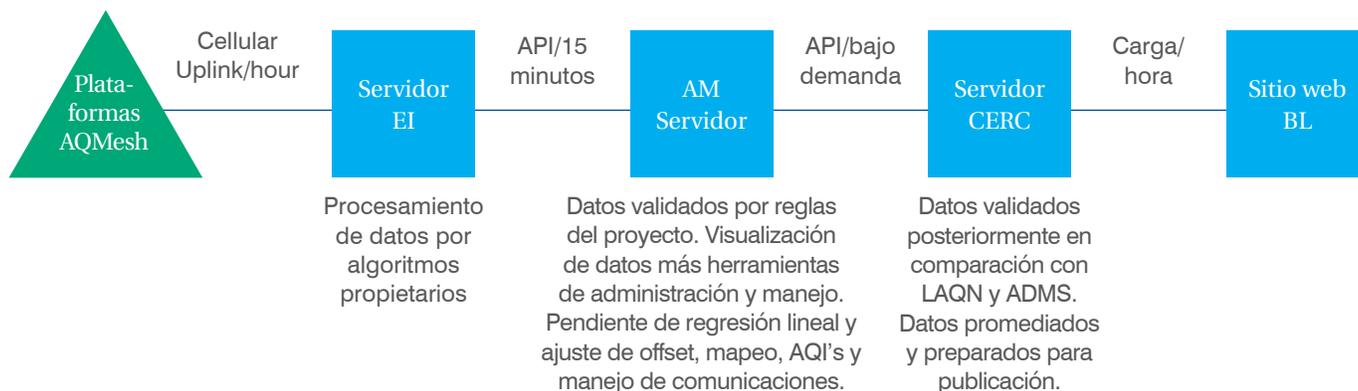


## D. MANEJO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### SISTEMA DE MANEJO DE DATOS

Los recursos para el manejo de datos son de vital importancia. Puede decidir incluir el manejo de datos como parte del paquete de servicios de su proveedor de instrumentos o de un contratista especializado.

A continuación, se muestra un ejemplo de un sistema de almacenamiento y de flujo de datos de nuestro proyecto de red de monitores fijos Breathe London:



Si está creando su propio sistema de manejo de datos, considere trabajar con un experto en datos para diseñar un sistema que garantice una transferencia fluida de sus datos al almacenamiento y su plataforma de datos final.

Algunas consideraciones detalladas y posibles dificultades a tomar en cuenta incluyen:

- Después de que los datos se transmiten desde un instrumento, es posible que se dirijan a un registro a bordo antes de transmitirse al almacenamiento de datos. Si utiliza varios instrumentos, deberá planificar registradores de datos que estén programados con los canales de datos necesarios.
- Si los datos no se transmiten directamente a un servidor, asegúrese de que sus instrumentos tengan suficiente espacio de almacenamiento.
- Es particularmente relevante para las plataformas de monitoreo móvil la elección del mecanismo de adquisición de datos (streaming (transmisión por secuencias) vs. polling (sondeo)). Si su instrumento utiliza un protocolo de streaming, asegúrese de que su registrador de datos tenga una frecuencia de lectura alta en comparación con la frecuencia de muestreo del instrumento, por ejemplo, 100 Hz para mediciones que se transmitan cada segundo.



## TRANSPARENCIA DE LOS DATOS

La divulgación transparente de los datos en su forma más cruda posible y de los métodos de análisis de datos permite descubrir errores o sesgos en los resultados. El proceso de convertir las mediciones de contaminación del aire “crudas” en datos validados, mapas finales y todo lo demás requiere un gran juicio por parte de su equipo. Para maximizar el valor de las inversiones públicas y generar más conocimientos a partir de los datos resultantes, los propietarios de los proyectos deben aprovechar el ingenio de la comunidad científica otorgándoles acceso a todos los datos. Asegúrese de que sus acuerdos de asociación o contratos

le permitan acceso completo a todos los datos procesados y no procesados.

En un esfuerzo por apoyar el acceso abierto a los datos de contaminación del aire, EDF ha desarrollado Air Quality Data Commons (AQDC), una plataforma de datos de código abierto y de acceso abierto que permite a las personas compartir y usar datos FAIR (Findable, Accesible, Interoperable y Reusable/ Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reusables in Spanish) de sensores de calidad del aire de bajo y medio costo mientras se mantiene la privacidad y seguridad necesaria. Los datos de contaminación del aire recopilados por EDF y sus socios estarán disponibles a través de la [plataforma AQDC](#).

## GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es importante establecer procedimientos sólidos de garantía de calidad y control de calidad para limpiar sus datos. Asegúrese de tener un documento que describa claramente sus procedimientos de GC/CC. Esto significa revisar detenidamente cada paso de la recopilación y el procesamiento de datos para identificar y corregir posibles errores. Esto es importante para garantizar que el control de calidad de sus datos sea el adecuado. También garantiza la transparencia al permitir que otros rastreen el camino de sus datos desde su estado crudo hasta el final, lo cual es importante para hacer que los datos sean útiles para la creación de políticas e inspirar la confianza de los responsables de la creación de políticas públicas, los investigadores y el público. Trabaje con expertos en calidad del aire y científicos de datos para asegurarse de que su plan de procesamiento de datos generará el nivel de calidad requerido para sus objetivos de datos.

Los procedimientos de GC/CC variarán dependiendo del instrumento, las especies contaminantes y los requisitos de condiciones operativas. Debido a que no hay dos sistemas de monitoreo iguales (diferentes instrumentos, métodos de monitoreo y diferentes objetivos de monitoreo), los datos de GC/CC serán diferentes de un proyecto a otro. Sin embargo, los procedimientos clave en cuanto a los datos de GC/CC generalmente incluyen:

- Adquisición de datos.
- Chequeos de calidad/parámetros (automatizados y manuales).
- Banderas de sistema (las banderas más comunes incluyen medidas no válidas, datos faltantes, medidas por debajo o por encima del límite de detección, calibración de intervalo o a cero, período de reparación del instrumento).
- Sello de fecha y hora.
- Sello de coordenadas espaciales, si es móvil (compruebe si existe el sello de GPS no encontrado o no válido). Como se

mencionó anteriormente en la Sección B, asegúrese de que cada registro utilice una marca común de tiempo regido por un reloj GPS de grado satelital. Es posible que deba realizar ajustes de tiempo en los datos de acuerdo con el tiempo de inicio de recorrido (cuando el automóvil de monitoreo inicie su recorrido y comience a recopilar datos) y el tiempo de respuesta del sistema de sensores.

- Otras banderas especiales, como condiciones meteorológicas que podrían afectar las mediciones (por ejemplo, niebla o temperaturas extremas y otras anomalías y valores atípicos).

Los procedimientos de GC/CC de datos deben articular claramente cada paso en el que se procesan los datos (es decir, se redactan, se ajustan o se transforman). Para ver un ejemplo, consulte el resumen del proceso de verificación de datos y garantía de calidad del proyecto Breathe London en la página de Metodología del sitio web.

EDF también ha desarrollado un repositorio de códigos para un procesamiento de datos eficiente. Aquí se puede acceder a ejemplos de scripts de código abierto que usamos actualmente.

Posibles dificultades y otros factores importantes:

- Es importante contar con procedimientos de datos de GC/CC claramente articulados al comienzo del proyecto e identificar a la parte responsable de cada paso. Sin un plan de GC/CC efectivo, podría terminar recopilando datos erróneos que deberán descartarse y que no se podrán recuperar.
- El desarrollo de un plan de GC/CC de datos a menudo puede ser iterativo. A medida que se recopilen y revisen los datos, podría ser posible que encuentre errores no capturados previamente y que se requieran procedimientos y banderas adicionales.
- Asegúrese de revisar los datos con la suficiente frecuencia. Los sistemas de datos de GC/CC generalmente tienen componentes automatizados, sin embargo, los chequeos manuales también son sumamente importantes. Asegúrese de que estos se realicen con regularidad.

## Lista de verificación de preparación para la implementación

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Equipo de proyecto reunido; los socios externos han firmado el/los Memorandos de Entendimiento (MOU)   | <input type="checkbox"/> Sistemas de instrumentos probados y verificados en campo a un nivel aceptable  |
| <input type="checkbox"/> Los socios llegan a acuerdos sobre roles, responsabilidades y procesos para tomar decisiones e identificar/resolver problemas; metas del proyecto, objetivos de datos y entregables de datos apropiados establecidos | <input type="checkbox"/> Nuevos monitores co-ubicados con monitores de referencia; los resultados muestran concordancia   |
| <input type="checkbox"/> Financiamiento asegurado   | <input type="checkbox"/> SOP(s) para las operaciones de los instrumentos (incluyendo un recurso de resolución de problemas para los conductores) desarrollados y de fácil acceso para todos los grupos relevantes |
| <input type="checkbox"/> RFP(s) emitidos para el diseño, prueba, instalación y manejo del sistema de monitoreo  | <input type="checkbox"/> Sistema de manejo de datos en marcha   |
| <input type="checkbox"/> Proveedor de instrumentos y/o proveedor de servicios especializado contratado  | <input type="checkbox"/> Protocolo de datos de GC/CC en marcha  |

## Darle sentido a los datos

Al realizar un mapeo de contaminación del aire hiperlocal, ya sea que implemente una red de monitoreo grande, densa y fija o que mida la contaminación con plataformas móviles, estará manejando una gran cantidad de datos. La red de sensores de carbono negro 100x100 desplegada en West Oakland recopiló más de 20 millones de líneas de datos de 1 minuto en el transcurso de 100 días. El proyecto de monitoreo móvil de Houston generó casi 33 millones de puntos válidos de datos de contaminantes en el transcurso de nueve meses. El procesamiento de estos grandes conjuntos de datos implica, principalmente, la agrupación y la reducción de datos utilizando algoritmos especializados. Luego, se lleva a cabo un análisis de datos para identificar tendencias espacio-temporales detalladas o se analiza cómo es que los niveles de contaminación del aire varían en el espacio y el tiempo.

### Los expertos y roles esenciales para analizar datos de contaminación del aire hiperlocal incluyen:



#### Científicos de datos, analistas y/o modeladores

que idealmente se especializan en datos ambientales. Estos son profesionales con la capacidad de analizar y sintetizar grandes cantidades de datos por medio del uso de varios programas. Se recomienda que trabaje con científicos/analistas/modeladores de datos que sean competentes en el análisis geoespacial ya que el componente geográfico o de ubicación es clave en el mapeo de la contaminación del aire hiperlocal.



#### Expertos en contaminación del aire o científicos

que brinden asesoramiento experto para guiar el análisis. Estos expertos y científicos con conocimiento profundo de la contaminación del aire pueden asesorarlo acerca de los factores clave para analizar los datos de la contaminación, como por ejemplo, el impacto de la meteorología, la dirección del viento, la dispersión del aire, etc. A menudo, son científicos en el campo de la ingeniería ambiental, la química atmosférica, la física atmosférica o el transporte de la contaminación del aire.



#### Individuos con conocimientos locales acerca de las fuentes y preocupaciones referentes a la calidad del aire

tales como, colaboradores de la comunidad local, líderes y residentes comunitarios o investigadores con conocimiento profundo acerca de las preocupaciones sobre la calidad del aire en un área en particular. Los conocimientos locales son extremadamente valiosos para informar la interpretación de los datos.



## ANÁLISIS DE DATOS DE MONITOREO FIJO

Para que los usuarios finales entiendan la gran cantidad de datos, el equipo debe agrupar y presentar mediciones individuales de maneras significativas. Por ejemplo, el equipo de Breathe London agrupó mediciones de NO<sub>2</sub> de un minuto a concentraciones promedio por hora que aparecen en el [mapa de calidad del aire](#) de Breathe London.

De manera similar, el equipo 100x100 agrupó millones de mediciones de 1 minuto de los sensores de carbono negro en concentraciones promedio de carbono negro por hora. Esto dio como resultado que cada uno de los 100 sitios de muestreo tuviera 2400 horas de datos (24 horas x 100 días).<sup>9</sup> El equipo compiló el conjunto de datos en una herramienta de [visualización](#) que permite explorar y analizar las concentraciones de carbono negro en diferentes periodos de tiempo.<sup>10</sup> Los datos se analizaron para mostrar los niveles promedio de carbono negro por hora en cada sitio de monitoreo durante el periodo de la campaña o para ver los niveles de carbono negro en un día determinado de la semana o para comparar los niveles en un día de la semana con los del fin de semana. Los resultados, integrados en la herramienta de visualización, permiten a los usuarios consultar el conjunto de datos para revelar diferentes patrones espaciales y temporales de contaminación del aire.

## ANÁLISIS DE DATOS DE MONITOREO MÓVIL

Para convertir millones de puntos de datos recopilados durante varios meses de monitoreo móvil en un mapa completo de contaminación del aire se requiere un análisis profundo y sólido. A continuación, describimos los pasos básicos que le permitirán realizar el tipo de análisis que EDF y sus socios han utilizado en sus esfuerzos de monitoreo móvil hiperlocal. Este enfoque analítico se basa en un cuerpo de investigación previo.<sup>11</sup>

El análisis generalmente se puede dividir en cuatro partes principales:

1. **Geolocalización:** El proceso de asignar cada medición de contaminación del aire a segmentos uniformes del camino (“cuadrícula”). Los tramos de camino deben tener una longitud uniforme para permitir que exista una misma base comparativa entre segmentos. La longitud de los tramos de camino se basa en lo que es adecuado para la velocidad de los vehículos de monitoreo y el tiempo de respuesta de los instrumentos. En última instancia, el nivel de resolución espacial (es decir, qué tan granular puede generar un mapa) dependerá del tiempo de respuesta de los instrumentos.
2. **Evaluar la cobertura:** Una vez que haya asignado sus medidas de contaminación del aire a las cuadrículas/segmentos de caminos, cuéntelas. Quiere maximizar la cobertura, es decir, el número de recorridos en auto sobre cualquier segmento de camino que su presupuesto permita. Cada medición representa una fotografía instantánea en el tiempo y querrá tantos recorridos vehiculares en diferentes condiciones (clima, niveles de contaminación de fondo, etc.) como sea

posible para poder obtener un promedio representativo. El número de recorridos (o mediciones de contaminación del aire) que logre en sus segmentos de cuadrícula/camino determinará el nivel de incertidumbre de su conjunto de datos. Mientras mayor sea el número de recorridos, los efectos causados por eventos anómalos se suavizarán, dando como resultado un conjunto de datos más representativo.

3. **Encontrar la “tendencia central”:** Implica un análisis estadístico para establecer un valor de medición que represente adecuadamente la concentración de la contaminación durante un período de tiempo más largo (por ejemplo, una campaña de monitoreo anual o que abarque varios meses). Coloquialmente, podría pensar en ello como una concentración promedio constante o promedio de contaminación del aire a largo plazo en un segmento específico de la cuadrícula/camino. Las opciones para representar la tendencia central incluyen un promedio, un punto medio (una mediana) o el punto medio de muchos resultados que ocurrieron juntos. Por ejemplo, en Oakland, las plataformas de monitoreo móvil recolectaron alrededor de 200 observaciones únicas para cada segmento de camino de 30 metros. Los mapas de contaminación se generaron calculando primero la concentración promedio dentro de cada segmento de camino de 30 metros durante cada recorrido de manejo y luego calculando la mediana de los promedios en múltiples recorridos de manejo para ese segmento de 30 metros. Este algoritmo reduce la influencia de las muestras extremas individuales si, por ejemplo, un automóvil de monitoreo conducía detrás de un camión durante el recorrido sobre una calle.<sup>12</sup>
4. **Identificación de puntos críticos:** Los puntos críticos son áreas donde los valores de tendencia central son elevados en comparación con un valor de referencia. Se pueden definir de múltiples formas y dependerán de los conocimientos o acciones para los que se destinen los datos. Por ejemplo, es posible que desee identificar las áreas en el mapa donde las concentraciones de contaminación tienden a estar por encima de cierto umbral. Puede comparar los valores de tendencia central (por ejemplo, la concentración media de carbono negro en un punto) con un nivel de concentración de referencia elegido. Generalmente, esto se hace como una fracción, con la tendencia central como numerador y la línea de base relevante como denominador, buscando aquellas ubicaciones con fracciones mayores que uno. Los equipos pueden usar un vecindario, un área definida o un nivel de contaminación promedio en toda la ciudad como línea de base. Por ejemplo, en nuestro trabajo inicial en Oakland, se definieron los puntos críticos como ubicaciones donde las concentraciones de múltiples contaminantes excedían los niveles ambientales cercanos en un 50% o más.<sup>13</sup> Para que un punto se considere como elevado, la incertidumbre en torno al valor de tendencia central no debe tener una superposición sustancial con respecto a la incertidumbre en torno al valor de línea base o de referencia.



## Análisis de datos de monitoreo móvil hiperlocal: Una metodología en evolución

En proyectos de monitoreo móvil como los que hemos llevado a cabo en Oakland, Houston y Londres, generamos una gran cantidad de datos. Por ejemplo, en Oakland, los autos de monitoreo recorrieron más de 14,000 millas de caminos durante más de 150 días, recopilando datos cada segundo. Esto generó más de 3 millones de puntos de datos. Como se mencionó anteriormente, utilizamos la ciencia de datos para mapear cada punto de datos de forma individual, representando un segundo de observaciones de la contaminación en una ubicación específica, que corresponder a un segmento de camino de 30 metros. Este algoritmo nos permitió convertir millones de puntos de datos en un mapa como el que se muestra a continuación. El método analítico inicial utilizado en Oakland se publicó en un artículo revisado de 2017.<sup>14</sup> Podrá encontrar un resumen de esta metodología en el [sitio web](#) de EDF.

En Houston, nuestro equipo actualizó el algoritmo para calcular y reflejar con mayor precisión la distancia real que recorre un automóvil entre las mediciones, mientras que anteriormente habíamos utilizado distancias de 30 metros en el proyecto de Oakland que se basaba en la velocidad promedio del automóvil y el tiempo de respuesta del instrumento. Este método mejorado refleja mejor las condiciones del mundo real en las que se recopilan los datos. La metodología continúa evolucionando con nuestro trabajo en Breathe London para permitir una mejor caracterización de la tendencia central y la identificación de puntos críticos.

Si bien la cuestión del análisis parece compleja, las ciudades pueden abordarlo trabajando con los expertos y técnicos calificados pertinentes. EDF y otros están creando cada vez más algoritmos y software necesario para que el trabajo sea de código abierto y esté disponible oportunamente. Los algoritmos utilizados en nuestro trabajo en Houston y Londres se pueden encontrar en los siguientes [repositorios de Github](#).

Más allá de mapear los patrones de contaminación del aire e identificar los puntos críticos, estamos explorando nuevas formas de vincular los datos hiperlocales con una comprensión más profunda de las fuentes de emisión y los efectos en la salud que permitirán que las personas y los responsables de la creación de políticas públicas tomen acciones para reducir los impactos adversos.

Estamos desarrollando métodos para cuantificar y mapear las amenazas a la salud y los impactos de la contaminación del aire a una escala hiperlocal.

La tecnología de sensores está visibilizando la variación de la contaminación del aire en las ciudades. Pero las poblaciones y las amenazas a la salud no se distribuyen uniformemente en las áreas urbanas. Los riesgos e impactos de la contaminación del aire pueden no seguir el mismo patrón que el de las concentraciones de contaminantes del aire por sí solas ya que factores como la demografía y el estado de salud que afectan la sensibilidad a la contaminación del aire también varía entre las ciudades.

Al combinar información sobre la contaminación del aire hiperlocal con el conocimiento del impacto que estos contaminantes tienen en la salud, la distribución de la población y la variación en el riesgo y la susceptibilidad a enfermedades dentro de una ciudad, podemos cuantificar y mapear los riesgos e impactos de la contaminación del aire dentro y entre vecindarios.

En el futuro, incorporaremos información sobre caracterizaciones de fuentes para desarrollar estimaciones de las contribuciones de diferentes fuentes a los riesgos e impactos de la contaminación del aire en las comunidades. Los responsables de la toma de decisiones pueden utilizar este análisis de impacto en la salud para comprender mejor los lugares y las poblaciones más afectadas para orientar eficazmente las acciones de mitigación.

## CASOS DE ESTUDIO: DISTRIBUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NO<sub>2</sub> E IMPACTOS Y RIESGOS DE MORTALIDAD ASOCIADOS EN VECINDARIOS DE OAKLAND, CALIFORNIA

EDF ha medido y mapeado intensamente la contaminación del aire en el oeste y el centro de Oakland. Se sabe que el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), un contaminante relacionado con el tráfico, causa varios efectos adversos en la salud y aumenta el riesgo de muerte prematura.

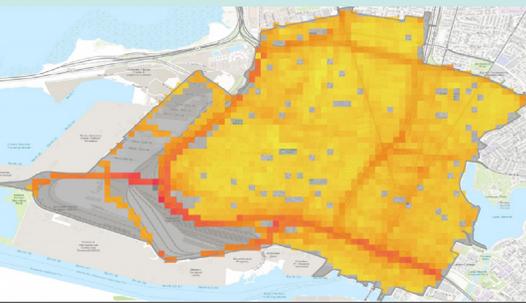
Los resultados preliminares de nuestro estudio de impacto en la salud en esta comunidad indican que el NO<sub>2</sub> contribuye a casi 1 de cada 20 muertes prematuras (fracción atribuible: 4.86%) en áreas con concentraciones más altas de contaminantes en comparación con <1 de cada 100 muertes (fracción atribuible: 0.83%) en las áreas con las concentraciones más bajas. Sin embargo, las tasas de mortalidad de referencia varían de un lugar a otro debido a otros factores (como pobreza, raza, nutrición y salud).

Utilizando las tasas de mortalidad del Departamento de Salud Pública del Condado de Alameda, a escala de grupo por bloque censal, encontramos que la distribución del impacto del NO<sub>2</sub>, en términos de *exceso de riesgo de mortalidad* atribuible, era diferente del patrón observado solo para los contaminantes y las disparidades en el riesgo eran notables. El área con el riesgo más elevado (11.7 muertes por cada 10,000 personas), cerca de la intersección de las autopistas I880 y I980, tenía un riesgo veinte veces mayor que el área de menor riesgo (0.5 muertes por cada 10,000 personas). Esto se muestra a continuación en el Panel B.

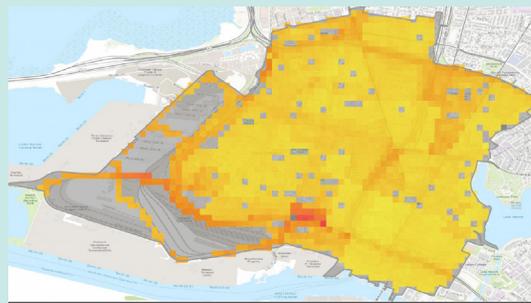
Finalmente, incorporando los datos de población y edad y agrupando los resultados a nivel de grupo del bloques censales, pudimos identificar dónde se experimentan los mayores impactos en la mortalidad de adultos (>25 años) por contaminación del aire por NO<sub>2</sub> (Panel C.). Esta metodología refleja los riesgos acumulativos de contaminación del aire en poblaciones vulnerables. Sin incorporar información sobre los riesgos de mortalidad de referencia y la distribución de la población, los tomadores de decisiones pueden pasar por alto áreas importantes de poblaciones en riesgo, así como las áreas más impactadas, donde el retorno de las inversiones para mitigar la contaminación del aire puede ser más alto.

## WEST OAKLAND: MORTALIDAD PREMATURA ATRIBUIBLE A NO<sub>2</sub>

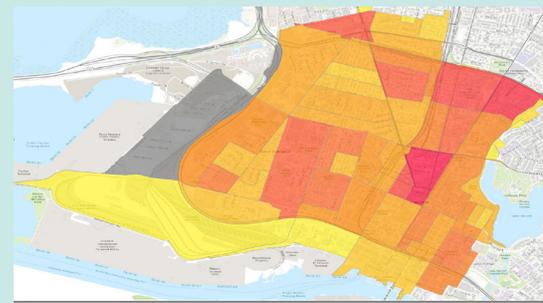
Área geográfica: 15 km<sup>2</sup>



Fracción atribuible (%)



Riesgo de mortalidad por cada 10,000 personas



Contar (n) casos por grupo de bloques censales



A. Fracción de muertes prematuras atribuibles a la exposición al NO<sub>2</sub>

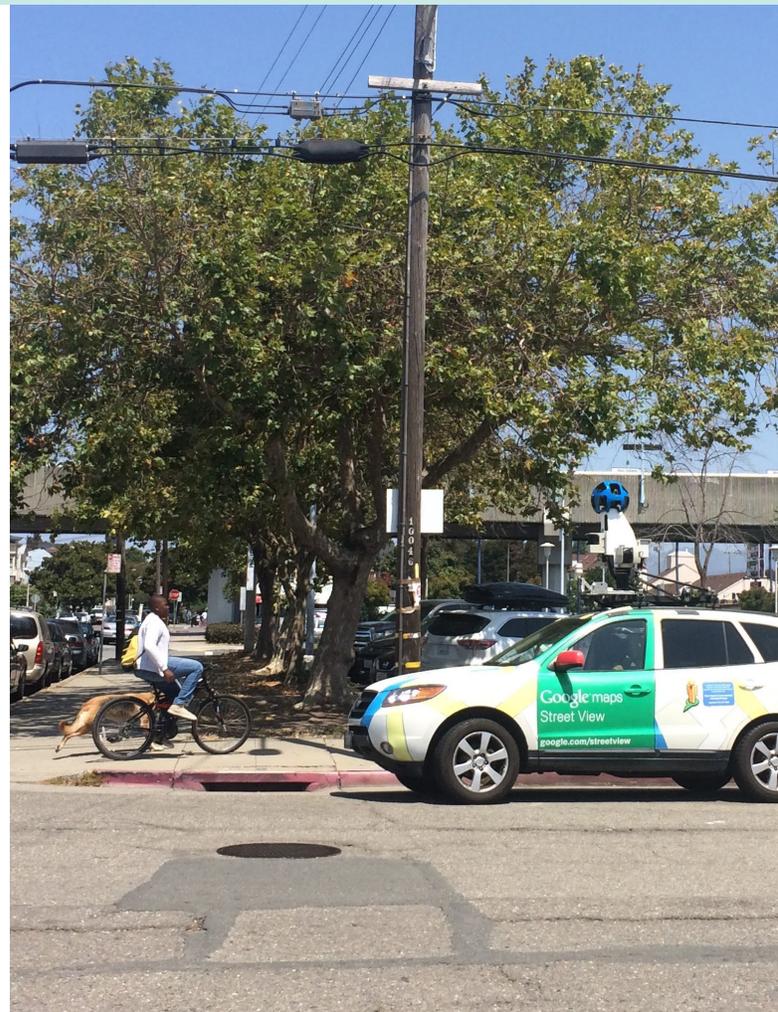
B. Exceso de riesgo de mortalidad atribuible a la exposición al NO<sub>2</sub>

C. Muertes prematuras por año atribuibles a la exposición al NO<sub>2</sub>

### ENTENDIENDO LA ATRIBUCIÓN DE FUENTES

Estamos desarrollando y probando métodos que se puedan utilizar para identificar fuentes de contaminación del aire medida mediante técnicas innovadoras e hiperlocales. Nuestros socios utilizarán modelos meteorológicos para generar “huellas” que describan la ruta más probable que recorrió el aire en su camino para ser medido por los instrumentos. Las fuentes locales que contribuyen a los niveles elevados de contaminación probablemente se encuentren dentro de estas huellas. Debido a las incertidumbres referentes a la velocidad del viento, la dirección del viento y la turbulencia o mezcla atmosférica causadas por el viento y el calor, estas huellas se asemejan a trozos de pastel que se expanden a lo ancho (aumentando la incertidumbre) a medida que retrocedemos en el tiempo desde el momento de la medición.

Sin embargo, con muchos puntos de datos, medidos en muchas ubicaciones en días con diferentes patrones climáticos, podemos reducir las relaciones modeladas entre la contaminación medida y las fuentes probables superponiendo estas huellas para identificar patrones repetidos. Además, también estamos liderando trabajo para entender la forma en la que los modelos meteorológicos pueden hacer que las huellas sean más estrechas para reducir posiblemente el número de medidas que se necesitan para identificar las fuentes.



# PART 03: DE LOS DATOS A LA ACCIÓN



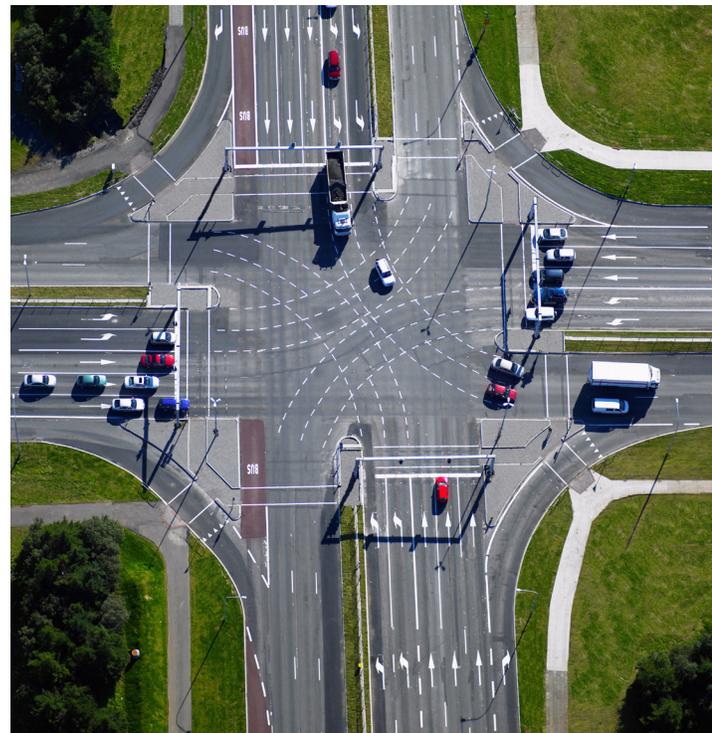
## Usar datos de la contaminación del aire para implementar soluciones de aire limpio

Una vez que su equipo sepa que los datos son precisos y minuciosos y una vez que visualice e interprete los resultados, podrá presentar los hechos y elaborar argumentos para crear nuevas políticas. Por un lado, los mapas pueden incentivar a la gente a involucrarse y a tomar acción. Por el otro, el contenido sin contexto podría hacer que la gente pierda sensibilidad ante el problema al hacerlos creer que se trata de otra amenaza que no pueden resolver. Cualquiera que entregue o exponga mapas hiperlocales debería tener un plan para continuar con el diálogo una vez que se han mostrado los mapas para explicar los resultados y responder las preguntas de aquellos miembros de la comunidad que quieran hacer uso de los datos para tomar decisiones acerca de posibles acciones para reducir la contaminación. [Este recurso](#) destaca muchas maneras en las que ciudadanos científicos están utilizando los datos de la contaminación para sustentar a la causa y las propuestas que se generan.

Una vez que haya puesto en marcha la red de monitoreo y haya asegurado un flujo confiable de datos de calidad, recuerde que manejar el riesgo y trabajar de cerca con los actores involucrados para definir cambios en las políticas involucra a muchos interlocutores y puede tomar tiempo. Las políticas de reducción de la contaminación con alto impacto pueden tardar años en implementarse, incluso podría ser mucho después de que cree su red de monitoreo y comience a trabajar con las comunidades. Por lo tanto, es necesario obtener fondos y personal que lo sustenten durante varios años para mantener el impulso hacia la reducción significativa de la contaminación del aire.

El poder del mapeo hiperlocal se sentirá en su comunidad cuando una política o acción se base en los datos que recopiló. Esto puede ocurrir a lo largo de muchos caminos, cada uno de los cuales se describe a continuación y se trazan hacia las posibles políticas y acciones que enumeramos en la Parte 1. Los datos también pueden sustentar cambios a largo plazo en el funcionamiento de su ciudad. Cerraremos nuestra guía con un recorrido por algunos de esos cambios.

- Investigación y aplicación de la ley en fábricas u otras fuentes de contaminación fijas
- Intervenciones de emergencia de salud pública, como evacuaciones, refugio *in situ* o campañas de información pública
- Planificación del transporte (a largo plazo)
- Manejo del tráfico (a corto plazo)
- Zonificación, permisos, códigos de construcción y uso de suelo
- Orientación de inversiones e incentivos para proyectos de reducción de emisiones, como autobuses eléctricos o adaptaciones de edificios



## Tablero de control de calidad del aire

Muchos líderes locales ya están investigando y aplicando la ley con base en la autoridad existente, pero creen que podrían ser más eficientes y efectivos. En Houston, trabajamos con Rice University para desarrollar un tablero para que la ciudad pueda orientar mejor sus investigaciones utilizando los datos recopilados por los vehículos municipales que conducen a través de sus rutas regulares. [Haga clic aquí](#) para ver un caso de estudio acerca del panel de investigación de Houston.



## Intervenciones de emergencia de salud pública

Si desea coordinar el trabajo entre los funcionarios de salud pública después de un desastre natural, revise cómo ayudamos a Houston a identificar niveles elevados de benceno después del huracán Harvey con este [caso de estudio](#). Como resultado, nuestro equipo está trabajando con Rice University y la ciudad de Houston para construir una plataforma en línea que alertará a los funcionarios de la ciudad de los niveles peligrosos de contaminación antes de que se conviertan en un problema de salud pública.

## PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE Y GESTIÓN DEL TRÁFICO

Mucha gente alrededor del mundo piensa cada vez más que un vehículo personal es un problema más que un derecho. Están dispuestos a considerar la movilidad como un servicio, más que como un bien activo. Los inversores apostaron \$40 mil millones en capital de riesgo entre 2016 y 2018 para destinarlo a este cambio. China tiene más de 400,000 autobuses eléctricos en funcionamiento. Columbus, Ohio ganó un financiamiento de 50 millones de dólares para ofrecer a otras ciudades sus enseñanzas acerca transporte “desintoxicante”. Aunque las emisiones del transporte continúan creciendo, esto también está cambiando. Este cambio se debe en parte a las políticas impulsadas por las ciudades. Los vehículos comerciales en Europa pronto tendrán que lidiar con zonas de acceso urbano de cero emisiones. Muchas ciudades alrededor del mundo están adoptando el objetivos de contar con “calles libres de combustibles fósiles” de la red de ciudades C40. Su objetivo es que las ciudades adquieran automóviles de cero emisiones y eliminen aquellos que contaminan dentro de una estrategia de “planificación amigable con las personas”.

Ya existen métodos basados en datos para la planificación del tráfico y el transporte:

- El Environmental Insights Explorer de Google combina las entradas de los mapas de Google con una herramienta llamada CURB para ayudar a estimar las toneladas totales de carbono producidas al año por las emisiones de los edificios y el transporte de una ciudad.
- La herramienta Joaquin Decision Support Tool, surgida de una iniciativa en la Comunidad Europea, ayuda a los tomadores de decisiones y al personal a elegir las medidas más adecuadas para mejorar las políticas de tráfico en cuanto a la calidad del aire local. Esta herramienta organiza las medidas de mitigación en varias categorías y puntúa cada una en función de una combinación de revisiones de la literatura, casos de estudio y otras entradas.

Con estas herramientas, puede explorar mejoras en las estimaciones de referencia cambiando variables como el total de kilómetros recorridas en automóvil, autobús, bicicleta, a pie, en tren, en metro, la eficiencia promedio del vehículo y las emisiones por tipo de vehículo.

Estas herramientas y los artículos y lineamientos de salud, aunque se basan en ciencia sólida, carecen de los datos hiperlocales que los defensores del aire limpio a menudo necesitan para promover nuevas políticas en sus ciudades. Los conocimientos hiperlocales ofrecen la oportunidad de identificar los riesgos y peligros causados por la contaminación donde las personas viven, trabajan y juegan. Esto les da a los defensores un punto de convergencia para construir una base de apoyo y les da a los formuladores de políticas la capacidad de desarrollar intervenciones de tráfico y transporte específicas

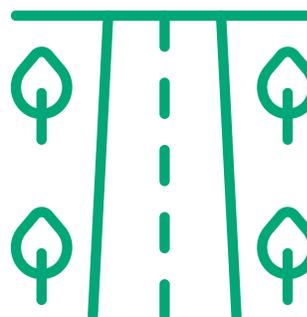
para maximizar los beneficios y minimizar el costo de la acción. Por ejemplo, este caso de estudio ilustra la forma en la que los defensores de la comunidad utilizaron datos hiperlocales de nuestro proyecto en Oakland para influir en la decisión de planificación del tráfico local.

## ZONIFICACIÓN, PERMISOS, CÓDIGOS DE CONSTRUCCIÓN Y USO DE SUELO

Al destacar los peligros inmediatos y a largo plazo de la contaminación, los gobiernos de las ciudades pueden formular argumentos para cambiar el uso de suelo o la zonificación. Algunas innovaciones en los últimos años incluyen:

- **Zonas peatonales o zonas libres de autos.** Con esto, los funcionarios designan áreas de una ciudad o pueblo para el uso exclusivo de personas que andan a pie o en bicicleta y pueden prohibir la circulación de todos los vehículos. Algunos expertos sostienen que estas políticas alejan a los funcionarios de transporte de priorizar el tráfico y los lleva a poner como prioridad a las personas. Otros defensores buscan cambios similares instando a las ciudades a poner fin al estacionamiento gratuito.
- **Requisitos de construcción limpia.** Los datos hiperlocales que muestran puntos críticos o elevaciones en momentos particulares pueden fortalecer el apoyo a las iniciativas de construcción limpia. Este enfoque, que ha impulsado la legislación en Pittsburgh, implica exigir equipos de mitigación y bajas emisiones en todos los proyectos de construcción nuevos.
- **Zonificación y permisos en comunidades de justicia ambiental.** Las comunidades de bajos ingresos y las comunidades de color experimentan una carga desproporcionada ocasionada por los patrones de uso de suelo y los impactos asociados a las industrias contaminantes. Con datos hiperlocales, puede diseñar cambios a largo plazo que disminuyan este desequilibrio. Este escaneo nacional compila 40 políticas de más de 20 ciudades en Estados Unidos. Incluye seis tipos de políticas, desde prohibiciones de ciertos tipos de instalaciones contaminantes hasta nuevos procesos de revisión ambiental, planificación proactiva y nuevos códigos de salud.

Todas estas políticas podrían ser más atractivas y más efectivas si se basaran en información sobre la calidad del aire a nivel hiperlocal.



## BUSCAR INVERSIÓN E INCENTIVOS

A medida que las autoridades públicas exploren el valor de los datos hiperlocales de contaminación del aire, podrán trabajar con las comunidades para utilizar los datos para orientar los fondos hacia esfuerzos que mejoren la calidad del aire. Por ejemplo, AB617 en California da la bienvenida a datos de contaminación del aire altamente granulares. Los legisladores redactaron el proyecto de ley para ordenar a las agencias del aire que consideraran los datos localizados cuando inviertan en esfuerzos comunitarios de mitigación de la contaminación del aire. Dado que los líderes prestan una atención más inteligente a las preocupaciones ambientales en todo el mundo, la información sobre el aire hiperlocal podría aumentar la eficacia de las inversiones públicas al garantizar que los fondos se destinen a los vecindarios con la mayor carga de contaminación del aire.

Los programas de inversión que podrían crear un mayor impacto mediante el uso de información sobre la contaminación del aire hiperlocal incluyen:

- **Fondos de reemplazo de vehículos:** En Estados Unidos, los fondos de la Ley de Reducción de Emisiones de Diésel y los fondos del Acuerdo de Volkswagen actualmente ayudan a pagar las mejoras de transporte. Las ciudades podrían proporcionar datos para ayudar en la selección de proyectos.
- **Bienes activos de la ciudad:** Las ciudades son propietarias y administradoras de flotas de vehículos y edificios. Las

inversiones en mejoras como la adquisición de vehículos eléctricos pueden implementarse en puntos críticos de contaminación del aire primero.

- **Bienes activos privados:** El sector privado invierte constantemente en vehículos nuevos, material de construcción y otras posibles fuentes de contaminación. Muchos líderes del sector privado se han comprometido con los objetivos climáticos, pero aún les hace falta crear planes de implementación. Las ciudades podrían proporcionar datos y presionar al sector privado para alentarlos a orientar sus inversiones destinadas a abordar el problema climático para procurar los mayores beneficios climáticos y de salud.
- **Incentivos para la construcción:** Estos pueden incluir incentivos para reemplazar estufas u hornos de leña y fondos de modernización o eficiencia energética dentro de las ciudades o en áreas más amplias.
- **Bancos verdes y fondos de impacto públicos y privados:** Los inversores y asesores de inversiones pueden utilizar datos hiperlocales para priorizar proyectos en barrios con estrés atmosférico.
- **Eficiencia energética para la combustión industrial:** El Banco Mundial gestiona préstamos para fábricas más limpias u otros contaminantes potenciales. Las ciudades pueden proporcionar información hiperlocal para priorizar determinadas áreas.
- **Devolución de impuestos y depreciación más rápida:** Pueden dirigirse a monitores y equipos relacionados.



Mientras las autoridades públicas exploran el valor de los datos de contaminación del aire hiperlocal, puede ir trabajando con las comunidades para utilizar los datos para dirigir los fondos hacia esfuerzos de mejora de la calidad del aire.



## Crear conciencia y fomentar la participación y el apoyo de la comunidad

Establecer una red de monitoreo de la contaminación del aire puede ser un primer paso para caracterizar o identificar los problemas de contaminación del aire en su ciudad. Establecer las metas a largo plazo que describimos en la Parte 1.1 puede transformar los problemas en oportunidades. Para mantener el compromiso de su ciudad con la reducción de la contaminación, debe mantener un sentido de urgencia. Considere estos escenarios para aplicar los datos que recopiló y las colaboraciones que creó. Las tácticas para crear y preservar un sentido de urgencia varían según las condiciones. En algunas ocasiones, las personas saben que la situación es grave y requiere atención inmediata; solo necesitan los datos para respaldar la acción política. En otras, la contaminación del aire aún no se ha registrado como un problema crítico para la mayoría de las personas, por lo que cuantificar el problema de contaminación o proporcionar pruebas puede inspirar a su ciudad a generar capital a largo plazo para nueva infraestructura y proyectos.

### Donde la gente sabe que necesita reducir la contaminación del aire

En algunas ciudades, la contaminación ya es una preocupación principal, con muchas organizaciones de base bien establecidas que ya trabajan para mejorar la calidad del aire. Si ese es el caso en su área, trabajar junto con los grupos comunitarios existentes desde el momento en que diseña su red de monitoreo de la contaminación del aire hasta que esté listo para comunicar sus resultados será esencial para garantizar el éxito a largo plazo.



#### PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

A través de nuestro trabajo en West Oakland, EDF aprendió sobre la importancia de un compromiso sólido con los líderes y los residentes de la comunidad (quienes se ven directamente afectados por el aire sucio) al crear soluciones de aire limpio bien pensadas, sensibles y de gran impacto. Este caso de estudio analiza las estrategias para una asociación efectiva con grupos comunitarios y los enfoques para comunicar y aprovechar los datos de contaminación del aire de alta resolución para informar las acciones de mitigación por parte de los miembros de la comunidad.

También hay muchos recursos existentes que brindan orientación sobre cómo realizar un monitoreo del aire dirigido por la comunidad o por los ciudadanos, así como sobre cómo involucrar de manera efectiva a los miembros de la comunidad. Esta guía no pretende ser un manual exhaustivo de las mejores prácticas de participación comunitaria y recomendamos revisar las siguientes guías antes de diseñar una red de contaminación del aire:

- [California Air Resources Board Community Air Protection Program Resource Center and Blueprint](#)
- [Guidebook for Developing a Community Air Monitoring Network by the Imperial County Community Air Monitoring Project](#)

- [Citizen Science Toolkit](#)
- [THE Impact Project: Making a Case for Change](#)

Los residentes y dueños de negocios pueden estar bien dispuestos a participar en sus proyectos si se solicita su consejo en las primeras etapas. Asimismo, es importante que comparta sus resultados con ellos, en conjunto con grupos comunitarios establecidos, antes de comunicarlos a la comunidad en general. Esto consolidará un mayor sentido de confianza y ayudará a impulsar la acción.

## Cuando la contaminación del aire es un problema menos prioritario

Sin embargo, en algunas ciudades, la amenaza de la contaminación del aire no es una prioridad. En esos casos, educar a los residentes acerca del riesgo de contaminación del aire es esencial para hacer que el tema sea personalmente relevante y, al mismo tiempo, manejar el estrés potencial, la sensación de impotencia o la falta de control que puede venir con el conocimiento de la contaminación ambiental. Las ciudades están bien situadas para desempeñar un papel de liderazgo en la generación de conciencia y la organización de las partes interesadas para tomar acción para abordar el problema de la contaminación del aire.

Para iniciar este proceso, una estrategia que puede adoptar al principio del compromiso es mapear los activos de su ciudad. Los [mapas de activos](#) se utilizan comúnmente para conceptualizar los recursos en una comunidad, como las capacidades del talento local, el alcance de las organizaciones comunitarias y las instituciones académicas, así como las fuentes de asistencia financiera y de apoyo técnico. A partir de esta evaluación inicial, tendrá una idea de qué organizaciones locales existen que puedan tener el ancho de banda necesario para abordar problemas ambientales difíciles y podrá evaluar el valor de formar asociaciones a largo plazo con estas organizaciones.

Establecer asociaciones a largo plazo con organizaciones comunitarias también es fundamental para su ciudad con el fin de construir lazos de confianza y crear conciencia en las comunidades. Trabajar en estrecha colaboración con las organizaciones comunitarias es esencial para ayudar a superar una falta común de confianza en los organismos gubernamentales, gran parte de la cual tiene sus raíces en injusticias sistémicas. La mayoría de las organizaciones de

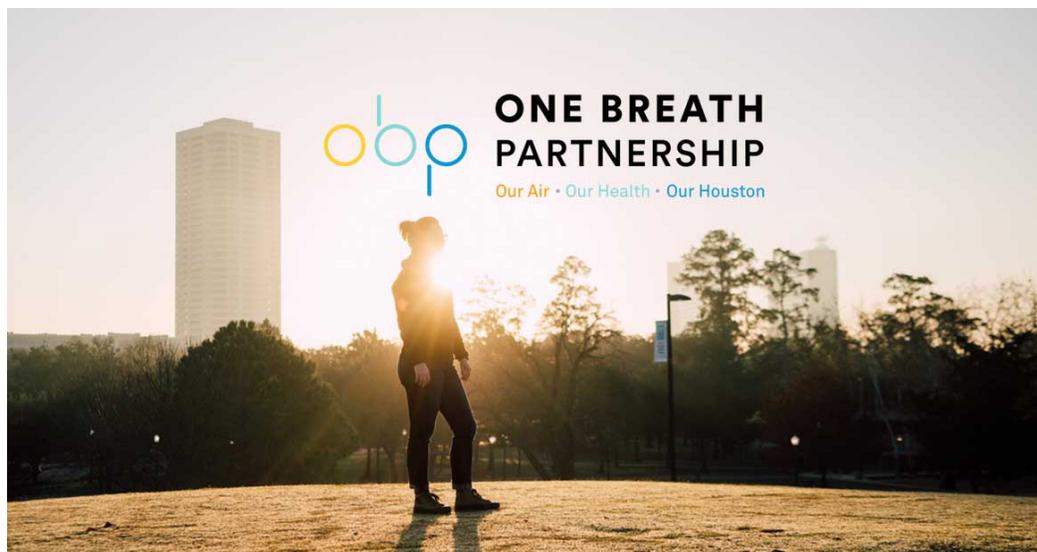
base comunitaria son culturalmente competentes y tienen personal diverso que ayuda a desarrollar una buena relación en las comunidades de primera línea; también a menudo han servido a las comunidades durante décadas y siglos, lo que ayuda a establecer conexiones íntimas en el campo. Como parte del proceso de construcción de relaciones y confianza, puede considerar la redacción de un acuerdo de asociación, basado en principios sólidos de participación comunitaria para definir una visión y objetivos compartidos para un proyecto y para aclarar cuáles serán los roles de cada organización.

La participación de EDF con [One Breath Partnership](#) es ejemplo de una iniciativa de colaboración que aprovecha los esfuerzos de múltiples organizaciones en el área de Houston para ampliar el trabajo de los científicos, investigadores, académicos y médicos locales con el fin de educar a los miembros de la comunidad respecto al impacto de la calidad del aire en su salud. La asociación también proporciona una salida para que los residentes compartan sus propias historias sobre los efectos dañinos de la contaminación del aire y aboguen por soluciones.

Desde principios de 2017, la asociación ha sido el catalizador de más de 5,500

noticias sobre la calidad del aire de Houston, aproximadamente siete noticias al día. La mayor atención de los medios ha presionado al gobierno en todos sus niveles para que actúe. Por ejemplo, las agencias de Texas y del Condado de Harris están buscando fondos adicionales para el equipo y el personal de monitoreo de la calidad del aire, mientras que la Oficina del Procurador General está intensificando las acciones de aplicación de la ley a contaminadores corporativos.

Usted tiene la oportunidad de educar a los residentes a través de distintos medios, desde talleres de visualización de datos hasta campañas de medios y anuncios publicitarios. La ciencia ciudadana o la participación directa del público en la recopilación, análisis e interpretación de datos científicos también ha demostrado ser eficaz para traducir los resultados en acción y promover soluciones locales de aire limpio. Varios [casos de estudio](#) basados en principios de participación comunitaria se han trasladado con éxito desde la recopilación de datos hacia la aplicación de políticas y soluciones que aborden la contaminación del aire. Estas y [otras estrategias](#) se sienten menos técnicas que una guía sobre el diseño u operación de monitores pero le brindan ejemplos para estimular su pensamiento.





## Comunicar sus resultados

Para crear un plan de comunicaciones que muestre sus resultados, primero deberá hacer una serie de preguntas clave:

1. ¿Quién es la audiencia de estos resultados y qué quiero que hagan?
2. ¿Qué tipo de mensajes y comunicaciones los motivará?
3. ¿Qué canales son los más efectivos para llegar a mi público objetivo?
4. ¿Cuándo y en qué momento debo comunicar este trabajo?
5. ¿Cómo mediré el éxito?

Puede asumir una variedad de audiencias para su plan de marketing y comunicaciones y cada una puede estar motivada por diferentes mensajes. En algunos casos, deberá asegurarse de que sus mensajes sean de amplio alcance e inclusivos para todas las audiencias, lo que podría requerir, por ejemplo, lanzar noticias por medios internacionales y comunicarse en varios idiomas. En otros casos, deberá adaptar los mensajes a audiencias específicas. En este caso, los resultados científicos de las mediciones de la contaminación del aire pueden ser densos y, a veces, difíciles de entender para las personas que no tienen conocimientos técnicos. Hemos descubierto que para la mayoría de los esfuerzos de monitoreo de la contaminación del aire, las audiencias clave incluyen:

- Miembros de la comunidad (individuos)
- Organizaciones comunitarias
- Funcionarios electos locales y estatales/territoriales
- Reguladores/monitores locales de la calidad del aire
- Reguladores estatales/territoriales/nacionales de la calidad del aire
- Investigadores de la contaminación del aire
- Tecnólogos en contaminación del aire
- Financiadores

La parte superior de esta lista representa la audiencia menos especializada, aunque muy crítica. Los miembros de la comunidad poseen un conocimiento local extremadamente valioso, se ven directamente afectados por la contaminación del aire y, por lo tanto, tienen derecho a saber qué hay en el aire que respiran.

Ganar su apoyo requerirá que comunique sus hallazgos claramente y demuestre por qué deben dedicar tiempo a apoyar un proyecto de monitoreo. Asimismo, para cada uno de los siguientes grupos, comprender qué podría motivarlos a apoyarlo, trabajar con usted o crear/cambiar políticas requerirá una profunda comprensión de sus propios intereses y necesidades. Con esa información en mano, podrá comenzar a desarrollar su mensaje.

## Desarrollar mensajes destacados para su audiencia

Una vez que mapee sus diversas audiencias y las acciones que desea que realicen así como qué podría motivarlos a hacerlo, puede crear su mensaje. Muchas organizaciones crean una serie de mensajes generales, aquellos que son lo suficientemente generales para satisfacer a todos. Estos tienden a incluir una serie de ideas principales y declaraciones de apoyo que respaldan esas ideas con hechos y estadísticas. Por ejemplo, aquí hay un enlace a los [puntos de discusión](#) de Breathe London.

Sin embargo, para tener éxito en motivar a las audiencias individuales para que apoyen sus esfuerzos, también debe considerar la creación de una serie de mensajes que sean tanto de interés como, según su área de especialización, motivantes. Por ejemplo, es posible que desee utilizar información sobre los beneficios que tiene la disminución de la contaminación del aire en la salud para motivar a los funcionarios electos, mientras utiliza información sobre el creciente mercado de tecnología de sensores de aire para líderes empresariales.

Debido a que visualizar la contaminación es una parte fundamental de estos esfuerzos, también es importante desarrollar y distribuir imágenes, mapas interactivos y gráficos que se dirijan a una gran variedad de audiencias. Debería considerar desarrollar una serie de imágenes que se dirijan tanto a su público no especializado como a sus expertos técnicos.

## Identificación y activación de canales

Para enviar sus mensajes a audiencias específicas, es importante comprender de dónde obtienen la información las personas. Su prensa local ya no tiene autoridad sobre todos. En cambio, diferentes medios llegan a diferentes audiencias de distintas maneras. A menudo es útil catalogarlos dentro de las siguientes cuatro categorías:

- **Pagado:** Esto incluye publicidad tradicional en medios impresos y televisivos, en línea, así como anuncios nativos, contenido patrocinado en sitios de medios en redes sociales y patrocinios pagados en conferencias.
- **Obtenido:** Organizaciones de medios tradicionales (televisión, periódicos, revistas, medios en línea publicaciones comerciales y personas influyentes en la televisión, la radio y las redes sociales que puedan compartir su historia) o posiblemente conferencias en las que usted esté presentando.
- **Compartido:** sitios web y blogs de socios, plataformas de redes sociales y eventos.
- **Propio:** el sitio web y los blogs de su organización, boletines informativos, elementos visuales, correos electrónicos directos, reuniones con las partes interesadas, comunicados de prensa y plataformas sociales.

A muchas organizaciones les resulta útil desarrollar mapas que muestren cómo utilizarán canales y mensajes específicos para llegar a sus audiencias prioritarias. Esto puede ser de ayuda para identificar deficiencias y oportunidades.

## Cronometrar sus comunicaciones

Podría descubrir que existen múltiples oportunidades para comunicar sus esfuerzos, incluyendo:

- Despliegue de la red de sensores/monitores móviles
- Indicadores técnicos
- Cuando los resultados iniciales están disponibles
- Cuando la calidad del aire está en las noticias y le brinda la oportunidad de comentar
- Cuando se publican artículos científicos revisados
- Cuando se toman medidas como resultado de sus esfuerzos

Estas no son las únicas oportunidades para comunicar sus esfuerzos, solo son algunas de ellas. Y encontrará que cada instancia solicita un tipo diferente de comunicación. Trabajar junto a sus socios garantizará un enfoque más coordinado y le permitirá ampliar los esfuerzos de los demás.

## Configurar su plan de comunicaciones para tener éxito

Antes del desarrollo de su campaña de comunicación, al igual que con su programa de monitoreo, es importante hacerse la pregunta: “¿Con qué fin?” ¿Espera lograr un objetivo en cuanto a alguna política? ¿Está buscando expandir su esfuerzo de monitoreo a más ubicaciones? ¿Espera atraer fondos y socios adicionales? Sus esfuerzos de comunicación deben alinearse con sus objetivos estratégicos, los cuales deben servirle como su Estrella Polar. Recordarle a su organización lo que espera lograr a través de sus campañas de monitoreo y comunicación ayudará a optimizar sus esfuerzos para que pueda utilizar sus recursos de manera efectiva y reducir actividades innecesarias.





## Medir el éxito y mantener el impulso

¿Cómo producir mejoras continuas en la reducción de la contaminación del aire, realizar evaluaciones continuas del impacto en la salud y mantener una red de monitores que funcionen bien? La apropiación gubernamental de los objetivos de calidad del aire es un componente clave para mantener el impulso. Teniendo en cuenta que las preocupaciones sobre la calidad del aire se extienden por varios departamentos dentro de una ciudad, como Planificación Urbana, Sostenibilidad, Energía, Transporte y Salud Pública, fomentar la colaboración entre agencias es esencial para aprovechar los recursos y los programas y presupuestos existentes.

Para motivar la colaboración entre departamentos a lo largo del tiempo, considere hacer énfasis en la forma en la que la calidad del aire puede [definir las expectativas financieras de su ciudad](#). Muestre cómo afecta todo, desde los costos de atención médica hasta las pérdidas de mano de obra y productividad así como las consecuencias para las industrias de viajes y turismo. Si el asma es una de las principales causas del ausentismo escolar, el rendimiento escolar y la salud de los niños puede impulsar a su ciudad hacia invertir en contaminación del aire. El análisis de la Evaluación del Impacto en la Salud descrito en la Parte 2.3 puede serle útil para evidenciar el impacto antes y después de una intervención. Estos factores y otros pueden ayudar a obtener respaldo financiero para el monitoreo y la mitigación en su ciudad y transformar los argumentos técnicos en compromisos con beneficios de gran alcance.

La promulgación de políticas para mejorar la contaminación del aire puede suceder varios años después de que se establezca su red de monitoreo y se haya producido el compromiso inicial con la comunidad. Hasta este punto, deben existir mecanismos para mantener el impulso, lo que depende

en gran medida de las fuentes de financiamiento y el nivel de recursos. Un paso crítico para que las ciudades cautiven a los financiadores es resaltar los vínculos entre la contaminación del aire y otras amenazas de enormes proporciones como el cambio climático. Por ejemplo, varios contaminantes del aire son precursores químicos de los gases de efecto invernadero y los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles emitidos por las centrales eléctricas y otras emisiones de fuentes industriales reaccionan con la luz solar para formar ozono, uno de los contribuyentes principales al forzamiento radiativo. El aumento de las temperaturas también estimula que los usuarios de edificios utilicen el aire acondicionado, lo que puede aumentar inadvertidamente los niveles de material particulado. Por lo tanto, los programas gubernamentales de climatización y los esquemas de eficiencia energética pueden evitar o reducir emisiones indirectas y deberían promoverse en su ciudad tanto para contrarrestar los impactos del cambio climático como para mejorar la calidad del aire.

Para monitorear el progreso a lo largo del tiempo, debe documentar los éxitos hacia una meta de calidad del aire con su equipo de base al menos una vez al año. Otras ciudades están utilizando activamente estudios por computadora para rastrear tendencias similares. Por ejemplo, el [Estudio de Transporte Ohio Moves](#) y la [Encuesta de Viajeros Make Your Trip Count](#) monitorean las tendencias de movilidad para ayudar a pronosticar las necesidades de viaje en el futuro. Como se mencionó anteriormente, las Naciones Unidas y el Banco Mundial han creado un estándar para la contaminación del aire y los informes de GEI. El protocolo detallado se encuentra [disponible en línea](#) así como [cursos de capacitación](#) en línea que brindan apoyo para desarrollar un inventario. Este tipo de herramientas y otras pueden ayudar a su ciudad

a coordinar políticas para reducir la contaminación que resuena en la mente de las personas.

Las medidas de éxito llegarán con el tiempo a medida que evalúe el progreso durante años consecutivos. Llegarán en forma de un diálogo con expertos locales que lidian con el clima, el metabolismo urbano y la planificación energética. También surgirán de los seminarios web trimestrales de C40 Cities que le permitirán a las ciudades mostrar el paso a paso del proceso, casos de estudio exitosos y el trabajo en curso. Al rastrear y reportar la contaminación del aire en su ciudad, hay más datos disponibles para calcular con precisión las reducciones.

Esta guía se actualizará y mejorará a medida que la ciencia avance y los datos definan los pasos para obtener un aire más limpio. Cada vez se irá haciendo más clara la forma de utilizarla a medida que lo conecte con la pregunta: ¿Qué arte, empresas, avances y recuerdos creará la gente en su ciudad cuando nadie tenga que respirar aire tóxico? ¿A quién puede escuchar, enseñar y motivar para lograr estos avances? Los datos nuevos y continuos, legibles a nivel de cuadra, podrían conducirlo a nuevas asociaciones que refuercen sus esfuerzos para gobernar una ciudad con un aire más saludable y residentes más saludables.

**Las medidas de éxito llegarán con el tiempo a medida que evalúe el progreso durante años consecutivos.**



# LISTA DE RECURSOS DE EDF

## PARTE 01: PARA EMPEZAR

- [Caso de estudio](#) de monitoreo de respuesta a emergencias
- [Caso de estudio](#) de participación comunitaria y de los datos a la acción

## PARTE 02: ASPECTOS ESENCIALES

- [Informe](#) de flotas futuras
- Costo de la [herramienta](#) de mapeo hiperlocal
- [Air Quality Data Commons](#)
- Documentos relacionados con la instalación de sistemas de monitoreo
  - [RFP](#) de servicio y plataforma de instrumentos de monitoreo móvil de mediano costo
  - [RFP](#) de plataforma de instrumentos de bajo costo en flota municipal
  - Criterio de selección de [RFP](#) de plataforma de instrumentos de bajo costo en flota municipal
  - [Informe final sobre el monitoreo móvil de bajo costo de Houston](#)
  - Acuerdo de comodato y asociación de monitoreo móvil de bajo costo entre el proponente del proyecto y la ciudad
  - [Acuerdo](#) de comodato y asociación de monitoreo móvil de bajo costo entre el proponente del proyecto y el consultor
  - [Formulario](#) de acuerdo de anfitrión de red de sensores fijos
- Documentos de procedimientos operativos estándar relacionados con las operaciones diarias
  - [SOP](#) de O&M de instrumento móvil de bajo costo
  - [SOP](#) de O&M de instrumento de monitoreo móvil de Breathe London
- Ejemplos de herramientas de visualización de datos
  - [Mapa de la calidad del aire](#) de Breathe London
  - [Portal de datos](#) de la red de sensores de carbono negro de la comunidad de West Oakland de 100x100
- [Algoritmos](#) de procesamiento de datos para los datos de monitoreo móvil de Londres

## PARTE 03: DE LOS DATOS A LA ACCIÓN

- [Descripción general](#) del tablero de calidad del aire
- [Caso de estudio](#) de monitoreo de respuesta a emergencias
- [Caso de estudio](#) de participación comunitaria y de los datos a la acción
- [Asociación One Breath](#)
- [Puntos de discusión](#) de Breathe London

# LISTA DE SOCIOS EN PROYECTOS DE MONITOREO DEL AIRE MENCIONADOS EN ESTA GUÍA

ACLIMA

AIR MONITORS

BAY AREA AIR QUALITY MANAGEMENT DISTRICT

C40 CITIES

CAMBRIDGE ENVIRONMENTAL RESEARCH CONSULTANTS

CITY OF HOUSTON

GOOGLE EARTH OUTREACH

KING'S COLLEGE LONDON

MAYOR OF LONDON

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

RICE UNIVERSITY

TD ENVIRONMENTAL

THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN

UC BERKELEY AND LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LAB

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

WEST OAKLAND ENVIRONMENTAL INDICATORS PROJECT

# Notas al pie de página

- 1 Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association. 2010;121(21):2331-2378.
- 2 Brook RD, Franklin B, Cascio W, et al. Air Pollution and Cardiovascular Disease. A Statement for Healthcare Professionals From the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. 2004;109(21):2655-2671.
- 3 Zirogiannis N, Hollingsworth AJ, Konisky DM. Understanding Excess Emissions from Industrial Facilities: Evidence from Texas. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(5):2482-2490.
- 4 Los contaminantes primarios son emitidos directamente por una fuente. Los contaminantes secundarios se forman como producto de reacciones químicas en el aire y se mezclan y propagan más. Los contaminantes primarios tienden a ser más localizados y más fáciles de asociar con una fuente que los contaminantes secundarios.
- 5 Para los propósitos de esta guía, el monitoreo “móvil” se refiere a las mediciones que se toman mientras el vehículo está en movimiento (como ha sido el caso de nuestras campañas de monitoreo móvil que emplean vehículos de Google Street View o flotas municipales que conducen continuamente. Esto difiere del monitoreo “móvil”, en la que los monitores están en una plataforma móvil que se puede trasladar de ubicación, pero tomar medidas mientras está parado. A este tipo de monitoreo a veces se le denomina “fijo a corto plazo”.
- 6 Reproducido de Caubel JJ, Cados TE, Preble CV, Kirchstetter TW. A Distributed Network of 100 Black Carbon Sensors for 100 Days of Air Quality Monitoring in West Oakland, California. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(13):7564-7573.
- 7 Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(12):6999-7008.
- 8 La exactitud describe el grado de proximidad de las mediciones de concentración del sensor al valor de concentración real (verdadero). La precisión es la capacidad de un sensor o instrumento para medir la misma concentración de manera consistente. El sesgo es cualquier error sistemático al reportar un valor de medición que se desvía del valor real. Para obtener más información consulte: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>.
- 9 Los detalles del procesamiento y análisis de datos de la red 100x100 se pueden encontrar en: Caubel JJ, Cados TE, Preble CV, Kirchstetter TW. A Distributed Network of 100 Black Carbon Sensors for 100 Days of Air Quality Monitoring in West Oakland, California. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(13):7564-7573.
- 10 Herramienta de visualización de datos desarrollada por Distributed Sensing Technologies, LLC.
- 11 Para ver ejemplos, consulte los siguientes documentos. Tome en cuenta que esto no pretende ser una revisión exhaustiva de la literatura existente acerca del análisis de conjuntos de datos de contaminación del aire hiperlocal.  
  
Choi W, Hub S, He M, et al. Neighborhood-scale Air Quality Impacts of Emissions from Motor Vehicles and Aircraft. *Atmospheric Environment*. 2013;80:310-321.  
  
Van den Bossche J, Peters J, Verwaeren J, et al. Mobile Monitoring for Mapping Spatial Variation in Urban Air Quality: Development and Validation of a Methodology Based on an Extensive Dataset. *Atmospheric Environment*. 2015;105:148-161.  
  
Heimann I, Bright VB, McLeod MW, et al. Source Attribution of Air Pollution by Spatial Scale Separation Using High Spatial Density Networks of Low Cost Air Quality Sensors. *Atmospheric Environment*. 2015;113:10-19.  
  
Ranasinghe DR, Choi W, Winer AM, Paulson SE. Developing High Spatial Resolution Concentration Maps Using Mobile Air Quality Measurements. *Aerosol and Air Quality Research*. 2016;16(8):1841–1853.  
  
Lia HZ, Gua P, Ye Qing, et al. Spatially Dense Air Pollutant Sampling: Implications of Spatial Variability on the Representativeness of Stationary Air Pollutant Monitors. *Atmospheric Environment X*. 2019;2:100012.
- 12 Messier KP, Chambliss SE, Gani S, et al. Mapping Air Pollution With Google Street View Cars: Efficient Approaches With Mobile Monitoring and Land Use Regression. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(21):12563-12572.
- 13 Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(12):6999-7008.
- 14 Apte JS, Messier KP, Gani S, et al. High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(12):6999-7008.