

Comunidad en Acción

GUÍA COMPLETA SOBRE SENSORES
DE CALIDAD DEL AIRE



Este documento contiene páginas en blanco para facilitar la impresión a doble cara.

Comunidad en acción
Guía completa sobre sensores de calidad del aire

Abril de 2021

*Publicado por South Coast Air Quality Management District
21865 Copley Drive
Diamond Bar, CA 91765*

Autores

*South Coast AQMD
Andrea Polidori, investigador principal de contacto
Vasileios Papapostolou, responsable del proyecto
Ashley Collier-Oxandale, coordinadora del proyecto*

*Sonoma Technology
Hilary Hafner, investigadora principal
Timothy Blakey, responsable del diseño*

Cita

*Polidori A., Papapostolou V., Collier-Oxandale A., Hafner H., and
Blakey T. (2021) Comunidad en acción: Guía completa sobre sensores
de calidad del aire. Abril.*

*Disponible en el sitio web AQ-SPEC del South Coast AQMD:
<http://www.aqmd.gov/aq-spec/special-projects/star-grant>*

*El contenido es responsabilidad de los autores y no representa necesariamente la visión oficial del South Coast AQMD.
La mención o referencia a productos o servicios, y/o los enlaces a sitios web, no implican el respaldo ni la responsabilidad por las opiniones, ideas, datos o productos presentados, ni garantizan la validez de la información proporcionada.*

Agradecimientos

Los autores (Dr. Andrea Polidori, investigador principal de contacto; Dr. Vasileios Papapostolou, responsable del proyecto; y Dra. Ashley Collier-Oxandale, coordinadora del proyecto) desean expresar su agradecimiento a las siguientes personas, agencias asociadas y organizaciones comunitarias por sus valiosas contribuciones al proyecto y a la elaboración de la guía. Financiamiento para el Programa de Biblioteca de Sensores y la versión en español de esta guía proporcionada por la EPA de EE. UU.

Investigadores principales colaboradores

☁ Dr. Philip Fine, Dr. Jason Low, Dr. Laki Tisopulos, South Coast AQMD, Diamond Bar, CA

☁ Hilary Hafner, Tim Blakey, Jennifer DeWinter, Bryant West, Lauren Tannenbaum, Jana Schwartz, Sonoma Technology, Petaluma, CA

☁ Dr. Yifang Zhu y estudiantes; Fielding School of Public Health, University of California, Los Angeles (UCLA)

Apoyo al proyecto

☁ Personal de AQ-SPEC (Berj Der Boghossian, Dr. Brandon Feenstra, Dr. Michelle Kuang, Randy Lam, Dr. Wilton Mui), South Coast AQMD

Agencias asociadas internas y externas

☁ Information Management, South Coast AQMD

☁ Bay Area AQMD

☁ San Luis Obispo County APCD

☁ Santa Barbara County APCD

Apoyo al proyecto

☁ Asian Health Services, Oakland, CA

☁ Asian Pacific Environmental Network, Richmond, CA

☁ Comite Civico del Valle, Inc, Imperial County, CA

☁ Leisure World Club, Seal Beach, CA

☁ Mazama Science, Seattle, WA

☁ Pioneer Valley High School, Santa Maria, CA

☁ Roberts Environmental Center at Claremont McKenna College, Claremont, CA

☁ Special Service for Groups/Asian Pacific Islander Forward Movement, San Gabriel Valley, CA

☁ Sycamore Heights Community Action Group, Riverside, CA

☁ South Gate Community Environmental Health Assessment Team, Los Angeles, CA

☁ Temescal Valley, Riverside, CA

☁ University Village Apartments, UCLA, CA



01	Introducción	1-1
	Antecedentes	1-2
	Propósito, contenido y hoja de ruta para el usuario	1-8
	Referencias	1-10
02	Comprensión de la calidad del aire y su monitoreo	2-1
	Contaminación por partículas	2-4
	Contaminantes en fase gaseosa	2-10
	¿Qué es un sistema de sensores?	2-18
	Referencias	2-23
03	Planificación del proyecto	3-1
	La planificación es un proceso	3-2
	¿Por qué mi comunidad quiere medir la calidad del aire?	3-3
	¿Qué quiere medir mi comunidad?	3-8
	¿Dónde y cuándo quiere realizar mediciones mi comunidad?	3-13
	Enumere los recursos	3-18
	Cómo seleccionar un sistema de sensores	3-20
	Consejos para proyectos con sensores	3-28
	Referencias	3-29

04	Implementación de los sensores	4-1
	Uso y resolución de problemas de los sensores	4-2
	Recopilación de datos útiles	4-5
	Comprensión de los datos	4-12
	Mantenimiento del impulso del proyecto	4-26
	Referencias	4-29
05	Pasar a la acción	5-1
	Acción local	5-2
	Recopilación de datos adicionales	5-8
	Compartir los resultados y comentar el proyecto	5-10
	Referencias	5-14
	Apéndices	
	Apéndice A. Índice de calidad del aire: Guía sobre la calidad del aire y su salud	A-1
	Apéndice B. Reuniones comunitarias de la subvención STAR: Preguntas frecuentes	B-1
	Apéndice C. Información sobre el sensor PurpleAir	C-1
	Apéndice D. Guía de análisis de datos	D-1
	Apéndice E. Ejemplo de infografía	E-1
	Apéndice F. Plantilla de guía de instalación (para otros sensores)	F-1
	Apéndice G. Plantilla de una página del proyecto	G-1
	Apéndice H. Formulario de notas de registro en blanco	H-1
	Apéndice I. Ejemplo de exención de responsabilidad	I-1
	Apéndice J. Contactos de las agencias reguladoras locales (lista de ejemplos)	J-1
	Apéndice K. Ejemplos de rendimiento de los sensores	K-1
	Apéndice M. Ejemplos de informes y recursos comunitarios	M-1

Glosario

Aerosoles Pequeñas partículas sólidas o gotas líquidas suspendidas en el aire

AQI Índice de calidad del aire, creado por la EPA

AQ-SPEC Centro de Evaluación del Rendimiento de Sensores de Calidad del Aire del South Coast AQMD

BAAQMD Bay Area Air Quality Management District

BAM Monitor de atenuación beta, instrumento científico de grado regulatorio federal

BTEX Compuestos de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos

CAA Ley de Aire Limpio

CAC Contaminante atmosférico criterio

CEN Comité Europeo de Normalización

CH₄ Metano

CO Monóxido de carbono

CO₂ Dióxido de carbono

EPOC Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

DERA Ley de Reducción de Emisiones Diésel

EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

GEI Gases de efecto invernadero

CAP Contaminantes atmosféricos peligrosos

HI-Vog Red de sensores de smog volcánico de la isla de Hawái

H₂S Sulfuro de hidrógeno

HVAC Calefacción, ventilación y aire acondicionado

JRC Centro Común de Investigación, servicio científico y de conocimiento de la Comisión Europea

MAE Error absoluto medio

MAPE Error porcentual absoluto medio

MEP Ministerio de Protección Ambiental de la República Popular China

NAAQS Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental

NextGenSS Aplicación práctica de sensores y científicos de nueva generación para reducir el humo de leña en un entorno rural multicultural altamente afectado

NGSS Estándares Científicos de la Próxima Generación

NH₃ Amoníaco

NO Óxido nítrico

NO₂ Dióxido de nitrógeno

NO_x Óxidos de nitrógeno

O₃ Ozono

OEM Fabricante de equipo original

ORD Oficina de Investigación y Desarrollo de la EPA de Estados Unidos

PAQ Map Mapa de la calidad del aire de Pittsburgh

Pb Plomo

PERC Percloroetileno

POM Monitor personal de ozono

PM Material particulado

PM₁₀ Partículas de menos de 10 micrómetros de diámetro (partículas gruesas)

PM_{2.5} Partículas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro (partículas finas)

QAPP Plan de Proyecto de Garantía de Calidad

QA/QC Garantía y control de calidad

RETIGO Visualizador de datos geoespaciales en tiempo real de la EPA

RMSE Error cuadrático medio

SO₂ Dióxido de azufre

South Coast AQMD South Coast Air Quality Management District

Iniciativa SPEAR Investigación sobre la Evaluación del Rendimiento y la Aplicación de Sensores

Programa STAR Programa Ciencia para Lograr Resultados de la EPA

STEM Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas

COSV Compuestos orgánicos semivolátiles

UCLA Universidad de California, Los Ángeles

UW Universidad de Washington

COV Compuestos orgánicos volátiles

Vog Smog volcánico

Resumen ejecutivo

En 2016, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos concedió al South Coast Air Quality Management District (South Coast AQMD) una subvención del programa Ciencia para Lograr Resultados (STAR, por sus siglas en inglés) para trabajar en el proyecto Involucrar, educar y empoderar a las comunidades de California en el uso y las aplicaciones de sensores de monitoreo del aire de “bajo costo”. El Centro de Evaluación del Rendimiento de Sensores de Calidad del Aire (AQ-SPEC) del South Coast AQMD actuó como grupo líder de la subvención. Entre los investigadores principales colaboradores se encontraban Sonoma Technology y la UCLA Fielding School of Public Health. El estudio pretendía proporcionar a las comunidades de California los conocimientos necesarios para seleccionar, utilizar y mantener adecuadamente sensores de contaminación del aire de bajo costo e interpretar correctamente los datos de los sensores. Este trabajo se basó en los cuatro objetivos siguientes:

1. Desarrollar nuevas metodologías para educar e involucrar a las comunidades en el uso y las aplicaciones de los sensores de bajo costo;
2. Realizar pruebas para caracterizar el rendimiento de los sensores de bajo costo disponibles en el mercado e identificar candidatos para su implementación en el terreno;
3. Implementar los sensores seleccionados en comunidades de California e interpretar los datos recopilados; y
4. Comunicar las lecciones aprendidas al público a través de una serie de actividades de divulgación.

A lo largo del proyecto, se llevaron a cabo reuniones públicas periódicas y otras actividades de divulgación para educar al público sobre las capacidades de los sensores de bajo costo disponibles en el mercado y sus posibles aplicaciones y limitaciones. Se evaluaron muchos sensores en el campo y en el laboratorio de acuerdo con los protocolos estándar desarrollados por AQ-SPEC. Se seleccionaron los sensores y se desarrollaron redes de sensores en 14 comunidades de California. Se celebraron talleres periódicamente para hablar sobre las experiencias de los participantes e interpretar los datos recopilados. Todo este trabajo condujo y dio forma al desarrollo de un completo conjunto de herramientas educativas, que incluye recursos utilizados durante el proyecto (p. ej., una guía de instalación de sensores basada en los comentarios proporcionados por los participantes de la comunidad) y recursos desarrollados en respuesta a necesidades específicas identificadas durante el mismo (p. ej., el paquete R AirSensor, la herramienta DataViewer y otras soluciones para apoyar el acceso, el procesamiento, el análisis y la visualización de los datos de los sensores). Esta guía es otro recurso incluido en el conjunto de herramientas educativas y las lecciones aprendidas de este trabajo sirvieron de base y se reflejaron en su desarrollo.

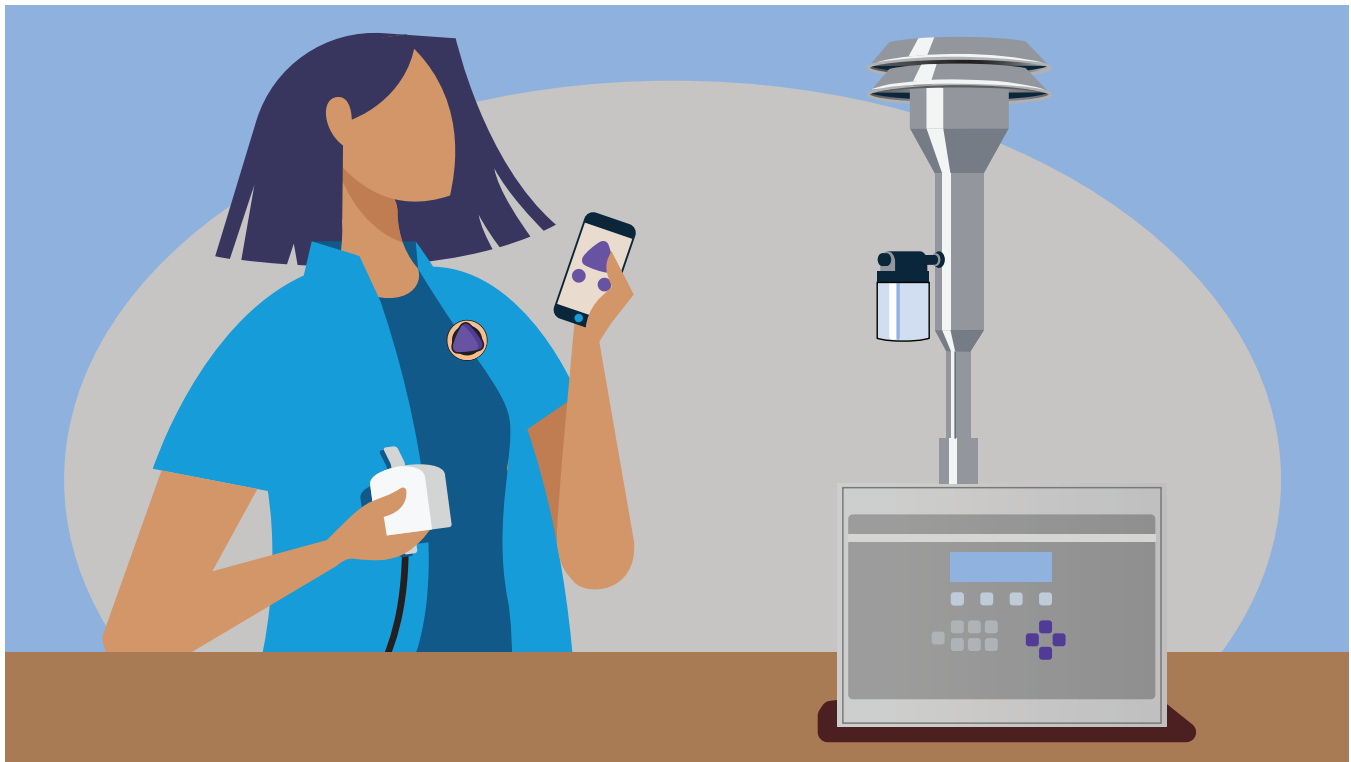
La guía abarca la planificación (p. ej., qué monitorear, dónde monitorear, qué sensores utilizar) y la implementación (p. ej., cómo utilizar y mantener los sensores, qué factores considerar al tomar mediciones). También abarca el manejo, la

interpretación, la comunicación y el uso de los datos de los sensores. Su objetivo es aprovechar los recursos existentes y ayudar a las organizaciones comunitarias a utilizar de manera eficaz sensores de calidad del aire de bajo costo para apoyar la ciencia ciudadana en aplicaciones de monitoreo comunitario. El correcto uso de los sensores puede permitir al público utilizar sus datos para comprender la calidad del aire local y tomar medidas para reducir las emisiones contaminantes y/o la exposición a la contaminación atmosférica. Asimismo, el uso adecuado de los sensores también puede ayudar a las organizaciones gubernamentales y otros responsables políticos a comprender mejor los problemas de la calidad del aire a nivel comunitario y a tomar mejores decisiones políticas para proteger al público de los efectos de la contaminación atmosférica.



01 Introducción

Esta guía tiene como objetivo ayudar a los miembros de la comunidad y a los socios comunitarios a utilizar de manera eficaz sensores de bajo costo. Los datos que proporcionan estos sensores pueden ayudar a comprender la calidad del aire local y a tomar medidas para reducir las emisiones contaminantes y la exposición a la contaminación del aire.



El BAM 1020 de gran tamaño que se muestra aquí es un instrumento científico de grado regulatorio federal que se utiliza en todo el país para medir la calidad del aire a nivel regional. Entre los sensores de aire más pequeños y de bajo costo se encuentran los sensores portátiles, los sensores de uso doméstico y los sensores de campo con energía solar y servicio celular incorporados.

Antecedentes

Los fabricantes han comenzado a comercializar sensores de monitoreo del aire de “bajo costo” para medir la contaminación del aire en tiempo real.

Sensores de bajo costo

Gracias a los recientes avances tecnológicos en ingeniería eléctrica y redes inalámbricas, los fabricantes han comenzado a comercializar sensores de monitoreo del aire de “bajo costo” para medir la contaminación del aire en tiempo real. Este tipo de tecnología ha evolucionado rápidamente y en la actualidad existen muchos tipos de sensores disponibles para el consumidor. Estos dispositivos, en los que se define “bajo costo” como precios que oscilan aproximadamente entre \$100 y \$2,000, suelen costar una décima parte, o incluso una

centésima parte, de lo que cuestan los instrumentos de referencia federales (o equivalentes federales) más sofisticados (FRM, FEM) que se requieren para el monitoreo regulatorio. Suponiendo que produzcan datos fiables, los sensores de bajo costo pueden aumentar y mejorar significativamente las capacidades actuales de monitoreo del aire ambiente, que dependen principalmente de instrumentos FRM o FEM que operan en sitios fijos. Dado su bajo costo, estos sensores se están convirtiendo en un medio atractivo para que los grupos ecologistas locales y los particulares evalúen de forma independiente la calidad del aire.

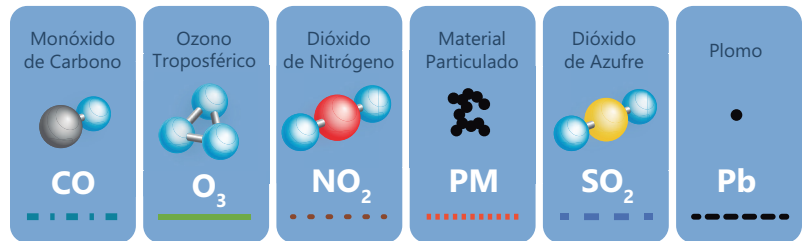
Normativa sobre la calidad del aire

La Ley de Aire Limpio (CAA, por sus siglas en inglés), establecida en 1970, es la ley federal que regula las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes fijas (es decir, emisores fijos de contaminantes, como las centrales eléctricas) y móviles (p. ej., automóviles y camiones). La CAA autorizó a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos a establecer los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) con el fin de proteger la salud y el bienestar públicos, así como regular las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos. Uno de los objetivos de la CAA fue establecer y lograr el cumplimiento de los NAAQS en todos los estados para 1975, a fin de abordar los riesgos para la salud y el bienestar públicos que planteaban los contaminantes atmosféricos ubicuos. Se exigió a los estados que elaboraran planes para alcanzar los NAAQS.

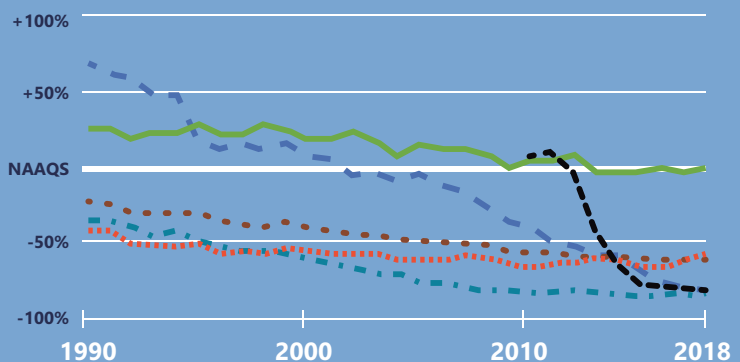
La CAA se modificó en 1977 y 1990, principalmente para establecer nuevos objetivos (y fechas) para el cumplimiento de los NAAQS, ya que muchas zonas del país no habían cumplido los plazos. La CAA también establece un calendario que la EPA debe seguir para revisar periódicamente los NAAQS y los nuevos hallazgos científicos sobre salud y exposición, con el fin de evaluar si se justifican cambios.

La EPA utiliza los datos de los instrumentos FRM o FEM, operados por agencias estatales, locales y tribales de calidad del aire, para evaluar el cumplimiento de los NAAQS; esta red es relativamente escasa y no cubre todas las comunidades. Hasta la fecha, los sensores de bajo costo no tienen la

Ley de Aire Limpio: Contaminantes criterio



Tendencias de la calidad del aire desde 1990



calidad suficiente para cumplir con los estándares FEM o FRM. No obstante, se pueden utilizar sensores de bajo costo para mejorar la comprensión de la contaminación del aire a nivel comunitario.

Trabajo comunitario sobre la calidad del aire

Desde mediados de la década de 1990, tanto particulares como comunidades han estado midiendo la contaminación del aire. Por ejemplo, la "[Bucket Brigade](#)"¹ midió hidrocarburos, como el benceno, utilizando cubos de cinco galones modificados para recoger muestras de aire junto con observaciones de la comunidad. Estas mediciones han llevado a la realización de pruebas de verificación por parte de entidades gubernamentales y, en algunos

Las concentraciones de contaminantes criterio han disminuido en relación con los NAAQS más recientes [desde 1990](#).² Aunque las concentraciones han disminuido a nivel nacional, todavía hay distritos atmosféricos que no han alcanzado ciertos NAAQS.



Beneficios de la ciencia comunitaria

A medida que las personas utilizan la tecnología de sensores, se vuelven más conscientes e informadas sobre los problemas específicos de la calidad del aire en su comunidad. Este conocimiento tiene el potencial de capacitarles para desarrollar estrategias comunitarias que reduzcan la exposición a la contaminación del aire y protejan su salud.

En este documento utilizamos los términos ciencia comunitaria o científico comunitario porque son términos inclusivos. Los términos ciencia ciudadana o científico ciudadano también son términos comúnmente aceptados; sin embargo, la palabra ciudadano puede malinterpretarse y entenderse como ciudadano estadounidense en lugar de residente o miembro de la comunidad.

casos, a la adopción de medidas para reducir los contaminantes. A lo largo de los años, [los esfuerzos comunitarios han dado lugar a una serie de beneficios](#),³ entre los que se incluyen una mayor concientización sobre los problemas de calidad del aire, nuevos datos y previsiones, apoyo a programas de sustitución de equipos, nuevos sitios de monitoreo y procedimientos para ayudar al público a reducir su exposición a determinados contaminantes. Estas mediciones siguen utilizándose como método para visibilizar las emisiones de sustancias tóxicas en el aire o los olores a nivel local.

Dada la reciente aparición de los sensores de bajo costo, existe la necesidad de crear nuevas metodologías para involucrar a las comunidades y a las personas en el uso adecuado de los sensores de contaminación del aire, así como de desarrollar una mejor comprensión de cómo responden las comunidades a los distintos tipos de resultados de datos, su interpretación y su difusión.

La EPA ha desarrollado numerosos recursos para las comunidades, como la [caja de herramientas para sensores de aire](#),⁴ que contiene información sobre cómo utilizar los sensores, comprender las lecturas, evaluar el rendimiento y acceder a programas comunitarios de préstamo de sensores. [La Junta de Recursos del Aire de California ha desarrollado recursos científicos comunitarios](#).⁵ El Centro de Evaluación del Rendimiento de Sensores de Calidad del Aire (AQ-SPEC)⁶ del South Coast AQMD proporciona información sobre el rendimiento de los sensores de bajo costo. Otras fuentes de orientación sobre las mejores prácticas son [citizenscience.gov](#)⁷ y los siguientes recursos:

- ☁ [Guía sobre sensores de aire](#)⁸
- ☁ [Herramientas de bajo costo de monitoreo de la calidad del aire: De la investigación a la práctica \(Resumen de un taller\)](#)⁹
- ☁ [Diseño de estudios con sensores de aire: Los detalles importan](#)¹⁰
- ☁ [Seguimiento de California: Guía para desarrollar una red comunitaria de monitoreo de la calidad del aire](#)¹¹

Científicos especializados en la calidad del aire, junto con docentes, han desarrollado recursos educativos para llegar a los estudiantes interesados y al público en general. Por ejemplo, [Kids Making Sense®](#)¹² combina STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) y los NGGS (Estándares Científicos de la Próxima Generación) con un sistema de detección del aire para enseñar a los estudiantes y otros miembros de la comunidad sobre la contaminación atmosférica mediante el aprendizaje basado en proyectos y actividades prácticas. La EPA ha desarrollado material educativo, como una [guía para construir un sensor de partículas](#).¹³

El [programa Air Quality InQuiry](#),¹⁴ desarrollado por investigadores universitarios, también incluye lecciones y actividades que apoyan el aprendizaje basado en proyectos utilizando sensores. Muchas agencias locales de calidad del aire han desarrollado, o están desarrollando, material educativo sobre sensores de bajo costo, programas de préstamo de sensores y otros recursos.

Subvención STAR de la EPA

El programa Ciencia para Lograr Resultados (STAR) de la EPA ofrece subvenciones y becas de posgrado a científicos para investigaciones específicas en varias disciplinas. La investigación STAR se financia mediante un proceso de solicitud competitivo, derivado del Plan Estratégico de la Oficina de Investigación y Desarrollo de la EPA y de planes de investigación para temas específicos, en cooperación con otras partes de la agencia. Esta investigación está relacionada con la misión central de la EPA: proteger la salud humana y el medioambiente.

En 2016, la EPA concedió al South Coast AQMD y a sus socios una subvención STAR para el proyecto Involucrar, educar y empoderar a las comunidades de California en el uso y las aplicaciones de sensores de monitoreo del aire de "bajo costo". AQ-SPEC fue el líder de la subvención. Entre los investigadores principales que colaboraron se encontraban Sonoma Technology y la UCLA Fielding School of Public Health.

El estudio tenía por objeto proporcionar a las comunidades locales de California los conocimientos necesarios para seleccionar, utilizar y mantener adecuadamente sensores de contaminación del aire de bajo costo e interpretar correctamente los datos. El equipo se centró concretamente en las comunidades situadas en áreas de justicia ambiental (EJ, por sus siglas en inglés) y cerca de fuentes específicas de contaminación del aire. Es importante señalar que el South Coast AQMD descubrió que "muchos residentes de la cuenca viven, trabajan y disfrutan de su tiempo libre en áreas con peor calidad del aire y a menudo se encuentran en una situación económica más desfavorecida..." (South Coast AQMD, marzo de 2017 - [2016 Informe socioeconómico del AQMP](#)).¹⁵



Más información

[Resumen del programa de subvenciones STAR](#)¹⁶

[Resumen de la subvención STAR del South Coast AQMD](#)¹⁷

[AQ-SPEC del South Coast AQMD](#)⁶

[Áreas de justicia ambiental en California](#)¹⁸



Esta guía sobre sensores ha sido posible gracias a una subvención STAR de la EPA.

Se celebraron reuniones públicas periódicas y otras actividades de divulgación para educar al público sobre las capacidades de los sensores de bajo costo disponibles en el mercado y sus posibles aplicaciones y limitaciones. Los resultados de la investigación ayudarán a las organizaciones gubernamentales y a otros responsables políticos a comprender mejor los problemas de calidad del aire a nivel comunitario y a tomar mejores decisiones para proteger a la población de los impactos de la contaminación atmosférica.

La EPA también concedió subvenciones en 2016 a otras cinco organizaciones para que colaboraran con las comunidades locales en el estudio de la calidad de los datos, la durabilidad y los usos de la tecnología de sensores de bajo costo. Estos proyectos de investigación exploraron cómo las comunidades pueden recopilar y utilizar eficazmente los datos científicos para conocer la calidad del aire local:



Shared Air/ Shared Action (SA2): Empoderamiento de la comunidad mediante el monitoreo de la contaminación del aire con sensores de bajo costo, dirigido por Kansas State University. El equipo de investigación colaboró con cuatro organizaciones comunitarias locales que trabajan para mejorar la calidad del aire de los ciudadanos de Chicago. La hipótesis de la investigación era que las personas se

involucrarían más en su entorno si se les proporcionaban herramientas científicas y técnicas relevantes, como sensores portátiles de bajo costo y la asistencia técnica adecuada. Se llevó a cabo un monitoreo de la contaminación del aire en cuatro comunidades diferentes con sensores portátiles de bajo costo. Hay disponibles grabaciones del seminario que recogen las [lecciones aprendidas de este estudio](#).¹⁹



La red de sensores de smog volcánico de la isla de Hawái (HI-Vog): Seguimiento de la calidad del aire y participación de la comunidad cerca de un importante foco de emisiones, dirigido por Massachusetts Institute of Technology. Este proyecto incluyó la evaluación de redes distribuidas de calidad del aire basadas en sensores portátiles de bajo costo para medir el smog volcánico (vog), compuesto por SO_2 y material particulado, con una alta resolución espacial y temporal. La mayoría de los sitios de muestreo se integraron en la Hawaii Island School Garden Network del Kohala Center, lo que permitió utilizar las mediciones de vog como parte del plan de estudios escolar y, de este modo, mejorar la educación de la comunidad y su compromiso con los datos sobre la calidad del aire. Los datos en tiempo real se pusieron a disposición de la comunidad a través del sitio web de la red, así como de interfaces táctiles en los centros comunitarios implementados en los centros de salud de toda la isla.



Aplicación práctica de sensores y científicos de nueva generación para reducir el humo de leña en un entorno rural multicultural altamente

afectado (NextGenSS) dirigido por la University of Washington (UW). Investigadores de contaminación del aire de la UW colaboraron con docentes de la Heritage University, cuyos estudiantes representan a la población de la comunidad, compuesta principalmente por familias de la nación Yakama y familias inmigrantes latinas. El proyecto mejoró el programa EnvironMentors, que une a estudiantes universitarios de niveles avanzados con estudiantes de secundaria. La capacitación y la orientación permitieron a los estudiantes formular y probar hipótesis sobre la exposición al humo de leña de su comunidad utilizando sensores de PM de bajo costo de Alphasense. Estos proyectos abordaron la variabilidad espacial, los vínculos con la salud cardiopulmonar y los impactos de las intervenciones. Los estudiantes difundieron los resultados entre sus familias, personas mayores y otros miembros de la comunidad. La evaluación incluyó la experiencia de los estudiantes con los sensores, así como la fiabilidad sobre el terreno y las pruebas de validación mediante la comparación con un sitio fijo local y con datos de medición de campo validados.



Monitoreo del aire en nuestra comunidad: Participación de los ciudadanos en la investigación, realizado por Research Triangle

Institute, Groundwork Denver y National Jewish Health. Este proyecto analizó cómo los miembros de la comunidad utilizan sensores de bajo costo para comprender la calidad del aire en sus vecindarios y cómo su exposición personal a los contaminantes les permite tomar medidas para proteger su salud. El estudio identificó las necesidades y preferencias de presentación de los datos de calidad del aire específicas para cada público para facilitar la comprensión e interpretación de la información. Asimismo, el proyecto también evaluó la eficacia de diferentes formas de apoyar los cambios de comportamiento para minimizar la exposición a los contaminantes del aire interior y exterior. El estudio se centró en una comunidad de justicia ambiental al norte del centro de Denver. Los sensores de bajo costo utilizados fueron el RTI MicroPEM™ para PM_{2.5} y el Cairpol NO₂ CairClip.



Democratización de las herramientas de medición y modelado para la acción comunitaria sobre la calidad

del aire y mejora de la resolución espacial de las concentraciones de contaminantes atmosféricos, realizado por la Carnegie Mellon University. La mejora de la calidad del aire y de la salud humana, especialmente en las comunidades de justicia ambiental, motivó a la universidad a utilizar monitoreo distribuido de calidad del aire con sensores de bajo costo y modelado de la calidad del aire para apoyar los esfuerzos de la comunidad por reducir la exposición a la contaminación. Para este estudio se desarrollaron monitores portátiles de dos contaminantes ($PM_{2.5}$ /gas) y monitores fijos de múltiples contaminantes ($PM_{2.5}$, cuatro gases criterio, COV). La fiabilidad de estos monitores se probó en diversas condiciones ambientales. Las encuestas a los usuarios y la participación de un consejo asesor comunitario sirvieron de base para el diseño de los sensores y la salida de datos. Los datos ambientales obtenidos con los monitores distribuidos se incorporaron en un nuevo mapa de calidad del aire de Pittsburgh (PAQMap), de acceso público y desarrollado con la participación de la comunidad



Iniciativas similares

Además de la subvención STAR, la legislación reciente de California y las normas de los distritos de calidad del aire proporcionan financiamiento para el monitoreo comunitario o la ciencia comunitaria, entre ellas la [Ley de la Asamblea \(AB\) de California 617](#),²⁰ la [Regla 1180 del South Coast AQMD](#),²¹ y la [Regla 12-15 del Bay Area Air Quality Management District](#).²² Otras agencias estatales y locales, así como grupos sin fines de lucro, también han estado desarrollando recursos. Por ejemplo, consulte el [programa AirKeepers de Clean Air Carolina](#),²³ el [Departamento de Calidad Medioambiental de Oregon](#),²⁴ la [Junta de Recursos del Aire de California](#),²⁵ y el [programa Love My Air del Departamento de Salud Pública y Medioambiente de Denver](#).²⁶

Los sensores (■, ■, ■) pueden utilizarse para “completar los vacíos” en una red de monitoreo del aire (●, ●) con el fin de comprender mejor cómo varían las concentraciones de contaminantes a nivel local.

Claves para el éxito



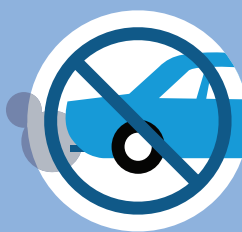
**Proyecto bien
planificado**



**Comunicación
durante todo el
proyecto**



**Participación
temprana y
continua de
las partes
interesadas**



**Generar y probar
ideas y estrategias
para mitigar la
contaminación del
aire desde el
inicio**

Propósito, contenido y hoja de ruta para el usuario

La guía aborda tanto la planificación (p. ej., qué monitorear, dónde monitorear, qué sensores utilizar) como la implementación (p. ej., cómo utilizar y mantener los sensores, qué factores tener en cuenta al realizar mediciones). También trata el manejo, la interpretación, la comunicación y el uso de los datos.

La **Tabla 1-1** presenta una hoja de ruta de la guía para usuarios con diferentes responsabilidades e intereses. No se espera que los usuarios lean este documento de principio a fin. Recomendamos consultar las secciones individuales según sea necesario.

Aspectos destacados de la guía

- ☁ Capítulo 2, páginas 2-20 y 2-21: Guía para elegir un sensor
- ☁ Capítulo 3, página 3-9: Guía para recursos y contaminantes
- ☁ Capítulo 5, página 5-10: Compartir los resultados y comentar el proyecto

Tabla 1-1. Hoja de ruta de la guía para usuarios con diferentes responsabilidades e intereses.



	Organizador Organizador comunitario o responsable de un proyecto de sensores de calidad	Participante Participante que utiliza un sensor en un proyecto comunitario	Individuo Miembro individual del público que utiliza un sensor	Socio Académico, industria, agencia gubernamental Nuevo en el uso de sensores	Nuevo en el monitoreo de la calidad del aire	Nuevo en la investigación comunitaria
Capítulos						
2 Aprender Información clave sobre la calidad del aire	●	●	●		●	
3 Planificar Planificar un proyecto exitoso	●		●	●	●	●
4 Implementar Implementar y mantener sus sensores	●	●	●	●	●	●
5 Actuar Pasarse de los resultados a la acción	●	●	●	●	●	●
Apéndices						
A Índice de calidad del aire	●	●	●		●	
B Preguntas frecuentes	●		●	●	●	●
C Sensor PurpleAir	●	●	●	●	●	
D Análisis de datos	●		●	●	●	
E Infografía	●					●
F Plantilla de instalación				●		
G Plantilla de proyecto	●					●
H Notas de registro	●	●	●		●	
I Formulario de responsabilidad	●			●	●	●
J Contactos de las agencias	●					●
K Pruebas de sensores	●			●		
L DataViewer	●	●		●	●	●
M Informes comunitarios	●	●		●		●

Referencias

1. O'Rourke D. and Macey G.P. (2003) Community environmental policing: assessing new strategies of public participation in environmental regulation *Journal of Policy Analysis and Management*, 22(3), 383-414. Disponible en <https://doi.org/10.1002/pam.10138>
2. <https://gispub.epa.gov/air/trendsreport/2020/#home>
3. Commodore A., Wilson S., Muhammad O., Svendsen E., and Pearce J. (2017) Community-based participatory research for the study of air pollution: a review of motivations, approaches, and outcomes. *Environmental monitoring and assessment*, 189(8), 378. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6063-7>.
4. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>
5. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/community-air-protection-program/resource-center/community-air-monitoring>
6. South Coast Air Quality Management District (2015) AQ-SPEC: Air Quality Sensor Performance Evaluation Center. Disponible en <http://www.aqmd.gov/aq-spec/home>.
7. <https://www.citizenscience.gov/toolkit/howto/#>
8. Williams R., Kilaru V., Snyder E., Kaufman A., Dye T., Rutter A., Russell A., and Hafner H. (2014) Air sensor guidebook. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC by Sonoma Technology, Inc., Petaluma, CA. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=277996.
9. Clements A., Griswold W., Abhijit R.S., Johnston J., Herting M., Thorson J., Collier-Oxandale A., and Hannigan M. (2017) Low-cost air quality monitoring tools: from research to practice (a workshop summary). *Sensors*, 17(11), 2478. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5713187/>.
10. Dye T., Graham A., and Hafner H. (2016) Air sensor study design: details matter. *Air & Waste Management Association's EM Magazine*, November. <https://drive.google.com/file/d/0B3tholBR7u66ZmFOOHIEYkUzcDQ/view?resourcekey=0-y24FeluuTY-CNBGukdwdA>
11. <https://www.phi.org/thought-leadership/guidebook-for-developing-a-community-air-monitoring-network/>
12. <http://www.kidsmakingssense.org>.
13. <https://www.epa.gov/climate-research/build-your-own-particle-sensor>
14. https://www.teachengineering.org/curricularunits/view/cub_airquality_unit

- 15.** Shen E., Dabirian S., Oliver A., and Hamilton P. (2016) Final socioeconomic report. Report prepared by South Coast Air Quality Management District, Diamond Bar, CA, March. Disponible en https://www.aqmd.gov/docs/default-source/clean-air-plans/socioeconomic-analysis/final/sociofinal_030817.pdf.
- 16.** <https://www.epa.gov/research-grants/air-research-grants>.
- 17.** <http://www.aqmd.gov/aq-spec/special-projects/star-grant>.
- 18.** California Environmental Protection Agency Office of Environmental Health Hazard Assessment (2018) CalEnviroScreen 3.0. Disponible en <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/report/calenviroscreen-40>. Actualizado el 25 de junio.
- 19.** <https://k-state.instructure.com/courses/75223>.
- 20.** Garcia C. (2017) California State Assembly Bill No. 617, Chapter 136: Nonvehicular air pollution: criteria air pollutants and toxic air contaminants. Disponible en https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201720180AB617. July 26.
- 21.** South Coast Air Quality Management District (2017) Rule 1180: refinery fenceline and community air monitoring. Disponible en <http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/rules/support-documents/rule-1180-refinery-fenceline-monitoring-plans>.
- 22.** Bay Area Air Quality Management District (2019) Regulation 12 Rule 15: petroleum refining emissions tracking. December. Disponible en <https://www.baaqmd.gov/rules-and-compliance/rules/regulation-12-rule-15--petroleum-refining-emissions-tracking>.
- 23.** <https://cleanaircarolina.org/airkeepers/>.
- 24.** <https://www.oregon.gov/deq/aq/Pages/Air-Quality-Monitoring.aspx>.
- 25.** <https://ww2.arb.ca.gov/capp-resource-center/community-air-monitoring/outline-of-measurement-technologies#hotspot>.
- 26.** <https://www.denvergov.org/Government/Departments/Public-Health-Environment/Environmental-Quality/Air-Quality/Love-My-Air>.



02 Comprensión de la calidad del aire y su monitoreo

La calidad del aire es importante, ya que afecta a nuestra salud y al medioambiente. Una mala calidad del aire está relacionada con una serie de problemas de salud y ambientales.

Los Ángeles en un día despejado



La calidad del aire suele mostrarse en una escala de colores.

El término calidad del aire se refiere a la cantidad de contaminación presente en el aire.

Una buena calidad del aire significa que hay menos contaminación atmosférica.

Una mala calidad del aire significa que hay más contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica es una mezcla compleja de compuestos químicos causada tanto por la actividad humana, como los automóviles y las centrales eléctricas, como por fenómenos naturales, como los incendios forestales, los volcanes y los rayos. Los contaminantes de interés se presentan en forma de gases o partículas.

La contaminación atmosférica es causada tanto por la actividad humana como por fenómenos naturales.



Automóviles, autobuses, camiones, aviones, trenes



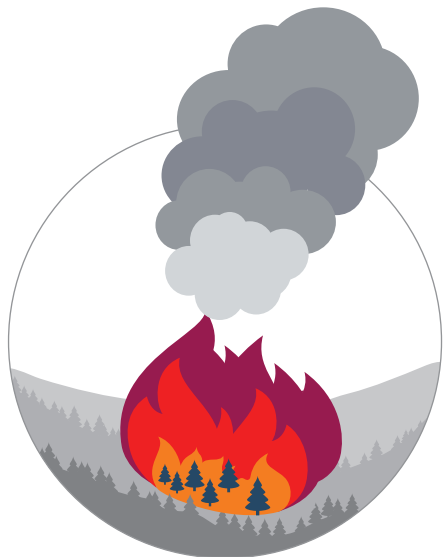
Centrales eléctricas, fábricas, incineradoras



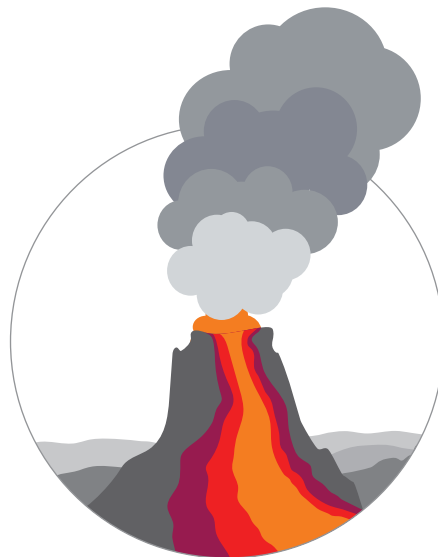
La contaminación por partículas es un factor clave que contribuye a la reducción de la calidad visual del aire, también llamada visibilidad, neblina o smog. No obstante, los estándares de calidad del aire existentes para la contaminación por partículas se basan en los posibles impactos sobre la salud, no en la calidad visual del aire. La percepción visual de la calidad del

aire es subjetiva y diferentes personas pueden clasificar la contaminación de un mismo día de manera diferente. Los estudios sobre la percepción visual¹ de la calidad del aire muestran de manera consistente que es importante tanto reducir el número de días con mala visibilidad como aumentar el número de días con excelente visibilidad.

Las dos fotos de arriba muestran la misma zona de Los Ángeles en días con buena y mala calidad del aire.



Incendios forestales, quemas prescritas, quemas de leña residencial



Emisiones naturales, como volcanes, aguas termales, marismas

Contaminación por partículas

La contaminación por partículas es un término general que se refiere a una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas en el aire.

Algunas partículas son lo suficientemente grandes como para verse a simple vista en forma de polvo o suciedad, otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse con un microscopio electrónico. Las partículas se emiten directamente al aire, pero también pueden formarse en el aire a partir de otros contaminantes.

micras de diámetro (partículas gruesas, PM_{10}) (o micrómetros [μm] en diámetro aerodinámico) y partículas de menos de 2.5 micras de diámetro (partículas finas, $PM_{2.5}$) (o micrómetros [μm] en diámetro aerodinámico). El tamaño de la partícula se refiere al diámetro de la partícula (en el caso de partículas esféricas) o al diámetro "equivalente" en el caso de partículas de forma irregular. Las partículas finas y gruesas tienen diferentes fuentes, propiedades y efectos. La **Figura 2-1** pone en perspectiva el tamaño de las partículas.

Tamaño de las partículas

Las partículas presentes en el aire se conocen como material particulado o PM. Otro término utilizado en la ciencia atmosférica es aerosoles, que son pequeñas partículas sólidas o gotas líquidas suspendidas en el aire. Las partículas varían en tamaño y composición. Por lo general, las mediciones se centran en dos rangos de tamaño: partículas de menos de 10

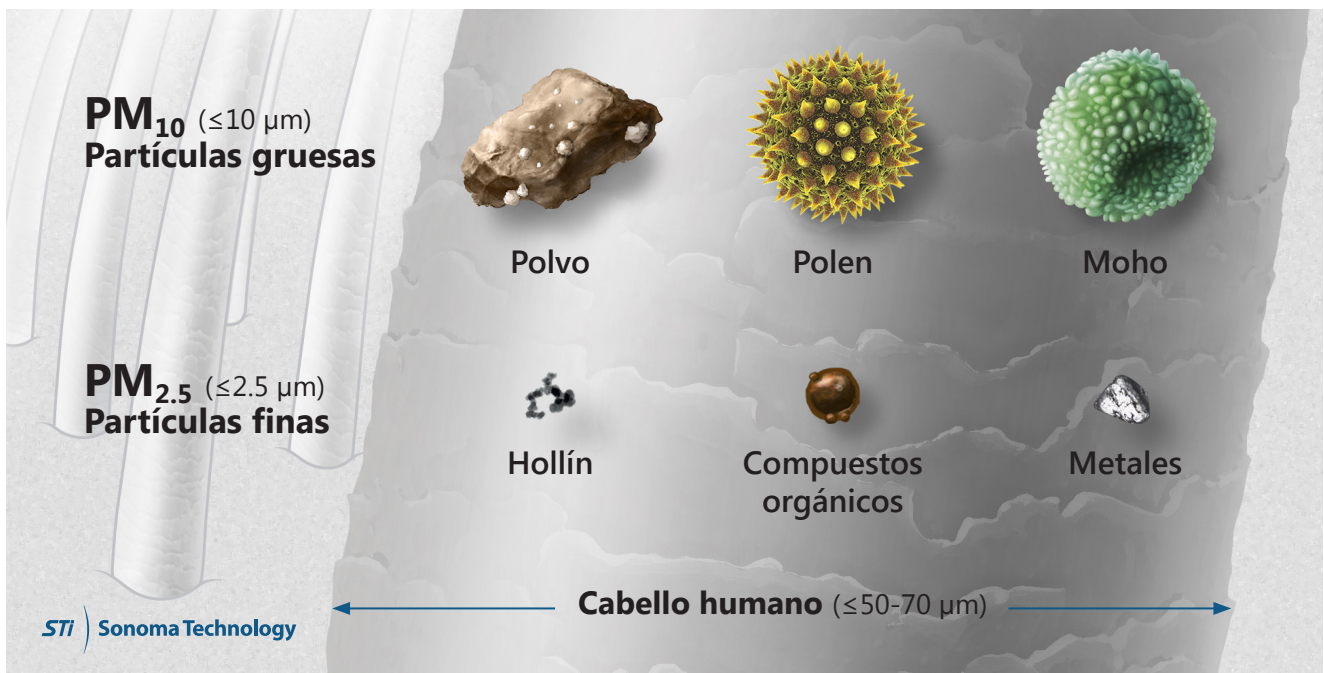
Relación entre las partículas y los efectos sobre la salud

La investigación sobre la salud se ha centrado principalmente en la masa



Figura 2-1.

Tamaños de las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en comparación con un cabello humano.



de PM, ya que estas mediciones eran los datos más comunes disponibles con un largo historial de muestreos realizados en muchos lugares del país. Se ha demostrado que el PM causa muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, ataques cardíacos no mortales, latidos cardíacos irregulares, agravamiento del asma, disminución de la función pulmonar y aumento de los síntomas respiratorios, como irritación de las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar. El tamaño de las partículas está directamente relacionado con la posibilidad de causar problemas respiratorios. Las partículas más grandes afectan a las vías respiratorias superiores, mientras que las más pequeñas pueden entrar en las vías respiratorias inferiores e incluso llegar al torrente sanguíneo (**Figura 2-2**).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos establece los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) para proteger la salud humana (consulte el Apéndice A). Los estándares de 24 horas para $PM_{2.5}$ y PM_{10} se muestran en la **Tabla 2-1**. Estos estándares estipulan que la concentración promedio de masa de PM en el aire exterior durante un periodo de 24 horas no debe superar un determinado umbral, basado en los resultados de las evaluaciones de salud y riesgo. Para obtener más información sobre [los NAAQS](#), visite el [sitio web de la EPA](#).²

Tabla 2-1. NAAQS (2012) para $PM_{2.5}$ y PM_{10}

Contaminante	Tiempo promedio	Nivel
$PM_{2.5}$	24 horas	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM_{10}

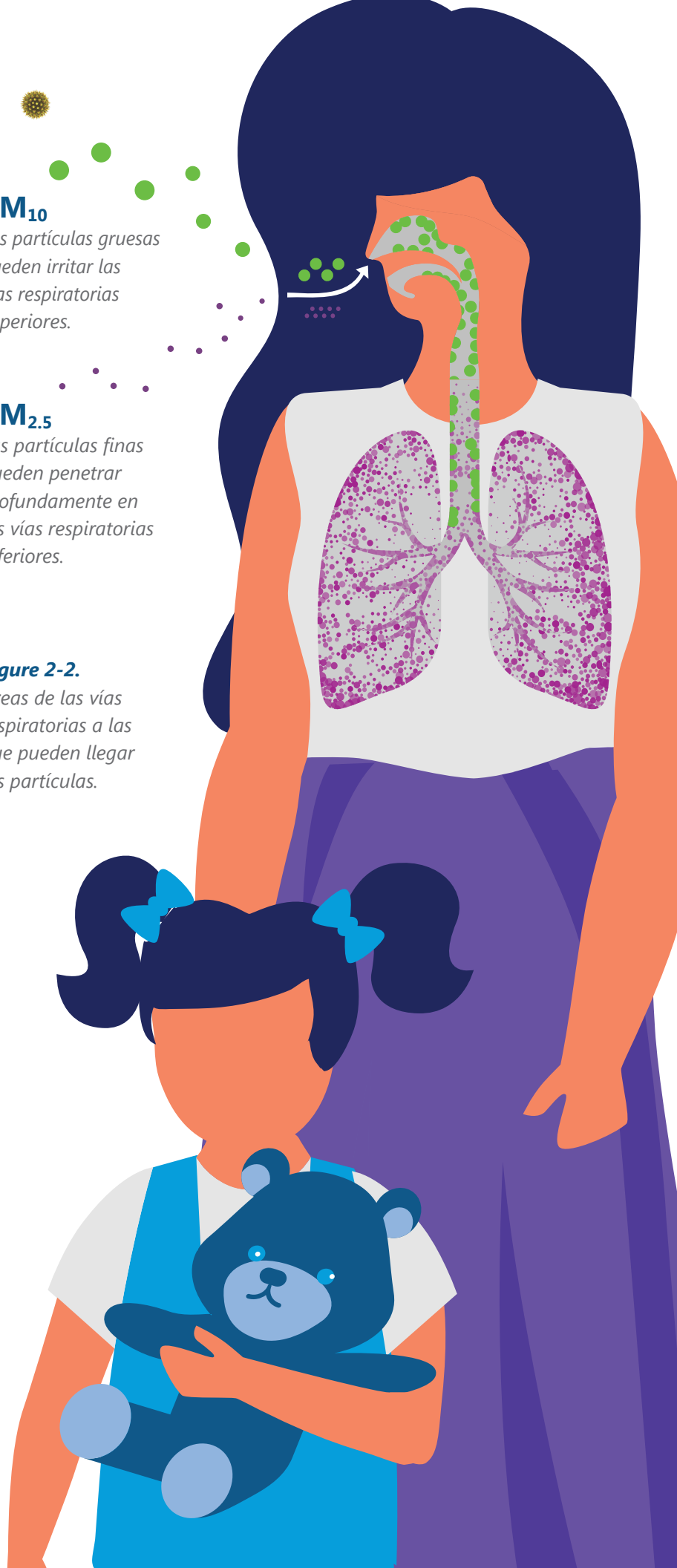
Las partículas gruesas pueden irritar las vías respiratorias superiores.

$PM_{2.5}$

Las partículas finas pueden penetrar profundamente en las vías respiratorias inferiores.

Figure 2-2.

Áreas de las vías respiratorias a las que pueden llegar las partículas.



ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD: ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE MUERTES MUNDIALES CAUSADAS POR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE AMBIENTE EN 2016

16%

de muertes por
cáncer de pulmón

25%

de muertes por EPOC

17%

por enfermedades
cardíacas isquémicas
y accidentes
cerebrovasculares

26%

de muertes
por infecciones
respiratorias

Las personas con problemas de salud y los grupos vulnerables (los niños, las mujeres embarazadas y los ancianos) son más susceptibles a los efectos de la contaminación del aire.

[A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud](#)⁴ estimó que, en 2016, la contaminación del aire ambiente causó alrededor del 16 % de las muertes por cáncer de pulmón, el 25 % de las muertes por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), alrededor del 17 % de las muertes por cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular y alrededor del 26 % de las muertes por infección respiratoria. [Un artículo publicado en 2019 en la revista European Heart Journal](#)³

estimaba que la contaminación del aire podría estar causando el doble de muertes anuales en exceso de las que se habían calculado anteriormente en Europa. Los investigadores descubrieron que la contaminación del aire causaba aproximadamente 8.8 millones de muertes adicionales en todo el mundo. Del mismo modo, un [estudio de 2018](#)⁵ estimaba que 8.9 millones de muertes estaban relacionadas con la exposición prolongada al PM_{2.5} en el aire exterior.



8.8 millones de muertes adicionales en todo el mundo [European Heart Journal, 2019](#)³



Para más información

Si desea obtener más información sobre la carga total de PM en la salud humana a nivel nacional y mundial, consulte lo siguiente:

[HealthData.org – Estudio sobre la carga mundial de enfermedades en 2017.](#)⁶

[Organización Mundial de la Salud – Contaminación del aire ambiental.](#)⁴

Si desea obtener más información sobre las diferentes formas en que la exposición al PM afecta a la salud humana, consulte lo siguiente:

[Asociación entre la contaminación del aire y la mortalidad en seis ciudades estadounidenses.](#)⁷

[Cáncer de pulmón, mortalidad cardiopulmonar y exposición prolongada a la contaminación del aire por partículas finas.](#)⁸

[El impacto de la contaminación del aire en el desarrollo pulmonar de los 10 a los 18 años.](#)⁹



Fuentes que contribuyen a la contaminación por partículas en el exterior

Las partículas pueden ser emitidas directamente al aire, formarse en el aire a partir de otros contaminantes o crearse mediante alguna combinación de ambos procesos. Las partículas emitidas directamente (o primarias) incluyen el polvo en suspensión, la sal marina, el carbono orgánico (p. ej., los hidrocarburos), el carbono elemental (p. ej., el grafito) y los metales procedentes de la combustión. Los gases emitidos directamente que forman partículas en la atmósfera incluyen el dióxido de azufre (SO_2 , que forma sulfatos), los óxidos de nitrógeno (NO_x , que forman nitratos), el amoníaco (NH_3 , que forma compuestos de amonio) y los compuestos orgánicos volátiles (COV, que son compuestos orgánicos de carbono capaces de convertirse en gas a temperaturas normales en interiores y exteriores).

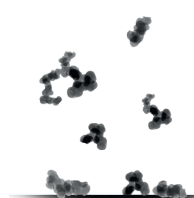
Las partículas finas son emitidas principalmente por la combustión de carbón, petróleo, gasolina, diésel y madera, y se forman mediante la conversión de gases en partículas de

NO_x , SO_2 y COV bajo la influencia de la luz solar. Estas partículas pueden permanecer en el aire durante días o semanas y desplazarse a grandes distancias.

Las partículas de mayor tamaño (también llamadas partículas gruesas) se emiten al aire por la resuspensión del polvo, las fuentes biológicas (polen, esporas), la construcción y el rocío marino. Las partículas gruesas se eliminan más fácilmente del aire y, por lo tanto, están presentes desde minutos hasta días. Por lo general, no viajan muy lejos.

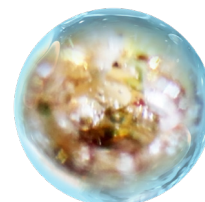
Las partículas, independientemente de su tamaño, permanecen en el aire hasta que ocurre una de estas tres cosas: sedimentación, condensación o coagulación.

Fuentes de contaminación por partículas (en sentido horario desde la parte superior izquierda): incendios forestales, gases de escape de vehículos, emisiones geotérmicas, polen, desgaste de frenos y polvo resuspendido.



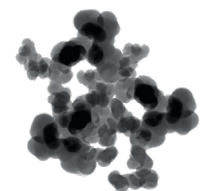
Sedimentación

Las partículas se depositan en una superficie



Condensación

El agua u otros gases se acumulan en las partículas para formar partículas más grandes



Coagulación

Las partículas colisionan y se forman partículas más grandes



Complejidad de las partículas

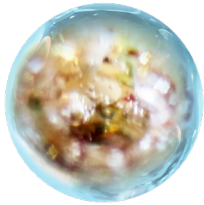
La composición química de la contaminación por partículas es compleja y varía según el tamaño de las partículas (consulte la **Tabla 2-2**). El hollín, los compuestos orgánicos y los metales traza tienden a formar partículas finas. Los componentes de la sal marina suelen aparecer en partículas gruesas. El polvo transportado por el viento y el polvo fugitivo también se encuentran principalmente en partículas gruesas. Los nitratos pueden aparecer tanto en partículas finas como gruesas.

Las partículas pueden tener formas extrañas, diferentes colores e incluso estar secas o húmedas. El tamaño, la forma, la composición química, el color y otros factores afectan a la manera en que se miden las partículas, la distancia que recorren y su impacto en la salud humana. La composición química de las partículas ayuda a los investigadores

a comprender las fuentes que contribuyen a la contaminación por partículas.

La dispersión y la absorción de la luz por las partículas en un sensor se ven afectadas por la diferencia en su composición. Por ejemplo, los materiales orgánicos (como el polen) tienden a absorber una mayor proporción de luz en comparación con los inorgánicos (como los metales o el polvo). En este caso, [el sensor óptico informaría de una mayor concentración](#)¹⁰ al medir partículas que contienen materia orgánica que partículas inorgánicas. Por ello, es importante realizar la colocación y la calibración en las proximidades del proyecto para exponer los sensores a la composición de partículas prevista durante el mismo.

Debido a la complejidad de las partículas, es difícil medirlas en el aire ambiente.



Las partículas pueden ser secas, ligeramente húmedas o disueltas/suspendidas en gotas líquidas.

Las partículas suelen tener formas complejas, como esta ilustración de una espora de polen, aunque a veces se representan como esferas perfectas.

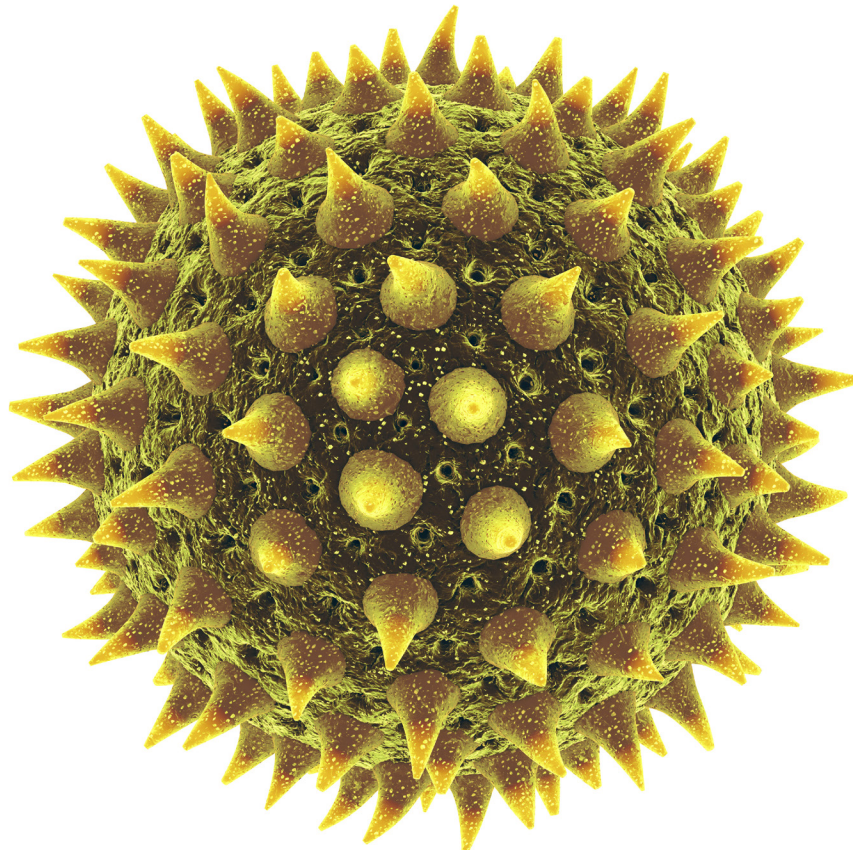

















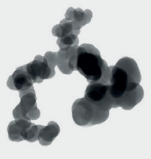
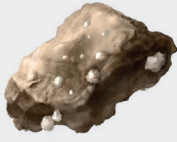
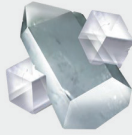
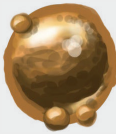
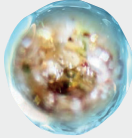
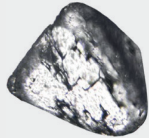

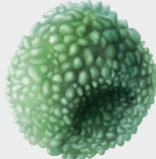





Tabla 2-2. Resumen de las características del material particulado fino y grueso (adaptado de Seinfeld and Pandis, 1998).¹¹

Partículas finas PM_{2.5}				Partículas gruesas PM₁₀			
Proceso Químico <i>Cómo se forman las partículas</i>				Proceso Químico <i>Cómo se forman las partículas</i>			
Reacción, nucleación, condensación, coagulación, procesamiento en nubes/niebla				Suspensión de polvo o sal marina, proceso mecánico			
Fuentes <i>De dónde provienen las partículas</i>							
							
Combustión de carbón	Combustión de gasolina	Combustión de diésel	Combustión de madera	Polvo industrial	Polvo agrícola	Polvo minero	Caminos sin pavimentar
							
Vehículos de motor	Industria	Incendios	Conversión de gas a partículas	Fuentes biológicas	Construcción/demolición	Rocío marino	Sal de carretera
Composición <i>De qué están hechas las partículas</i>							
							
Sulfatos y Nitratos		Carbono Elemental		Elementos de la Corteza Terrestre		Sal	
							
Otros Compuestos Orgánicos	Agua	Metales		Polen	Moho	Restos Vegetales y Animales	
Formación <i>Cuándo se forman las partículas</i>							
Primarias (emitidas directamente) y secundarias (formadas en la atmósfera)				Primarias (emitidas directamente)			
Vida Atmosférica <i>Cuánto tiempo permanecen las partículas en el aire</i>							
 De Días a Semanas				 De minutos a días			
Distancia Recorrida <i>Qué distancia recorren las partículas</i>							
De 100 a más de 1.000 km (de unas 60 a más de 600 millas)				Generalmente < 100 km (< unas 60 millas)			

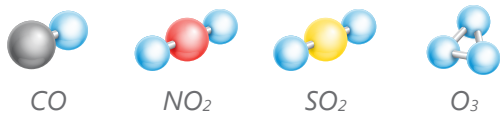
Contaminantes en fase gaseosa

Los contaminantes en fase gaseosa son compuestos presentes en el aire que afectan negativamente a la salud humana o ambiental.

Los contaminantes en fase gaseosa más comunes que pueden ser motivo de preocupación para usted o su comunidad se clasifican en las siguientes categorías: contaminantes criterio, contaminantes atmosféricos peligrosos (CAP) o tóxicos del aire, gases de efecto invernadero (GEI) y radón.

Contaminantes criterio

Cuatro de los seis contaminantes criterio designados por la EPA son contaminantes gaseosos que actualmente están regulados por la Ley de Aire Limpio:



monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y ozono troposférico (O₃). El CO se libera cuando se quema un

combustible que contiene carbono y es especialmente peligroso para la salud humana si se permite que se acumulen grandes cantidades en interiores, donde puede inhalarse. El NO₂ se genera normalmente cuando se quema combustible (p. ej., en los camiones diésel). Además de ser un irritante respiratorio, el NO₂ contribuye a la formación de otro contaminante nocivo: el ozono troposférico. El SO₂ se libera cuando se queman materiales que contienen azufre o el propio azufre y, además de ser peligroso para la salud humana, es clave para formar la lluvia ácida en el medioambiente. Por último, el ozono troposférico se forma en el aire por la interacción de otros compuestos (concretamente, compuestos orgánicos volátiles [COV] y óxidos de nitrógeno [NOx]) en presencia de la luz solar. Dado que no se emite directamente, el ozono se considera un contaminante secundario, ya que se forma en la atmósfera. Mientras que el ozono a gran altitud (entre 6 y 30 millas por encima de la superficie terrestre) nos protege de la radiación ultravioleta nociva, el ozono a nivel del suelo, donde puede inhalarse, plantea diversos riesgos para la salud respiratoria. Una forma eficaz de recordad esto es que el O₃ es "bueno en las alturas, malo cuando está cerca".

Contaminantes atmosféricos peligrosos/tóxicos del aire

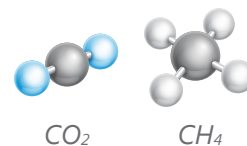
Hay cientos de COV, desde los de origen natural hasta los artificiales, y desde los inofensivos hasta los nocivos.

Los CAP son compuestos que se sabe que causan graves efectos sobre la salud, como el cáncer. La EPA reconoce 187 contaminantes atmosféricos tóxicos, muchos de los cuales son contaminantes en fase gaseosa. Algunos de los gases clasificados como CAP incluyen el benceno, que se encuentra en la gasolina y se sabe que causa cáncer. Todos los compuestos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) se consideran CAP y son emitidos por vehículos, otras fuentes industriales y actividades de extracción o procesamiento de petróleo y gas. Otro CAP común es el formaldehído, que puede ser emitido por diversas fuentes, desde materiales de construcción hasta el humo del cigarro, y también se forma en la atmósfera a través de reacciones de otros COV. El percloroetileno (PERC) es el producto químico utilizado por las tintorerías que emplean procesos más antiguos.

Además de los gases, metales como el arsénico, el mercurio, el cromo y el plomo son CAP, y estos metales se emiten, por ejemplo, en las operaciones de procesamiento de metales. También los compuestos orgánicos semivolátiles (COSV) como el naftaleno, que se emite en la refinación del petróleo, los combustibles fósiles y la combustión de madera. Estos compuestos existen en forma de gas, líquido o partículas en condiciones normales, pueden estar presentes en concentraciones extremadamente bajas y son difíciles de medir. No existe una técnica de medición única que permita capturar todos los CAP.

Gases de efecto invernadero

Los GEI son gases que atrapan y calientan la atmósfera. Los GEI más preocupantes en términos de emisiones humanas son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). Ninguno de estos gases supone una amenaza directa para la salud humana (p. ej., como toxina), salvo en circunstancias extremas. Por ejemplo, en concentraciones extremadamente altas de CO_2 existe riesgo de asfixia y en concentraciones altas de metano existe riesgo de asfixia y explosión. En 2016, aproximadamente el 80 % de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos procedieron de la [actividad humana](#)¹² y, a nivel mundial, se estima que más del 60 %



Las emisiones humanas de gases de efecto invernadero incluyen el CO_2 y el metano.



de las emisiones de metano también procedieron de la actividad humana. El CO_2 procede principalmente de la generación de electricidad, el transporte y las fuentes industriales. El metano procede principalmente de los sistemas de gas natural y petróleo, la ganadería/agricultura y los vertederos. Además, el metano es el componente principal del gas natural y suele constituir entre el 70 % y 90 % de la mezcla. La medición de estos contaminantes ayuda a abordar el cambio climático.

El CO_2 procede principalmente de la generación de electricidad, el transporte y las fuentes industriales.



El radón es la principal causa de cáncer de pulmón en Estados Unidos entre los no fumadores.

Radón





El radón es un gas radiactivo natural que puede filtrarse a través de los cimientos de su hogar y acumularse hasta alcanzar niveles peligrosos. Es un contaminante del aire interior que actualmente no está regulado. No obstante, es la principal causa de cáncer de pulmón en Estados Unidos entre los no fumadores y la EPA recomienda realizar pruebas en su hogar. Puede realizar una prueba sencilla de radón con un kit de corto plazo que suele costar entre \$10 y \$20 y se puede adquirir en ferreterías o en tiendas en línea. Consulte la [guía del ciudadano sobre el radón de la EPA de EE. UU.](#)¹³ si le preocupa este contaminante atmosférico en particular.

Impacto de los contaminantes en fase gaseosa en la salud humana

Los gases pueden afectar a la salud humana. Dependiendo del contaminante, la concentración y la duración de la exposición, los contaminantes en fase gaseosa pueden afectar a nuestro sistema respiratorio, neurológico, inmunológico o a la salud y el desarrollo reproductivo. Los NAAQS para los cuatro contaminantes criterio en fase gaseosa se pueden encontrar en la **Tabla 2-3**. Estos estándares se basan en los resultados de evaluaciones de salud y riesgo, y tienen por objeto proteger la salud pública.

Los CAP no se regulan de la misma manera que los contaminantes criterio. La EPA está obligada a elaborar estándares para controlar las emisiones de tóxicos en el aire de algunas categorías de fuentes (un enfoque basado en la tecnología). Asimismo, la EPA debe determinar si es necesario establecer más estándares de protección de la salud mediante un enfoque basado en el riesgo. La EPA evalúa periódicamente los riesgos restantes para la salud de cada categoría de fuentes para determinar si los estándares de

Tabla 2-3. Contaminantes criterio en fase gaseosa regulados por la Ley de Aire Limpio.

Contaminante (año de la última revisión)	Tiempo promedio	Nivel
 CO (2011)	1 hora 8 horas	35 ppm 8 ppm
 NO ₂ (2012)	1 hora	100 ppb
 SO ₂ (2012)	1 hora	75 ppb
 O ₃ (2015)	8 horas	70 ppb



control protegen la salud pública con un amplio margen de seguridad y protegen contra los efectos ambientales adversos.

Impacto de los contaminantes en fase gaseosa en la salud ambiental

Además de los peligros para la salud humana, la contaminación del aire también daña nuestro medioambiente. Como se ha mencionado anteriormente, el SO_2 y NO_2 pueden formar lluvia ácida, lo que puede dañar los ecosistemas. Si bien la deposición ácida puede dañar directamente los árboles, lo más común es que los estrese al alterar las características químicas y físicas del suelo. En los lagos, la deposición ácida puede provocar la muerte de peces y otros organismos acuáticos. El ozono troposférico también puede dañar la vegetación y afectar negativamente al crecimiento de las plantas y los árboles. Este daño puede provocar la pérdida de cosechas en las áreas agrícolas. Indirectamente, el aumento de los GEI en el aire agrava los impactos ambientales negativos del cambio climático. La visibilidad se ve reducida por las partículas presentes en el aire que dispersan y absorben la luz. La EPA ha establecido [estándares secundarios](#)² para proteger el bienestar público, lo que incluye la protección contra la disminución de la visibilidad



Arriba: Efectos de la lluvia ácida en los bosques. Montañas Jizera, República Checa.

[Crédito: commons.wikimedia.org](#)¹⁵

Izquierda:

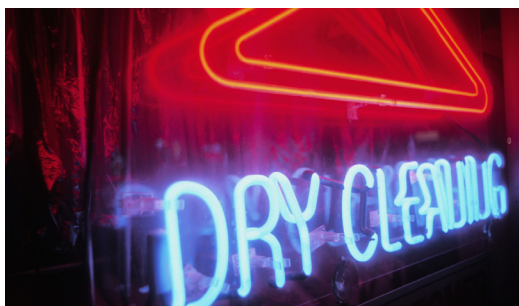
Fotografías del antes y el después del daño causado por el ozono en plantas de papa y frijol. [Crédito: Danica Lombardozzi, National Center for Atmospheric Research](#).¹⁶



Arriba a la

izquierda: Daño causado por el ozono en una hoja. [Crédito: Danica Lombardozzi, National Center for Atmospheric Research](#).¹⁶

Fuentes de contaminantes gaseosos (en sentido horario desde la parte superior izquierda): producción de petróleo, refinación de petróleo, transporte de gasolina, motores diésel, pinturas y disolventes, y limpieza en seco.



y los daños a los animales, los cultivos la vegetación y los edificios. La EPA también cuenta con la [Regla sobre la Niebla Regional](#),¹⁴ que se centra en mejorar la visibilidad en áreas protegidas, como parques nacionales.

Fuentes que contribuyen a los contaminantes gaseosos

Los gases pueden ser emitidos por las fuentes directamente (primarios) o pueden ser el producto de la química atmosférica y/o del envejecimiento de los compuestos (secundarios). Los procesos generales por los que se emiten los compuestos incluyen la combustión (quema) o la volatilización (la liberación de compuestos que existen como gases a temperaturas normales).

La combustión completa se produce cuando un combustible basado en carbono (como la gasolina, el gas natural, el carbón o un biocombustible) se quema a la temperatura adecuada con abundante oxígeno; estos subproductos incluyen CO₂ y agua. La combustión incompleta se produce cuando la temperatura es demasiado

baja y/o no hay suficiente oxígeno; estos subproductos incluyen CO₂, CO y COV, además de agua. En el caso de la combustión incompleta, los COV concretos varían en parte según el tipo de combustible que se quema. La combustión a alta temperatura o la quema de determinados combustibles también puede dar lugar a la producción de NO₂ (p. ej., vehículos diésel). Del mismo modo, el SO₂ se genera como resultado de la quema de combustibles específicos (p. ej., carbón con un alto contenido de azufre). Las emisiones volatilizadas o por fugas son el resultado de la liberación intencionada o no intencionada de un contaminante en fase gaseosa. Algunas industrias pueden liberar compuestos a través de la ventilación, como las tintorerías (p. ej., percloroetileno) o los talleres de carrocería (p. ej., COV liberados por las pinturas y disolventes durante el secado). Los contaminantes en fase gaseosa también pueden liberarse a lo largo de la cadena de producción de petróleo y gas. Por ejemplo, los COV presentes en el petróleo, como el benceno, pueden liberarse por ventilación desde la plataforma de un pozo o



producirse fugas durante el transporte o almacenamiento. También se han dado casos de fugas de gas natural procesado (compuesto principalmente por metano) [en los sistemas de distribución de las ciudades](#).¹⁷

Por último, algunos contaminantes se transforman a medida que envejecen en la atmósfera e interactúan con otros gases. Un ejemplo importante de contaminante formado por otras emisiones es el formaldehído, un tóxico atmosférico y carcinógeno. A medida que las sustancias químicas recién emitidas se transforman en la atmósfera, se convierten en formaldehído. Aunque el formaldehído también se elimina mediante estos mismos procesos, el suministro continuo de nuevas emisiones da lugar a la presencia constante de formaldehído por encima de los niveles detectables.

Comprender la contribución de las fuentes de contaminación a la calidad del aire

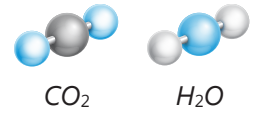
La calidad del aire es compleja. El aire

contiene una mezcla de emisiones antiguas y nuevas, que envejecen e interactúan en la atmósfera, todo ello mientras los fenómenos meteorológicos (p. ej., temperatura, humedad, viento o lluvia) también afectan a la mezcla. Al aprender más sobre la composición de estas mezclas, podemos empezar a comprender qué fuentes influyen en la calidad del aire y en qué medida. En el ejemplo anterior del smog en Los Ángeles (mostrado en la primera foto de este capítulo), los contaminantes que contribuyen al smog son normalmente el ozono, los NO_x, los COV y el PM_{2.5}. En las carreteras, los [camiones diésel de carga pesada tienden a ser responsables de una proporción mayor de las emisiones de NO_x que los vehículos particulares](#).¹⁸

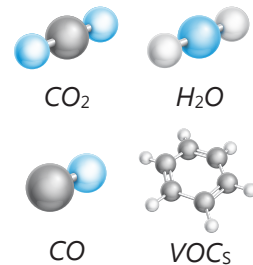
Por otra parte, medir y comparar las cantidades de dos contaminantes como el CO₂ y el CO puede indicar si es más probable que la contaminación proceda de una carretera o de un incendio forestal. A medida que aprenda más sobre la calidad del aire realizando mediciones, considere cómo la medición de múltiples contaminantes podría ayudarle a comprender la calidad del aire local.

La comprensión de la relación entre los contaminantes del aire y sus fuentes se lleva a cabo a veces en entornos normativos o en investigaciones académicas. Un método para comprender este vínculo es la distribución de fuentes (también llamado modelado de receptores). Las herramientas de distribución de fuentes utilizan mediciones de contaminantes ambientales para deducir los tipos de fuentes y las contribuciones que dieron lugar a las concentraciones de contaminantes medidas. Para realizar este análisis, se procesa un conjunto de datos completo sobre la calidad del aire con el fin de clasificar todas

Subproductos de la combustión completa



Subproductos de la combustión incompleta



las emisiones en tipos de fuentes probables. Las herramientas de modelado de receptores de la EPA están disponibles [aquí](#).¹⁹ Si el análisis es correcto, estos tipos de fuentes tendrán una composición química reconocible (perfil de emisión) y podrán identificarse, por ejemplo, como tráfico diésel o quema de madera.

A veces podemos determinar cuáles son las fuentes probables de los contaminantes analizando la información de unos pocos contaminantes diferentes. Esto se puede hacer sin depender de conjuntos de datos exhaustivos de muy alta calidad que son necesarios para la distribución de fuentes. Consulte la Figura 3-2 del Capítulo 3 para obtener más información sobre los tipos de contaminantes emitidos por diferentes fuentes.

Figura 2-3. Ejemplo de una estación de monitoreo ambiental regulatorio (South Coast AQMD Riverside - Rubidoux).

Monitoreo de la calidad del aire

La calidad del aire es monitoreada por los gobiernos locales, estatales y federales como parte de los programas

de gestión de la calidad del aire que proporcionan una evaluación constante y a largo plazo de los niveles de contaminantes en el aire exterior. Estos programas suelen utilizar métodos de monitoreo tradicionales, aprobados y de grado regulatorio, que cumplen con las directrices de la EPA para el diseño y funcionamiento de estas redes. Los requisitos se establecen en el [Código de Regulaciones Federales, Título 40](#).²⁰

Las mediciones de la contaminación del aire también se realizan utilizando instrumentos de investigación para explorar contaminantes menos comunes, medir contaminantes comunes en diferentes intervalos de muestreo (p. ej., 1 minuto) o medir contaminantes criterio utilizando nuevas tecnologías. Además, como se explica en este documento, las mediciones de la calidad del aire pueden realizarse utilizando sensores más nuevos de bajo costo.

Estas mediciones suelen realizarse en lugares de monitoreo fijos. No obstante, muchos instrumentos y sensores pueden adaptarse para ser portátiles.

Monitoreo regulatorio

Como se mencionó anteriormente, la EPA realiza un seguimiento de seis contaminantes criterio debido a su impacto en la salud y el medioambiente: ozono, PM (es decir, $PM_{2.5}$ y PM_{10}), CO, NO₂, SO₂ y plomo (Pb). Las agencias de calidad del aire miden estos contaminantes en el aire y, si un área no cumple uno o varios de los NAAQS, se designa como área de incumplimiento y la agencia debe diseñar un plan para cumplir el estándar. Existen normas estrictas y detalladas para monitorear las concentraciones



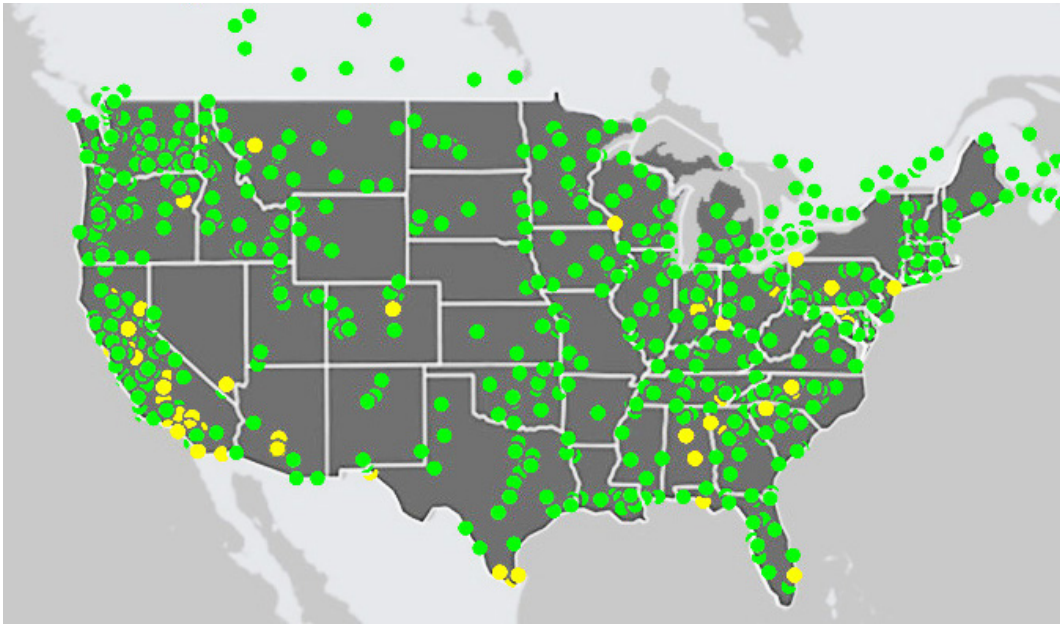


Figura 2-4. Estaciones de monitoreo ambiental regulatorio de PM_{2.5} que operan en todo EE. UU. (Fuente: AirNowTech.org²³ septiembre de 2019).

de estos contaminantes en el aire. El monitoreo regulatorio generalmente requiere instrumentos muy sofisticados que hayan sido [sometidos a pruebas y cumplan los requisitos](#)²¹ de los Métodos de Referencia Federales (FRM) o los Métodos Equivalentes Federales (FEM). Estos métodos de medición deben cumplir los requisitos de precisión de la EPA. Para garantizar la calidad de los datos, se sigue una extensa [lista de procedimientos](#)²² que incluye la calibración de los instrumentos, el mantenimiento, las condiciones de funcionamiento, las auditorías y un estricto control de calidad de los datos.

Los instrumentos aprobados para las mediciones a nivel regulatorio suelen costar miles de dólares y requieren técnicos capacitados para su operación y mantenimiento. Los estrictos requisitos del monitoreo regulatorio garantizan que la calidad de los datos sea suficiente para respaldar las importantes decisiones que se toman basándose en ellos. Por ejemplo, el South Coast AQMD opera una red de más de 40 sitios de monitoreo regulatorio. La **Figura 2-3** muestra un ejemplo de un sitio de monitoreo regulatorio en el sur de

California. La **Figura 2-4** muestra un mapa de las estaciones de monitoreo ambiental regulatorio de PM_{2.5} que operan en todo Estados Unidos.

Monitoreo de investigación

Los investigadores utilizan instrumentos similares o, en ocasiones, los mismos que se emplean en el monitoreo regulatorio



A veces, los investigadores solicitan a las personas que lleven varios sensores para medir su exposición personal a diferentes contaminantes.

para llevar a cabo sus estudios. El monitoreo de la calidad del aire con fines de investigación a menudo respalda el monitoreo regulatorio al responder preguntas relacionadas (p. ej., al proporcionar más información de la química atmosférica que da lugar a la formación de un contaminante). Este tipo de monitoreo también puede proporcionar información sobre otros contaminantes distintos de los contaminantes criterio, como gases de efecto invernadero importantes, entre ellos el dióxido de carbono y el metano.

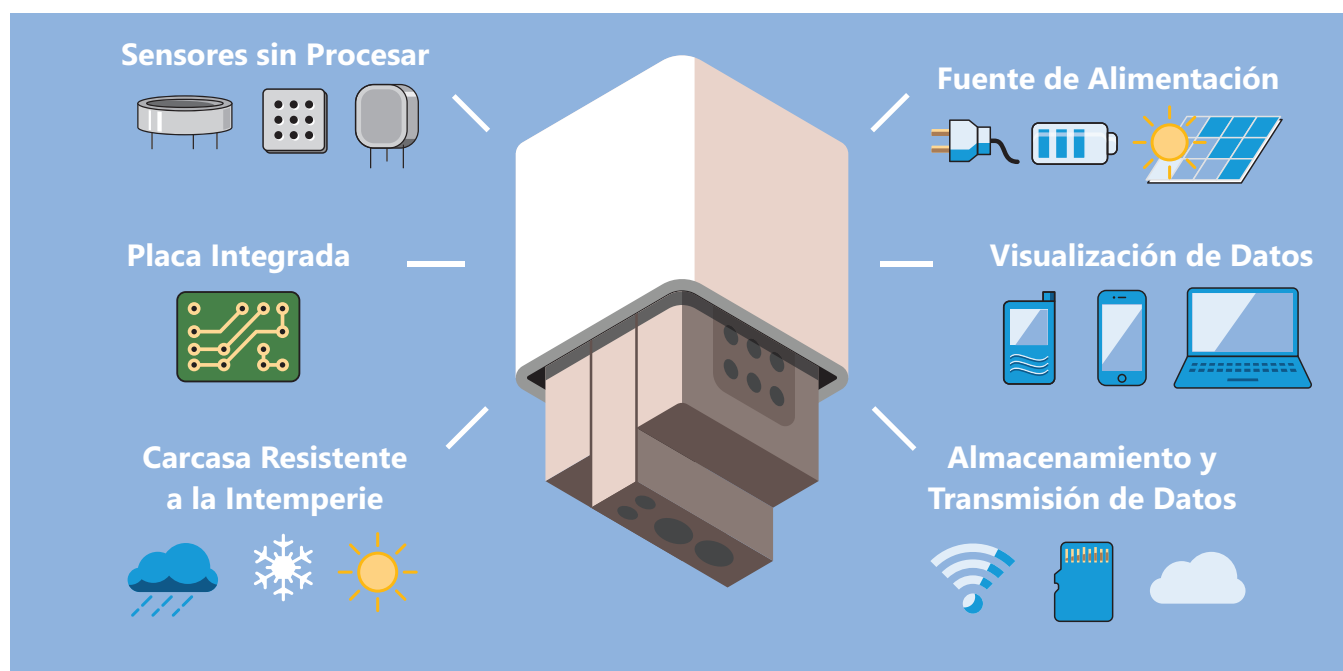
Mientras que el monitoreo regulatorio debe cumplir estrictas directrices de ubicación y mantenimiento de los instrumentos, el monitoreo con fines de investigación permite una mayor flexibilidad en el diseño de los estudios. Por ejemplo, la investigación puede incluir el monitoreo del aire realizado mediante plataformas móviles en vehículos o aeronaves. Esta categoría también puede incluir el monitoreo del aire mediante satélites o detección remota, lo que permite observar la situación a escala mundial. Aunque los métodos utilizados y los objetivos del

monitoreo de la calidad del aire con fines de investigación pueden ser más amplios y variados que el monitoreo regulatorio, este tipo de monitoreo sigue estando sujeto a rigurosos estándares en cuanto a la calidad de los datos, por lo que genera datos fiables.

¿Qué es un sistema de sensores?

Un sensor (o unidad de sensor) forma parte de un sistema completo compuesto por la carcasa (p.ej., la protección contra la intemperie en el caso de un sensor exterior), el sensor o los sensores de contaminantes, el almacenamiento de datos, la comunicación de datos, la visualización de datos, la información sobre la ubicación y la hora, y la alimentación. La **Figura 2-5** muestra los componentes básicos de un sistema de sensores: los sensores de fabricante original (OEM, por sus siglas en inglés) (a veces denominados sensores sin procesar), la placa integrada, la alimentación y el sistema de almacenamiento y transmisión de datos. Todos los

Figura 2-5.
Componentes básicos de un sistema de sensores.



componentes son importantes, pero la carcasa del sistema de sensores es un aspecto clave a considerar en un proyecto, ya que puede ser un indicador de la durabilidad del sensor y de su facilidad de uso.

En los últimos años, los sensores de calidad del aire de bajo costo han proporcionado otro método para medir los contaminantes en el aire y han abierto la exploración de la calidad del aire a un público mucho más amplio que incluye a miembros de la comunidad, docentes, estudiantes, etc. Estos dispositivos no suelen estar aprobados como métodos de medición con fines regulatorios (es decir, no son FEM ni FRM). Sin embargo, los sensores de bajo costo pueden complementar los instrumentos de la red de monitoreo regulatorio de la calidad del aire existente, son accesibles para el público en general debido a su bajo precio y requieren poco mantenimiento. Aun así, existen muchas diferencias entre los sensores de bajo costo y los instrumentos de grado regulatorio.

Costo. Los sensores de bajo costo suelen ser mucho más económicos que los monitores regulatorios, con precios que oscilan entre unos pocos cientos y unos pocos miles de dólares, siendo a menudo incluso menos en el caso de los sensores OEM.

Resolución temporal. Los sensores pueden recopilar y reportar datos con mayor resolución temporal (p. ej., 1 segundo o 1 minuto) que los monitores regulatorios (normalmente 1 hora).

Calidad de los datos. Hasta la fecha, casi ninguno de los métodos de medición utilizados en estos sensores ha sido aprobado por la EPA para el monitoreo regulatorio, con la excepción de un sensor de ozono (el



monitor personal de ozono [POM] de 2B Technologies) que utiliza un instrumento aprobado por el gobierno federal, pero cuesta alrededor de \$5,000.

Operación y mantenimiento. Los sensores suelen requerir mucho menos mantenimiento que un sistema de monitoreo regulatorio. Sin embargo, esto también significa que la calidad de los datos puede verse afectada.

Técnica de medición. La forma en que los sensores de bajo costo miden los contaminantes es a veces una versión más sencilla de cómo funcionan los instrumentos de grado regulatorio, aunque algunos también funcionan de manera completamente diferente. Esto dificulta la comparación con los datos regulatorios. Estos sensores de bajo costo ofrecen nuevas oportunidades, pero deben utilizarse de manera adecuada. Por ejemplo, se pueden instalar muchos más sensores en un área por un costo mucho menor que el de los monitores regulatorios. Para un uso no regulatorio, la selección de un sensor de bajo costo para un proyecto dependerá del tipo de preguntas que se planteen. En la **Figura 2-6** (en la página 2-22) se muestran algunos ejemplos de sensores

CÓMO ELEGIR UN SENSOR DE CALIDAD DEL AIRE



1 ¿POR QUÉ? DEFINA EL PROBLEMA

¿Qué fuentes de contaminación cercanas le preocupan?

SUELO ALTERADO	COMBUSTIÓN DE MADERA	TRANSPORTE A PEQUEÑA ESCALA	TRANSPORTE A GRAN ESCALA	INDUSTRIA LIGERA	INDUSTRIA PESADA
<ul style="list-style-type: none"> Caminos de tierra Agricultura Construcción Polvo Arrastrado por el Viento 	<ul style="list-style-type: none"> Chimeneas Restaurantes Incendios Forestales 	<ul style="list-style-type: none"> Vehículos de Pasajeros Motores Pequeños 	<ul style="list-style-type: none"> Camiones Diésel Transporte Marítimo Aviones Trenes 	<ul style="list-style-type: none"> Tintorerías Talleres Mecánicos Fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> Extracción Refinación Fábricas Distribución

2 ¿QUÉ? IDENTIFIQUE LOS CONTAMINANTES

¿Qué contaminantes generan estas fuentes?

<p>PM₁₀ Partículas Gruesas</p>	<p>PM_{2.5} Partículas Finas</p>	<p>VOCs Compuestos Orgánicos Volátiles</p>	<p>CO₂ Dióxido de Carbono</p>	<p>CO Monóxido de carbono</p>	<p>NO Óxido de Nitrógeno</p>	<p>NO₂ Dióxido de Nitrógeno</p>	<p>O₃ Ozono</p>	<p>SO₂ Dióxido de Azufre</p>
--	---	---	---	--	---	---	---------------------------------------	--

3 ¿CÓMO? EVALÚE SUS RECURSOS



DINERO



VOLUNTARIOS



TIEMPO

4 ¿DÓNDE Y CUÁNDO?

¿Cuál es su plan para realizar las mediciones?

5 ELIJA SUS SENSORES

¿Qué va a medir?





PM_{2.5} CO O₃



¿Cómo verá los datos?





EN EL SENSOR WEB APLICACIÓN

¿Necesita que sea resistente a la intemperie?





LLUVIA FRÍO CALOR

¿Cuántos necesita?





UNO RED PEQUEÑA RED GRANDE

¿Cómo se alimentará?





ENCHUFE BATERÍA ENERGÍA SOLAR

¿Cómo se almacenarán y transmitirán los datos?





WIFI TARJETA NUBE

¿Cuánto costará?




COMPRAR MANTENER



Figura 2-6. Algunos de los muchos sensores de bajo costo disponibles en el mercado.

de bajo costo utilizados habitualmente. Muchos de estos sensores han sido evaluados para determinar su precisión, exactitud y otras características en diversas circunstancias. Una de las instalaciones de pruebas está gestionada por el South Coast AQMD, denominada [Centro de Evaluación del Rendimiento de Sensores de Calidad del Aire \(AQ-SPEC\)](#).²⁴ El programa AQ-SPEC evalúa los sensores de bajo costo actualmente disponibles en condiciones ambientales reales y controladas. Asimismo, el programa tiene como objetivo “proporcionar orientación y claridad en relación con la tecnología de sensores, que evoluciona constantemente, y la interpretación de datos, así como impulsar la evolución, el desarrollo y el uso de la tecnología de sensores”. Los

sensores probados en el programa se seleccionan de la siguiente manera:

- ☁ El sensor está disponible en el mercado.
- ☁ El sensor proporciona mediciones en tiempo real o casi real con una resolución temporal de una lectura cada 5 minutos o menos.
- ☁ El sensor mide uno o más de los contaminantes criterio de los NAAQS, contaminantes tóxicos del aire, contaminantes de interés y contaminantes no clasificados como tóxicos del aire. Algunos ejemplos de los gases y partículas objetivos son el CO, el ozono, los NO_x, el PM, los COV, el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el metano.

☁ El costo de mercado del sensor es inferior a \$2,000 en total para los dispositivos de un solo contaminante o <\$2,000 por parámetro para los dispositivos de múltiples contaminantes.

Los programas como AQ-SPEC proporcionan una forma objetiva de evaluar el rendimiento de los sensores y de comprender mejor la precisión y la calidad general de los datos. Los datos de mala calidad obtenidos de sensores poco fiables no solo pueden generar confusión, sino que también ponen en peligro la evolución satisfactoria de la tecnología de sensores de bajo costo.

La EPA también lleva a cabo investigaciones sobre sensores a través de su iniciativa de Investigación sobre la Evaluación del Rendimiento y la Aplicación de Sensores (SPEAR, por sus siglas en inglés). Mediante la SPEAR, [la EPA está evaluando y probando](#)²⁵ dispositivos comerciales, así como desarrollando nuevos instrumentos

utilizando sensores OEM y otras tecnologías. Las evaluaciones SPEAR de los dispositivos disponibles en el mercado se están llevando a cabo en los laboratorios de la EPA y en varios puntos sobre el terreno en todo Estados Unidos. Los objetivos de estas evaluaciones de rendimiento son:

☁ Desarrollar una mejor comprensión de las características básicas de rendimiento de los sensores.

☁ Proporcionar resultados a los fabricantes de sensores que fomenten mejoras en el rendimiento.

☁ Comunicar las conclusiones a las partes interesadas para mejorar los resultados de las aplicaciones de los sensores.

Los resultados de las evaluaciones de los sensores se comparten con el público mediante la publicación de informes y artículos en revistas.



Para más información

[Perspectivas sobre los sensores de bajo costo](#)²⁶

Referencias

1. Environment and Climate Change Canada and U.S. Environmental Protection Agency (2014) Georgia Basin -Puget Sound airshed characterization report. R. Vingarzan, R. So, and R. Kotchenruther, eds., En84-3/2013E-PDF; EPA 910-R-14-002
2. U.S. Environmental Protection Agency (2016) NAAQS table. Disponible en <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Diciembre 20..
3. Lelieveld J., Klingmüller K., Pozzer A., Pöschl U., Fnais M., Daiber A., and Münzel T. (2019) Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. European Heart Journal, 40(20, 21), 1590-1596. Disponible en <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>.
4. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/indicator-groups/indicator-group-details/GHO/ambient-air-pollution>
5. Burnett R., Chen H., Szyszkowicz M., Fann N., Hubbell B., Pope C.A., Apte J.S., and others (2018) Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(38), 9592-9597, doi: DOI: 10.1073/pnas.1803222115. Disponible en <https://www.pnas.org/content/115/38/9592>
6. http://www.healthdata.org/sites/default/files/files/policy_report/2019/GBD_2017_Booklet.pdf
7. D.W. Dockery, C.A. Pope 3rd, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris Jr., F.E. Speizer, An association between air pollution and mortality in six U.S. cities, New England Journal of Medicine, 1993 Dec 9, 329(24):1753-9. doi: 10.1056/NEJM199312093292401. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejm199312093292401>
8. Pope III C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., and Thurston G.D. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA, 287(9), 1132-1141. Disponible en <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>.
9. Gauderman W.J., Avol E., Gilliland F., Vora H., Thomas D., Berhane K., McConnell R., Kuenzli N., Lurmann F., Rappaport E., Margolis H., Bates D., and Peters J. (2004) The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. New Engl. J. Med., 351(11), 1057-1067, doi: 10.1056/NEJMoa040610. Disponible en <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa040610>.
10. Wang Y., Li J., Jing H., Zhang Q., Jiang J., and Biswas P. (2015) Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement. Aerosol Science & Technology, 49, 1063-1077. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02786826.2015.1100710>
11. Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics from air pollution to climate change. New York. John Wiley and Sons, Incorporated.

- 12.** <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- 13.** U.S. Environmental Protection Agency (2016) A citizen's guide to radon: the guide to protecting yourself and your family from radon. Final report prepared for Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA. Report EPA 402/K-12/002. Disponible en https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/2016_a_citizens_guide_to_radon.pdf.
- 14.** <https://www.epa.gov/visibility/regional-haze-program>
- 15.** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acid_rain_woods1.JPG
- 16.** <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/how-does-ozone-damage-plants>
- 17.** Phillips N.G., Ackley R., Crosson E.R., Down A., Hutyra L.R., Brondfield M., Karr J.D., Zhao K., and Jackson R.B. (2013) Mapping urban pipeline leaks: methane leaks across Boston. Environmental Pollution, 173, 1-4. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749112004800>.
- 18.** Dallmann T.R., Kirchstetter T.W., DeMartini S.J., and Harley R.A. (2013) Quantifying on-road emissions from gasoline-powered motor vehicles: accounting for the presence of medium- and heavy-duty diesel trucks. Environ. Sci. Technol., 47(23), 13873-13881. Disponible en <https://doi.org/10.1021/es402875u>.
- 19.** <https://www.epa.gov/scram/air-pollutant-receptor-modeling>
- 20.** <https://www.epa.gov/laws-regulations/regulations>
- 21.** https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/criteria/AMTIC_List_Dec_2016-2.pdf
- 22.** <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/53.3>
- 23.** <https://www.airnowtech.org/>
- 24.** South Coast Air Quality Management District (2015) AQ-SPEC: Air Quality Sensor Performance Evaluation Center. Disponible en <http://www.aqmd.gov/aq-spec/home>.
- 25.** <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/evaluation-emerging-air-sensor-performance>
- 26.** Snyder E.G., Watkins T.H., Solomon P.A., Thoma E.D., Williams R.W., Hagler G.S.W., Shelow D., Hindin D.A., Kilaru V.J., and Preuss P.W. (2013) The changing paradigm of air pollution monitoring. Environ. Sci. Technol., 47(20), 11369-11377. Disponible en <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4022602>.



03 Planificación del proyecto

Para desarrollar una estrategia y un diseño de monitoreo, deberá definir el problema que se va a estudiar, identificar los contaminantes de interés, determinar dónde y cuándo realizar las mediciones, evaluar sus recursos y seleccionar un sistema de sensores.

La planificación es un proceso

Puede que sea necesario revisar los objetivos del proyecto para que sean alcanzables.

La planificación suele ser un proceso iterativo. Una vez que tenga los objetivos iniciales, deberá evaluarlos en función de lo que puede lograrse dadas las condiciones del proyecto (especialmente los recursos).

Para diseñar y desarrollar una estrategia de monitoreo, deberá definir el problema que se va a estudiar, identificar los contaminantes de interés, determinar dónde y cuándo realizar las mediciones, evaluar sus recursos y, por último, seleccionar un sistema de sensores.

La estrategia de monitoreo se desarrolla en función de los objetivos del proyecto, el tamaño del área que se va a evaluar, el número y la distribución de las fuentes de emisión, la presencia/ausencia de un sistema de monitoreo de la calidad del aire, el número y los

tipos de contaminantes de interés, la especificidad y sensibilidad del sistema de sensores, la frecuencia y duración del monitoreo, la magnitud de las concentraciones previstas y los recursos disponibles, incluidos los fondos, la mano de obra y los calendarios. En esta etapa del proyecto, también es conveniente considerar cómo se van a utilizar los datos y las posibles medidas de seguimiento basadas en resultados concretos. Esto permitirá recopilar datos que se ajusten a sus necesidades.

La **Figura 3-1** destaca la naturaleza iterativa de la planificación. En esta sección se le guiará a través de las preguntas “por qué”, “qué”, “dónde”, “cómo” y “cuándo” para definir un plan ideal. A menudo es necesario repetir este ciclo para responder a circunstancias reales, como las limitaciones presupuestarias.

Figura 3-1. La planificación del proyecto es un proceso que puede necesitar repetirse para ajustarse a las circunstancias reales, como las limitaciones presupuestarias.





¿Por qué mi comunidad quiere medir la calidad del aire?

Definir el problema

Para definir el problema que se va a estudiar, deberá identificar las cuestiones que preocupan a la comunidad teniendo en cuenta las fuentes de emisión, los contaminantes, el transporte de la contaminación, los grupos de población vulnerables (p. ej., los niños, las mujeres embarazadas, los ancianos y las personas con problemas de salud preexistentes) y la proximidad a fuentes de emisión en el área de estudio.

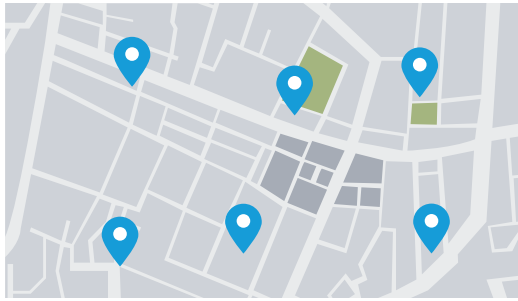
Involucrar a la comunidad

En el caso de los proyectos comunitarios, el compromiso y la participación pueden ayudar a garantizar que los datos recopilados sean significativos y relevantes para los miembros de la comunidad. Esto puede incluir involucrar a la comunidad en el proceso de toma de decisiones, fomentar la participación activa en las actividades del proyecto, comunicar la información científica, incorporar el

conocimiento y la experiencia locales, y establecer relaciones para aumentar la confianza y la comprensión de la comunidad respecto a los datos.

Para los socios de la investigación, puede ser útil trabajar con grupos comunitarios ya establecidos que cuenten con valiosos conocimientos y experiencia. Los proyectos deben considerar la posibilidad de formar un comité directivo comunitario que incluya a una variedad de miembros de la comunidad y otras partes interesadas. Asimismo, considere la posibilidad de formar un grupo asesor técnico que incluya a expertos en calidad del aire y monitoreo. Las asociaciones y la participación sólidas de la comunidad son la base del éxito y pueden conducir a un mayor conocimiento y conciencia de los problemas de calidad del aire por parte de los miembros de la comunidad.

Empiece por considerar qué preguntas le gustaría que se respondieran.



¿Le preocupa la calidad del aire de su comunidad?

Sugerencias para caracterizar la calidad del aire de la comunidad:

Piense en cómo puede evaluar los resultados. Podría comparar la calidad del aire local con la de otras comunidades. Podría comparar los datos de la misma ubicación en diferentes momentos del día o estaciones del año. Podría comparar la calidad del aire de su comunidad con los estándares de calidad del aire estatales (p. ej., California) o federales.

Enfoque recomendado: Diseñe una red de sensores colocados de manera relativamente uniforme en toda la comunidad, considere cómo analizará estos datos e identifique con qué otros datos los comparará.

Estudio de caso: [Combinación de la participación comunitaria y los enfoques científicos en la ubicación de monitores de nueva generación: El caso de la red comunitaria del aire del condado de Imperial¹](#)

Este estudio de caso ilustra un proceso colaborativo y con participación de la comunidad para desarrollar una red de monitoreo del aire comunitaria con el fin de generar datos de alta calidad. Los residentes de la comunidad participaron en el diseño del proyecto, los procesos de ubicación de los monitores, la difusión de datos y otras actividades clave, lo que aumentó su comprensión y confianza en los datos.



¿Le preocupa una fuente específica de contaminación?

Sugerencias para caracterizar la calidad del aire de la comunidad:

Podría evaluar cuándo la fuente tiene un impacto o el nivel de dicho impacto. Podría evaluar una fuente de emisión nueva o futura capturando las condiciones actuales (también llamadas "de referencia") antes de que se añada la nueva fuente.

Enfoque recomendado: Coloque sensores cerca de la fuente y también a diferentes distancias de la misma. Esto le ayudará a comprender el transporte y/o posible impacto en los residentes cercanos. Para esta aplicación, es importante disponer de sensores que caractericen los niveles de contaminantes atmosféricos de fondo.

Estudio de caso: [Estudio con muestreadores pasivos y sensores en el sur de Filadelfia para caracterizar los niveles de contaminantes atmosféricos de fondo²](#)

En este estudio se instaló una red de muestreadores pasivos (que recogieron benceno del aire durante un periodo de dos semanas) para comprender la distribución espacial del benceno cerca de las instalaciones industriales. El estudio también incluyó un muestreo de alta resolución temporal con un costo mayor. Se observó un gradiente decreciente en las concentraciones de benceno a medida que se alejaba de las instalaciones industriales, así como una variación significativa de un periodo a otro.



¿Le preocupa el aire que respira, su exposición personal?

Sugerencias para caracterizar la calidad del aire de la comunidad:

Podría explorar la calidad del aire durante diversas actividades o en diferentes lugares y momentos.

Enfoque recomendado: Considere la posibilidad de utilizar sensores portátiles y una pequeña red de sensores fijos en toda la comunidad como base para la comparación o para proporcionar un contexto adicional.

Estudio de caso: [*Validación de nuevos sensores de contaminación del aire para mejorar las estimaciones de exposición para análisis epidemiológicos y ciencia ciudadana*](#)³

Este estudio de caso ilustra una aplicación de sensores de bajo costo para medir la exposición personal al monóxido de carbono (CO), el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Los sensores pudieron detectar niveles altos y bajos de contaminación del aire de acuerdo con las expectativas (p. ej., niveles altos en carreteras muy transitadas o cerca de ellas y niveles más bajos en áreas residenciales y parques). Los datos se utilizaron para complementar dos estudios de exposición en curso.



Otras consideraciones

En los proyectos comunitarios, normalmente se centra la atención en la escala local, es decir, dentro de una comunidad o un vecindario. No obstante, puede que una comunidad desee comprender el impacto de la contaminación del aire transportada desde lugares más lejanos. Las partículas más grandes (PM₁₀), como el polvo de las actividades industriales o de la construcción, no se desplazan lejos de su fuente, mientras que las partículas más pequeñas (PM_{2.5}) pueden recorrer hasta cientos de kilómetros. También puede tener en cuenta otras comunidades o áreas que puedan servir de comparación para ayudarlo a comprender sus datos. Por ejemplo, un proyecto puede contrastar las concentraciones de contaminantes en áreas de justicia ambiental con respecto a áreas que no son de justicia ambiental.



Justicia ambiental

La [*justicia ambiental \(EJ\) se define*](#)⁴ como el trato justo de todas las personas, independientemente de su raza, color, nacionalidad o ingresos, en lo que respecta al desarrollo, la implementación y el cumplimiento de las leyes, normativas y políticas medioambientales. Un trato justo significa que ningún grupo de personas debe soportar una parte desproporcionada de las consecuencias medioambientales negativas derivadas de las operaciones o políticas industriales, gubernamentales y comerciales.

Es importante tener en cuenta la población de interés: ¿quiénes son los afectados? Piense también en cómo define su comunidad. Por ejemplo, ¿se define como un barrio concreto o hay límites geográficos? Por otra parte, ¿su comunidad se define por un determinado grupo demográfico o de personas que comparten una preocupación o necesidad común, pero que pueden abarcar una gran superficie? ¿Quién más puede verse

afectado por su proyecto o estar interesado en él? Tal vez le interese investigar las concentraciones de contaminantes en lugares donde haya poblaciones sensibles, como personas mayores, personas con problemas de salud o jóvenes. Reflexionar sobre cómo define su comunidad le ayudará a decidir a quién incluir en su proyecto como participantes, socios y partes interesadas.



Para obtener más información antes de comenzar

El siguiente recurso ofrece una visión general de varios proyectos comunitarios de monitoreo de la calidad del aire, así como sus resultados. Considere la posibilidad de utilizarlos como ejemplos o modelos al planificar su proyecto:

[Investigación participativa comunitaria para el estudio de la contaminación del aire: Revisión de motivaciones, enfoques y resultados](#)⁵

En el siguiente recurso encontrará una lista completa de preguntas que debe tener en cuenta al planificar una evaluación medioambiental, como una investigación sobre la calidad del aire a nivel local. Además, este recurso incluye una evaluación de un proyecto de investigación sobre la calidad del aire en el que se utilizaron sensores de bajo costo:

[Consejos y preguntas frecuentes para las evaluaciones de salud medioambiental basadas en la ciencia ciudadana](#)⁶

Además de considerar a quién incluir, también debe considerar cómo organizará su proyecto. Este tipo de proyectos suelen estar dirigidos por el público o contar con su participación, y existen diferentes estructuras de gobernanza [disponibles que pueden ayudar a configurar la participación](#):⁷ contributiva, colaborativa y cocreada o transformadora. Por lo general, los proyectos contributivos son diseñados y dirigidos por investigadores, y los participantes ayudan aportando datos. En los proyectos colaborativos, además de aportar datos, los miembros del público que participan pueden ofrecer comentarios sobre el diseño del proyecto o el análisis de los datos. En los proyectos cocreados o transformadores, al menos algunos de los miembros del público que participan se involucran en todas las fases de investigación, desde la determinación de las preguntas orientativas hasta el debate de los siguientes pasos basados en los resultados.

Es más probable que un proyecto dé como resultado información útil y relevante cuando hay una mayor participación y compromiso por parte de la comunidad. La propia comunidad dará forma al proyecto en función de las necesidades, las preocupaciones y los conocimientos locales de sus miembros.

Establecer los objetivos del proyecto

Al establecer los objetivos del proyecto, sea específico y conciso. Para que los objetivos sean alcanzables, utilice el principio SMART presentado en [Hay una forma S.M.A.R.T de redactar metas y objetivos de gestión.](#)⁸

Basándose en la experiencia de otros proyectos comunitarios, tenga en cuenta también lo siguiente:

- ☁ Gestione las expectativas: Sea consciente de las limitaciones de la tecnología de los sensores y la naturaleza del proceso científico. Esté dispuesto a tomar medidas adicionales o diferentes en caso de que los datos no sean de calidad o no respondan a su pregunta.
- ☁ Prevea disponer de sensores de repuesto para sustituir los que funcionen mal.
- ☁ Analice cómo piensa utilizar los datos y trabaje con sus socios para esbozar los posibles pasos siguientes en función de los distintos resultados que pueda obtener (consulte la Sección 5 para ayudarle con este análisis).
- ☁ Redacte una pregunta para el proyecto que le ayude a comprender mejor sus preocupaciones sobre la calidad del aire local si obtuviera una respuesta. Por ejemplo:

“¿Cómo afecta la fuente de emisión ___ a la calidad del aire de nuestra comunidad?”

“¿Cómo se comparan las concentraciones de $PM_{2.5}$ medidas por mi sensor de bajo costo con las registradas por otros equipos de monitoreo, como el monitor regulatorio que representa el área?”

- ☁ Evalúe continuamente si los datos que tiene previsto recopilar responden a la pregunta de su proyecto y revise su plan según sea necesario.



- ☁ Considere reservar una parte del financiamiento para ampliar la recopilación de datos según sea necesario (esto puede implicar la compra de sensores adicionales, la incorporación de un tipo de sensor diferente o la recopilación de otro tipo de datos, como encuestas de salud o más datos sobre la calidad del aire mediante muestreadores pasivos integrados en el tiempo). Añada un presupuesto para el mantenimiento preventivo rutinario y la resolución de problemas de los sensores, así como para la supervisión general.
- ☁ Incluya en su presupuesto el costo de las reuniones comunitarias (p. ej., alquiler de salas, refrigerios/comidas, material de oficina, fotocopias, servicios de traducción y cuidado de niños), así como el apoyo adecuado a los socios comunitarios y la compensación/incentivos a los participantes y usuarios de sensores por su tiempo.
- ☁ Mantenga el proyecto enfocado; por ejemplo, no intente abordar demasiados contaminantes al mismo tiempo.
- ☁ Cuantos más datos recopile, mayor será el poder estadístico de sus resultados: Realice mediciones en múltiples ubicaciones durante periodos prolongados para maximizar la recopilación de datos. Si es posible, realice mediciones adicionales (p. ej., en más sitios, más tiempo). Si puede, coloque sensores duplicados o triplicados en algunas de las ubicaciones para respaldar evaluaciones posteriores de la calidad de los datos.

Los planes del proyecto deben incluir metas específicas, medibles, alcanzables, relevantes y con plazos determinados.



Explore los tipos de emisiones por contaminante en su área utilizando herramientas gratuitas en línea.

Figura 3-2. (Página opuesta) Procesos de emisión y contaminantes, sus fuentes y problemas de calidad del aire

¿Qué quiere medir mi comunidad?

Los contaminantes de interés se definirán en función de los objetivos del proyecto (p. ej., las fuentes de preocupación). En este momento, las opciones de sensores se limitan a una breve lista de contaminantes. Hay muchos contaminantes que aún no se pueden medir de forma fiable con sensores de bajo costo o que no se pueden medir en absoluto porque no existe la tecnología de sensores adecuada. Además de seleccionar el contaminante, deberá comprender los rangos de concentración previstos, las concentraciones medibles por el sensor y la exactitud y precisión del sensor necesarias para cumplir los objetivos del proyecto.

Estos procesos incluyen la combustión (p. ej., la combustión diésel), la volatilización (p. ej., la evaporación del combustible), la generación mecánica (p. ej., el polvo arrastrado por el viento) y las reacciones químicas (p. ej., el ozono).

Una vez que haya determinado los contaminantes que probablemente emite la fuente que le preocupa, también debe tomar nota de las otras fuentes en su área de estudio que pueden liberar estos mismos contaminantes. Si es posible, elija uno o varios contaminantes para medir que le proporcionen la información más útil sobre la fuente de interés.

Vincular la(s) fuente(s) con los contaminantes

Las fuentes suelen emitir más de un contaminante. La Figura 3-2 ofrece una visión general de los contaminantes que pueden emitir los diferentes tipos de fuentes, entre los que se incluyen el transporte y el sector energético. También se muestran los procesos de emisión y formación de contaminantes.

Entre los recursos que le ayudarán a comprender mejor las fuentes o los contaminantes específicos de su área se encuentran el [Informe del Inventario Nacional de Emisiones](#),⁹ [CalEnviroScreen de California](#)¹⁰ y la herramienta EJScreen de la EPA de EE. UU.¹¹ (Nota: Al momento de la publicación de esta guía en español, EJScreen ya no se encuentra disponible. Esta sección ha sido traducida sólo con fines de exhaustividad.)

Procesos de Emisión y Contaminantes Asociados



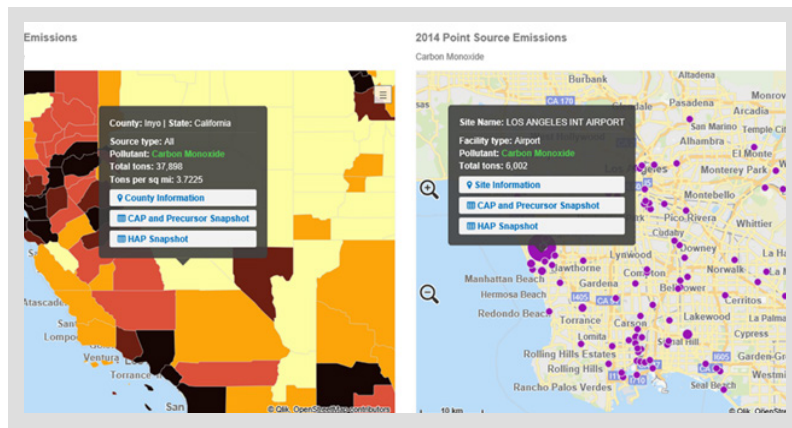
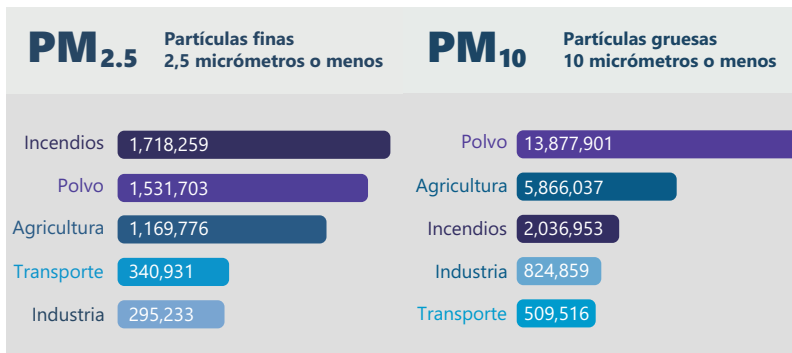
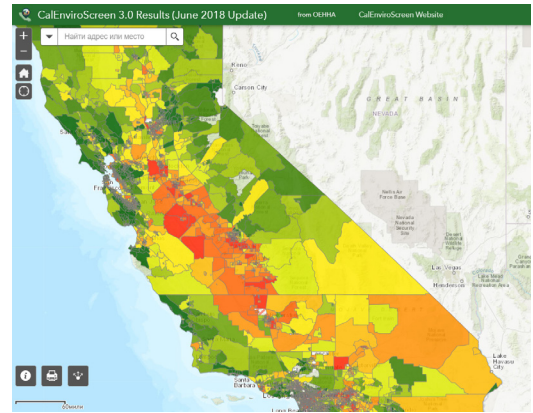


Figura 3-3. Inventario nacional de emisiones de 2014 de PM_{2.5} (arriba a la izquierda) y PM₁₀ (arriba a la derecha) por tipo de fuente en toneladas (Fuente: EPA).¹²

Figura 3-4. Total de CO emitido por condado (abajo a la izquierda) y fuentes puntuales que emiten CO (abajo a la derecha). CAP = contaminante atmosférico criterio y HAP = contaminante atmosférico peligroso (Fuente: EPA).¹²

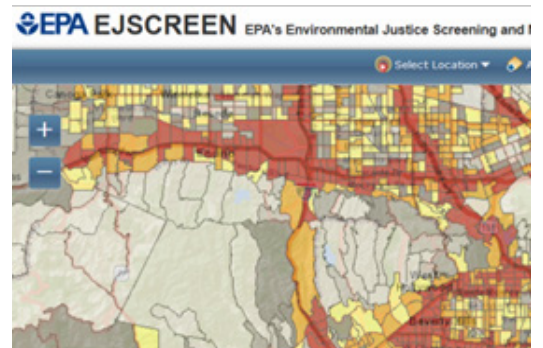
Informe del Inventario Nacional de Emisiones

La EPA documenta el inventario de emisiones por estados.¹² En este sitio web, puede consultar los tipos de emisiones por contaminante en su área utilizando las herramientas de la EPA y Google Earth.¹³ En la **Figura 3-3** se muestra un resumen de las emisiones de 2014 de PM_{2.5} y PM₁₀ en todo el país. También puede consultar las emisiones totales de cada contaminante por condado o incluso fuentes puntuales individuales, como se muestra en la **Figura 3-4**. Para utilizar este recurso, una vez abierto, desplácese hacia abajo para acceder a las diferentes herramientas disponibles: la sección "Trends" ofrece resúmenes generales de las emisiones, la sección "Source Contributions" proporciona información sobre las emisiones en forma de mapa por estado y por condado, y la sección "Point Source Contributions" le permite explorar fuentes puntuales individuales (localizadas y fijas) en un mapa.



CalEnviroScreen

CalEnviroScreen¹⁰ ofrece un mapa interactivo que identifica las comunidades que sufren una carga desproporcionada o son vulnerables a diversos contaminantes. También incluye un desglose del riesgo relativo de cada contaminante. Arriba se muestra una captura de pantalla del sitio.



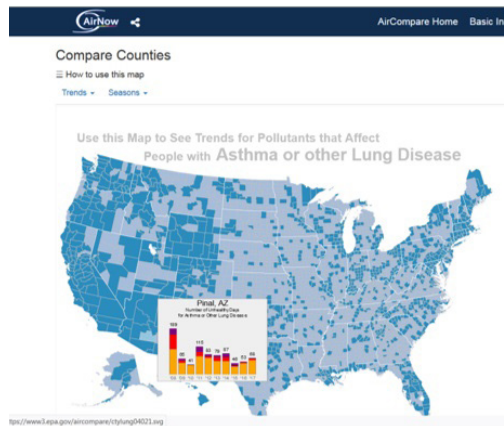
EJScreen de la EPA de EE. UU.

La herramienta EJScreen de la EPA de EE. UU.¹¹ es otra forma de explorar datos demográficos y de justicia ambiental, así como de examinar las fuentes de emisión individuales que informan a la EPA. Una vez que abra el mapa, seleccione "Añadir mapas" para añadir "Mapas EJSCREEN" o "Mapas adicionales" y, a continuación, "Sitios que informan a la EPA" para examinar las fuentes de contaminación individuales (consulte la imagen anterior). (Nota: Al momento de la publicación de esta guía en español, EJScreen ya no se encuentra disponible. Esta sección ha sido traducida sólo con fines de exhaustividad.)

Determinar las concentraciones relevantes de contaminantes

Es importante comprender los rangos de concentración que se pueden esperar de los contaminantes de interés. Por ejemplo, en el caso de las partículas finas, el rango de concentración esperado podría ser de 0-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas), con valores de 1 minuto potencialmente mucho más altos. En este caso, un límite de detección inferior deseable para un sensor sería de aproximadamente 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El límite de detección inferior es la concentración más baja de contaminante que el sensor puede detectar. Para las partículas gruesas, se puede esperar un rango de concentración de 0-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas) y un límite inferior de detección útil de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso del ozono, el rango de concentración esperado para un promedio de 1 hora es de 0-150 ppb. Un límite de detección inferior deseable para un sensor sería de aproximadamente 10 ppb. (Fuente: [Guía sobre sensores de aire de la EPA](#)¹⁴).

Existen muchos recursos disponibles para comprender las concentraciones típicas/normales en su área, las concentraciones excepcionales (p.ej., muy altas) y cómo varían en diferentes escalas de tiempo (p.ej., estacionalmente, diariamente). Para comprender las concentraciones típicas de contaminantes a escala regional en su área, puede consultar los resúmenes de datos sobre la calidad del aire.

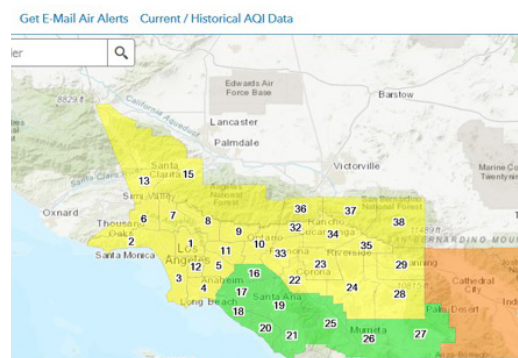


Air Compare

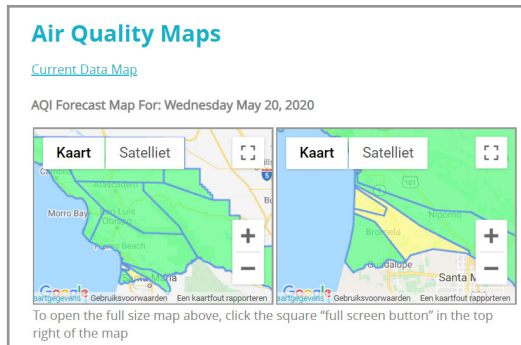
[Air Compare](#)¹⁵ le permite explorar las condiciones de los contaminantes en su área, comparando el número de días insalubres en su condado con respecto a otros. Consulte la captura de pantalla anterior.

Agencias locales de calidad del aire

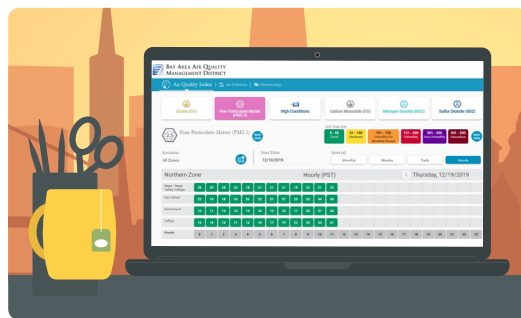
Las agencias locales de calidad del aire ofrecen información sobre la calidad del aire y las emisiones.



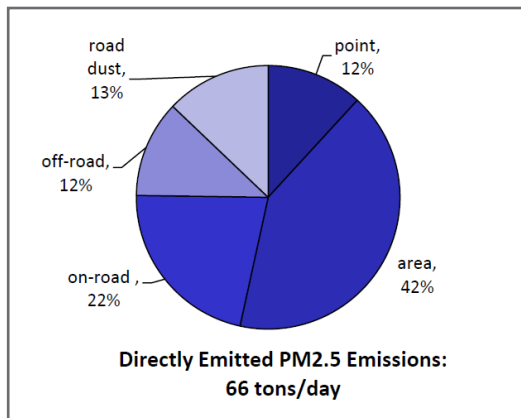
[Calidad del aire del South Coast AQMD](#).¹⁶ Consulte la captura de pantalla anterior.



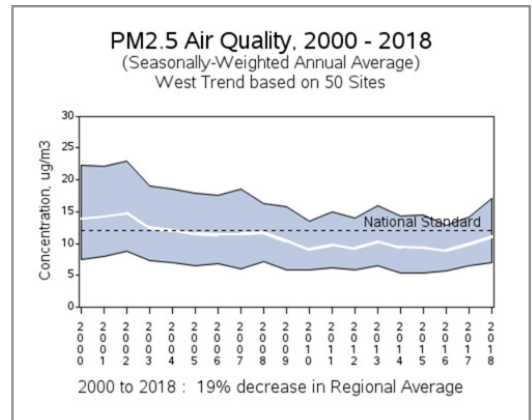
[Calidad del aire del San Luis Obispo Air Pollution Control District.](#)¹⁷ Consulte la captura de pantalla anterior.



[Calidad del aire del Bay Area Air Quality Management District \(BAAQMD\).](#)¹⁸ Consulte la captura de pantalla anterior.



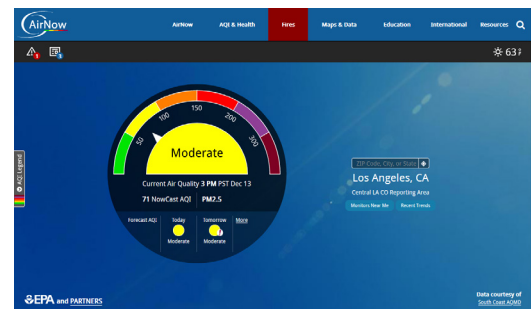
[Planes de gestión de la calidad del aire.](#)¹⁹ Consulte la captura de pantalla anterior.



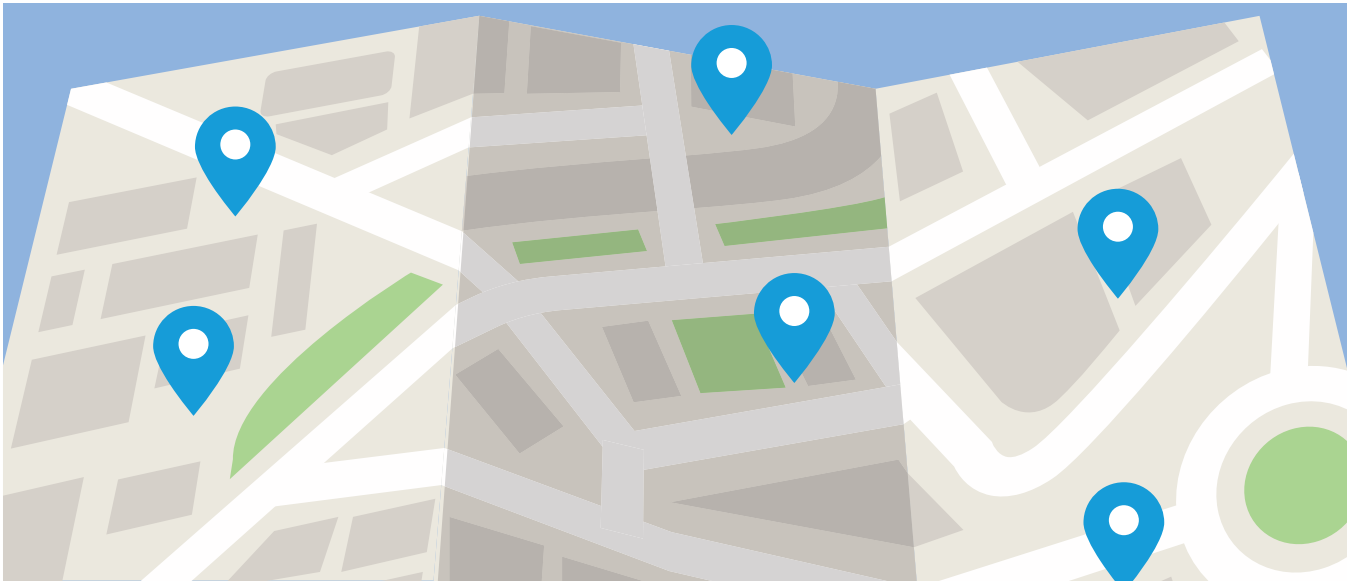
Tendencias atmosféricas de la EPA de EE. UU.

[Tendencias regionales de concentración de PM_{2.5} o PM₁₀ en relación con los NAAQS.](#)²⁰ Consulte la captura de pantalla anterior.

AirNow.gov



Para conocer las condiciones actuales en todo EE. UU., [AirNow.gov](#)²¹ proporciona el índice de calidad del aire (AQI) (consulte el Apéndice A). Cuanto más alto es el valor del AQI, mayor es el nivel de contaminación del aire y mayor es el riesgo para la salud. Un valor AQI de 100 corresponde generalmente a los NAAQS para el contaminante, que es el nivel que la EPA ha establecido para proteger la salud pública. Los valores AQI inferiores a 100 se consideran normalmente satisfactorios. Cuando son superiores a 100, se considera que la calidad del aire es perjudicial para la salud de determinados grupos de personas sensibles y, a medida que los valores AQI aumentan, para todo el mundo. Consulte la captura de pantalla anterior.



¿Dónde y cuándo quiere realizar mediciones mi comunidad?

A la hora de evaluar dónde y cuándo realizar mediciones, tenga en cuenta el entorno geofísico (p. ej., el terreno), la meteorología (p. ej., los vientos predominantes), los tipos y las características de las fuentes (p. ej., el calendario de funcionamiento) y la disponibilidad de datos de monitoreo existentes. Las concentraciones de contaminantes pueden variar mucho tanto a corta como a larga distancia. Por lo general, las concentraciones serán más altas cerca de una fuente y pueden disminuir rápidamente a medida que se aleja. En esta fase de la planificación del proyecto, es conveniente explorar su zona, consultar mapas detallados, definir los límites de la comunidad y hablar con expertos locales en calidad del aire para obtener una comprensión general de la meteorología, las fuentes de emisión, la ubicación de los monitores existentes y otros detalles.

El número de ubicaciones de su red dependerá de los recursos (fondos disponibles y personal/voluntarios); el tamaño de la zona que se va a evaluar,

incluida la distancia entre la(s) fuente(s) y la(s) ubicación(es) de interés; la necesidad (o no) de realizar mediciones de fondo; y los gradientes previstos en las concentraciones desde la(s) fuente(s) hasta la(s) ubicación(es) de interés (debido a la dirección del viento, la velocidad del viento, la geografía, etc.). El proceso de planificación suele ser iterativo.

Seleccionar las ubicaciones

La **Tabla 3-2** muestra la escala de monitoreo y lo que representan las mediciones en estas escalas. Esto puede ayudarle a pensar sobre el tamaño y la cobertura de su red de sensores. Por lo general, las mediciones se consideran colocalizadas (es decir, que miden el mismo aire) cuando se colocan a una distancia de entre 1 y 10 metros (es decir, entre 3 y 30 pies). Las mediciones cercanas a la fuente suelen realizarse a una distancia de entre 10 y 100 metros (es decir, entre 30 y 300 pies) de la fuente, dependiendo de la altura de las

Tipo de Monitoreo	Escala	Ejemplos de Objetivos de Monitoreo
Colocalizado	1 - 10 m 3.3 - 33 ft	Precisión, exactitud, sesgo
Microescala (cerca de la fuente)	10 - 100 m 33 ft - 330 ft	Concentración más alta, impacto de la fuente
Escala media (cambios en la concentración [gradientes] de fuentes como carreteras)	100 - 500 m 109 yd - 547 yd	Concentración más alta, impacto de la fuente
Escala de vecindario	500 m - 4 km 0.3 mi - 2.5 mi	Concentración más alta, impacto de la fuente, impacto en la población
Escala urbana (condiciones de toda la ciudad)	4 - 100 km 2.5 mi - 62 mi	Concentración más alta, impacto en la población, nivel de fondo, estándar secundario
Escala regional (normalmente áreas rurales)	100 - 1,000 km 62 mi - 621 mi	Nivel de fondo, estándar secundario

Tabla 3-2. Escala de monitoreo.²²

emisiones. Si las emisiones se envían a gran altura, es posible que desee incluir muestreos en la dirección del viento. Tenga en cuenta también lo que la altura de muestreo implica para sus datos. Si desea comprender el impacto en los residentes de una comunidad, deberá tomar muestras en la zona de respiración (definida como entre 3 y 72 pulgadas del suelo en el [Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2010](#))²³ de los hogares.

El tamaño de la red de monitoreo necesaria para capturar las características de la calidad del aire varía según la escala de monitoreo. Para una escala media, por ejemplo, es probable que unos pocos sensores colocados a diferentes distancias de la fuente sean suficientes para capturar un gradiente de concentración. Para un vecindario, podrían ser necesarios más sensores para cubrir adecuadamente el área.

La selección del sitio puede resultar difícil porque hay muchos factores

que considerar, entre ellos la logística. Algunas ideas para la selección son:

- ☁ **Consulte con sus socios locales** para obtener recomendaciones sobre los sitios acerca de los cuales les interesa obtener más información
- ☁ **Tenga en cuenta la proximidad** a los sitios de monitoreo del aire existentes
- ☁ Considere las **áreas desatendidas/ con pocos recursos** o las áreas de justicia ambiental
 - Utilice [CalEnviroScreen](#)¹⁰ con las selecciones predeterminadas o modificadas para incluir solo factores de calidad del aire
 - Aplique la [Regla South Coast AQMD 1309.1](#)²⁴ (10 % de la población por debajo del umbral de pobreza; censo de 2000)
 - Fuera de California, puede utilizar EJSscreen de la EPA.¹¹ (Nota: Al momento de la publicación de esta guía en español, EJSscreen ya no se encuentra disponible. Esta sección ha sido traducida sólo con fines de exhaustividad.)



☁ **Identifique las áreas “recién” afectadas**, como las que han experimentado cambios demográficos o desarrollos de infraestructura recientes

☁ Coloque sensores cerca de las **instalaciones** que cuenten con permisos de las agencias reguladoras

☁ Coloque sensores cerca o en **espacios públicos** (p. ej., escuelas, hospitales, parques públicos)

☁ Coloque sensores cerca de **fuentes de contaminación relevantes** (p. ej., autopistas, puertos, refinерías)

☁ **Revise IVAN** ([Identificación de infracciones que afectan a los vecindarios](#))²⁵ para conocer las ubicaciones que pueden ser motivo de preocupación

☁ Desarrolle y aplique un **sistema de puntuación para clasificar los sitios** por relevancia. Evalúe factores como:

- Proximidad a receptores sensibles (p. ej., escuelas y hospitales)
- Proximidad a posibles fuentes de confusión (para el monitoreo comunitario) o proximidad a una fuente de interés (para el monitoreo cercano a la fuente)
- Seguridad del sitio, disponibilidad de energía, Wi-Fi, seguridad, accesibilidad y otros factores

☁ Planifique **mediciones de fondo** o sitios de control en ubicaciones que no se espera que se vean afectadas por las fuentes de monitoreo

☁ Maximice la **recopilación de datos para aumentar la potencia estadística** de sus resultados realizando mediciones en múltiples ubicaciones durante periodos prolongados. Realice mediciones adicionales si es posible (p. ej., más sitios, más veces)

☁ Si es posible, coloque **sensores duplicados o triplicados** en algunos lugares para respaldar evaluaciones posteriores de la calidad de los datos

☁ Esté dispuesto a **ajustar la ubicación de los sensores**. Es posible que su red de sensores sea más densa de lo necesario (si este es el caso, puede que haya muy poca diferencia entre los sensores). O puede que su red no esté bien situada para detectar el transporte de contaminantes

Cuando pida a los miembros de la comunidad o a las empresas locales que acojan o mantengan sensores, puede considerar la posibilidad de hacerles firmar un formulario de exención de responsabilidad. Consulte el Apéndice I para ver una plantilla.

Figura 3-5.

Los vientos predominantes en el aeropuerto de Los Ángeles son del oeste. (Fuente: [AirNow-Tech](#).²⁶ Rosa de los vientos de diciembre de 2018-2019).



Factores que influyen en las emisiones

A la hora de diseñar un proyecto, es necesario tener en cuenta las variaciones diarias, semanales y estacionales. Para evaluar cuándo realizar una medición, considere si las emisiones son continuas (p. ej., operaciones las 24 horas del día, los 7 días de la semana) o si siguen un patrón, como el tráfico de vehículos en las horas punta. Algunas fuentes de emisión serán estacionales. Por ejemplo, si está estudiando el humo de leña residencial, es más probable que observe los efectos en las noches frías y en las vacaciones de invierno que en las noches con temperaturas suaves. Para evaluar la frecuencia con la que debe realizar mediciones y con cuántos sensores, tenga en cuenta que, si las emisiones de la fuente son intermitentes, es posible que necesite más lugares de muestreo y que los sensores funcionen durante un periodo de tiempo más largo para captar un evento (es decir, el impacto de las emisiones de la fuente en un sensor concreto). Además, para capturar una columna de contaminantes que cambia rápidamente o es de corta duración, el sensor deberá ser capaz de realizar mediciones en intervalos de tiempo muy cortos, del orden de segundos. En

condiciones de calidad del aire menos variables, probablemente sea suficiente un muestreo en escalas de tiempo de minutos u horas.

La altura a la que se emiten los contaminantes influye en su transporte y, por lo tanto, en la exposición. Las emisiones pueden ser cercanas al nivel del suelo, como los gases de escape de los automóviles, o proceder de fuentes más altas, como las chimeneas industriales. En el caso de las emisiones elevadas, es más difícil determinar dónde realizar las mediciones debido a la complejidad de la meteorología y a la dificultad de predecir el recorrido de la nube de emisión.

La calidad del aire y el clima están relacionados. El clima puede afectar tanto a las concentraciones de contaminantes como al rendimiento de los sensores. La meteorología es importante, especialmente los vientos. Seleccione ubicaciones que estén a favor del viento con respecto a la fuente y tenga en cuenta que, dependiendo de la meteorología y el terreno locales, "a favor del viento" puede abarcar múltiples direcciones. Las mediciones contra el viento también son útiles, ya que pueden dar una idea de los niveles de fondo de los contaminantes antes de que el aire llegue a una fuente concreta. Un análisis previo del proyecto

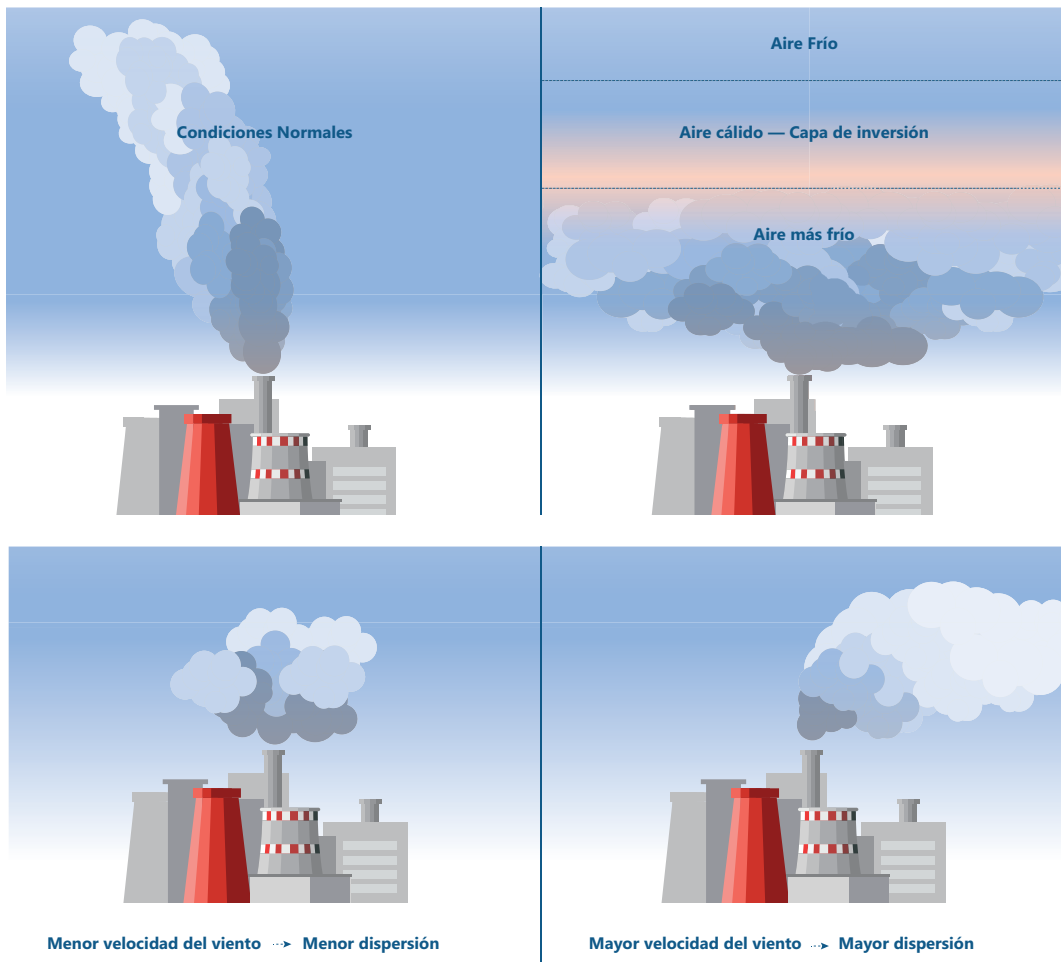


Figura 3-6a. Una capa de inversión puede dar lugar a altas concentraciones de contaminantes al atrapar la contaminación del aire más cerca del suelo.

Figura 3-6b. Los vientos ayudan a dispersar los contaminantes.

sobre los vientos es útil para ayudar a determinar dónde tomar muestras en relación con las fuentes de interés. Los datos locales sobre el viento en tiempo real están disponibles en sitios web como WunderMap.com.²⁶ Para comprender los vientos predominantes, un método práctico consiste en observar la posición de la pista de aterrizaje de un aeropuerto cercano. La mayoría de las veces, la pista está alineada con los vientos predominantes (consulta la **Figura 3-5** en la página 3-16).

Los vientos y la altura de mezcla son parámetros meteorológicos clave que ayudan a explicar las concentraciones de contaminantes. La altura de mezcla es la altura sobre el suelo a la que pueden llegar los contaminantes. Por lo general, las alturas de mezcla más altas se asocian con concentraciones de contaminantes

más bajas. Una altura de mezcla baja, como una inversión, puede dar lugar a concentraciones altas de contaminantes. En una inversión, la disminución normal de la temperatura del aire al aumentar la altitud se invierte, y el aire por encima del suelo es más cálido que el aire por debajo de él, lo que provoca unas condiciones estables que atrapan la contaminación (**Figura 3-6a**).

De manera similar, las concentraciones de contaminantes disminuyen al aumentar la velocidad del viento debido a una mayor dispersión (**Figura 3-6b**). Los vientos ayudan a dispersar los contaminantes con concentraciones proporcionales a las emisiones de la fuente divididas por la velocidad del viento. Las concentraciones también son proporcionales a las emisiones de la fuente divididas por la altura de mezcla.



El equipo de un proyecto puede estar formado por un responsable del proyecto, participantes, usuarios de sensores y socios académicos o regulatorios.

Enumere los recursos

Para aprovechar al máximo sus recursos, considere la posibilidad de aprovechar otros trabajos que se estén llevando a cabo o que ya se hayan realizado. Por ejemplo, familiarícese con estudios previos de medición de la contaminación u otras investigaciones en curso en el área. Los resultados de estos estudios pueden proporcionar detalles importantes para mejorar su plan de medición y ofrecer valiosas lecciones sobre lo que ha funcionado y lo que no. Es útil obtener datos regulatorios de su área. Puede averiguar dónde se lleva a cabo este monitoreo visitando el sitio web de su distrito local del aire y consultando la página de monitoreo del aire. Además de investigar las actividades de monitoreo y los estudios relacionados, tanto pasados como actuales, hable con sus socios locales y miembros de

la comunidad sobre sus observaciones de las tendencias y patrones típicos de la calidad del aire relacionados con las fuentes locales.

Otros aspectos específicos que debe tener en cuenta una vez que haya completado su investigación preliminar son:

- Presupuesto para sensores y accesorios, manejo de datos, personal técnico, tiempo de los participantes, tiempo de los socios que apoyan el proyecto, comunicación de los resultados y extras como costos de impresión o refrigerios para reuniones públicas.

- Limitaciones de tiempo, especialmente si su proyecto está financiado por una subvención.

☁ Capacidades técnicas, conocimientos y habilidades de todos los involucrados en el proyecto (responsable del proyecto, participantes, usuarios de sensores, socios académicos o regulatorios, etc.). Por ejemplo, considere si alguno de los participantes tiene:

- Habilidades de programación que puedan apoyar el análisis y la visualización de datos.
- Habilidades de comunicación que puedan apoyar la divulgación y mantener a los participantes informados y comprometidos durante toda la implementación, así como desarrollar capacidades dentro de su comunidad.

☁ Apoyo para los sensores en los sitios de monitoreo deseados, como energía (p. ej., toma de corriente, batería o energía solar), comunicación de datos (p. ej., Wi-Fi, red celular, Bluetooth), seguridad, acceso para la instalación, mantenimiento preventivo rutinario y servicio técnico.

☁ Qué datos complementarios tiene o le gustaría tener, y cómo acceder a ellos (p. ej., datos meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento).

Será importante asignar el tiempo y los recursos adecuados al proyecto e incluir planes de contingencia para abordar los problemas que surjan. Con los proyectos de medición, sin duda se enfrentará a retos. La estructura del proyecto y la naturaleza de la participación del público también deben guiar la asignación de fondos y recursos. Por ejemplo, el desarrollo de la capacidad, los conocimientos y las habilidades locales puede requerir más tiempo y recursos iniciales, pero también es probable que dé lugar a un proyecto más sólido y exitoso debido al aumento de la capacidad y la implicación de los socios. Por último, es importante tener en cuenta que, aunque los sensores de calidad del aire de bajo costo son más fáciles de manejar que los equipos de monitoreo convencionales, siguen siendo una tecnología nueva para la mayoría de la población.

Tenga en cuenta las capacidades técnicas, los conocimientos y las habilidades de todos los que participan en el proyecto.



Gerente de Proyecto	Técnico de Campo	Científico de Datos	Asistente de Investigación	Gerente de divulgación
Las habilidades incluyen la planificación, la dirección de un equipo, la elaboración de presupuestos y la comunicación.	Las habilidades incluyen la instalación y el mantenimiento del hardware, así como el soporte técnico para las conexiones wifi.	Las habilidades de programación son muy útiles para analizar y visualizar los datos.	Comprender los contaminantes de su zona requiere habilidades de investigación y planificación.	Las habilidades de comunicación pueden apoyar la divulgación en la comunidad y mantener a los miembros del equipo informados y comprometidos.



Figura 3-7. Elija las características adecuadas para sus sensores.

Cómo seleccionar un sistema de sensores

Resumen

La selección de un sensor es probablemente el paso más crítico de su proyecto. La **Figura 3-7** muestra las opciones de sensores a tener en cuenta. Los pasos clave incluyen elegir un sensor que pueda medir de manera fiable los contaminantes de interés, en los niveles de concentración que se espera observar, con el nivel de exactitud y precisión necesarios para abordar la pregunta de investigación; seleccionar las características que necesita para la comunicación, el procesamiento y la visualización de los datos; y ajustarse al presupuesto y a los recursos disponibles.

Para llevar un registro, a muchos grupos comunitarios les ha resultado útil crear una hoja de cálculo que resuma estas características y consideraciones clave de los posibles sensores, con el fin de facilitar la comparación y la clasificación.

Seleccionar un sensor para los contaminantes y las concentraciones esperadas

Puede reducir aún más las opciones de sensores basándose en otras medidas, como el límite de detección del sensor y la exactitud/precisión.

Para que las mediciones proporcionen información significativa y potencialmente útil, es importante comprender las métricas de medición, como la precisión, la exactitud y el sesgo de los sensores que se planea utilizar. La exactitud es la concordancia general de la medición de un sensor con la concentración real, normalmente medida por un monitor de referencia. La precisión es la capacidad del sensor para reproducir una medición en circunstancias idénticas, o la concordancia entre mediciones repetidas. El sesgo es

un error de medición, como informar constantemente valores más altos o bajos que el valor real. Es importante comprender estas métricas (exactitud, precisión y sesgo) para alcanzar los objetivos de datos e interpretar adecuadamente la información. Estas métricas pueden cambiar con el tiempo y en diferentes condiciones meteorológicas. La **Figura 3-8** muestra una descripción visual de la exactitud y la precisión. La **Figura 3-9** muestra un extracto de una evaluación de campo del PurpleAir PA-II que muestra los resultados de exactitud.

Las métricas de medición necesarias variarán de un proyecto a otro. Debe asegurarse de que los sensores sean lo suficientemente exactos y tengan límites de detección lo suficientemente bajos como para proporcionar datos que respondan a las preguntas de su proyecto. El Apéndice K presenta un análisis de las consideraciones específicas de cada aplicación respecto al rendimiento de los sensores, así como varios ejemplos de concentraciones de contaminantes relevantes basados en estudios anteriores.

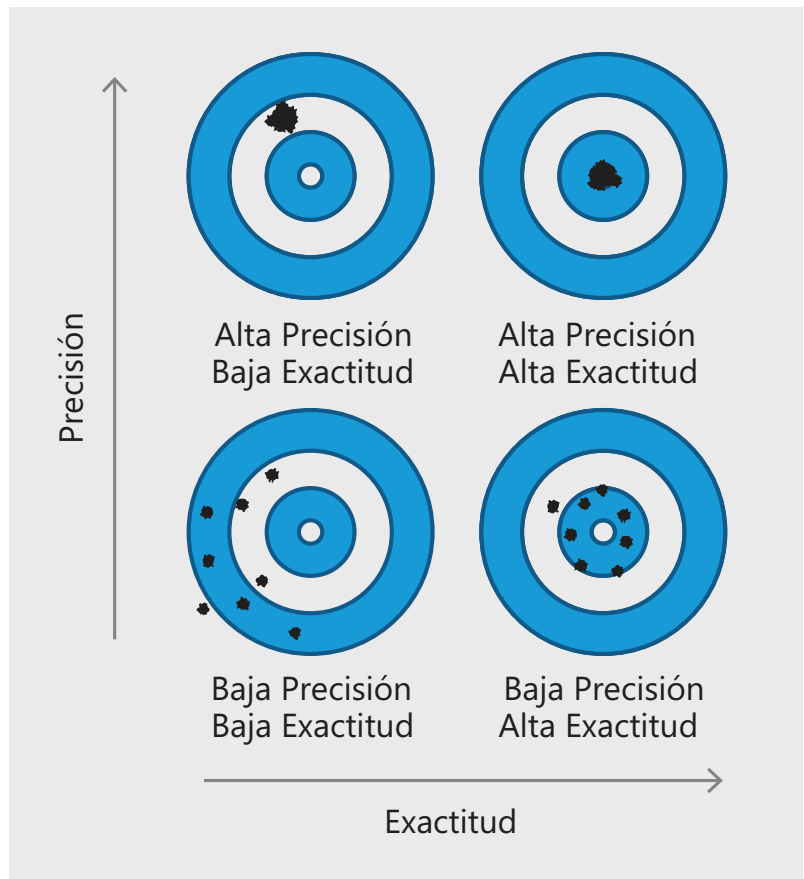


Figura 3-8. Ilustración de la exactitud y la precisión. En la parte superior izquierda se muestra un ejemplo de sesgo.

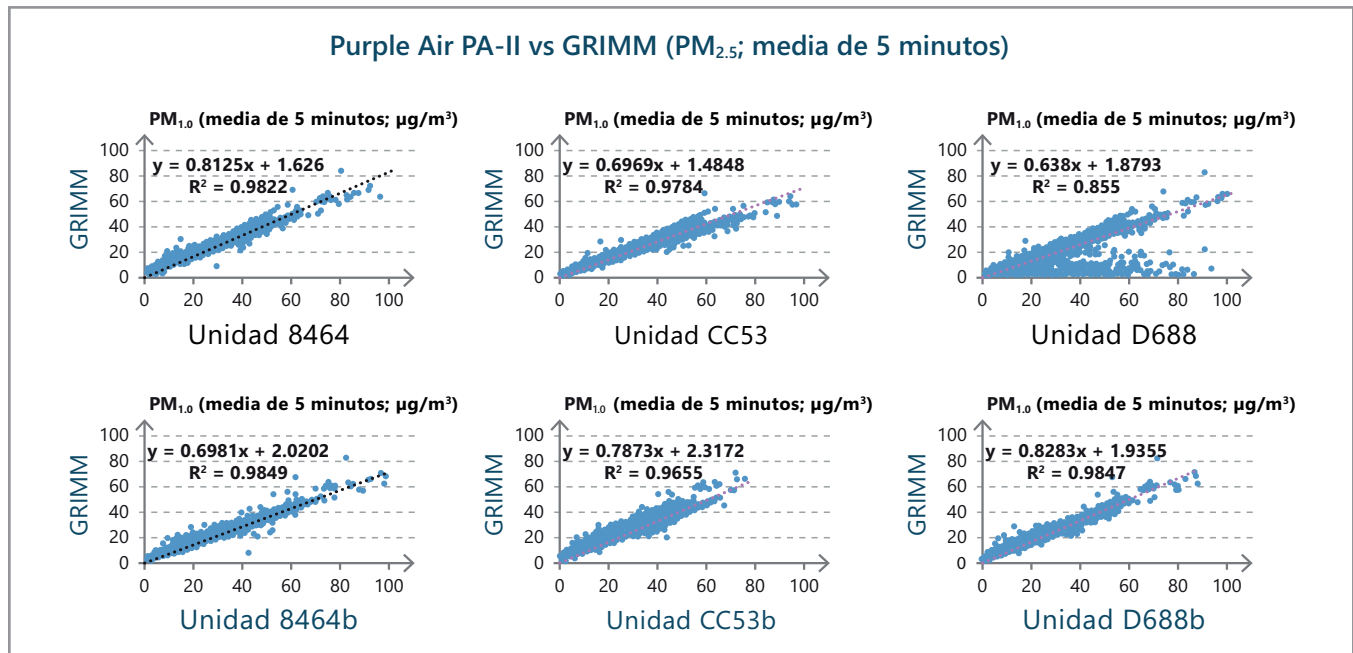


Figura 3-9. Extracto de una evaluación de campo de AQ-SPEC del PurpleAir PA-II. Consulte el Capítulo 4 para obtener información sobre los diagramas de dispersión y la regresión lineal.

Evaluación de los sensores

Los sensores se están desarrollando rápidamente y ya hay decenas de ellos en el mercado. Se están realizando evaluaciones de sensores, para uso no regulatorio, que pueden ser recursos útiles a la hora de considerar si un sensor podría satisfacer las necesidades de su proyecto.

Límite de detección

El límite de detección es la concentración más baja de un contaminante en el medioambiente que un sensor u otro instrumento concreto puede detectar de forma rutinaria.

☁ [Centro de Evaluación del Rendimiento de Sensores de Calidad del Aire \(AQ-SPEC\) del South Coast AQMD](#)²⁸

☁ [Oficina de Investigación y Desarrollo \(ORD\) de la EPA de EE. UU.](#)²⁹

☁ [Ministerio de Protección Ambiental \(MEP\) de la República Popular China](#)³⁰

☁ [Comité Europeo de Normalización \(CEN\) Comité Técnico 264, Grupo de Trabajo 42](#)³¹

El programa AQ-SPEC del South Coast AQMD prueba sensores de bajo costo siguiendo protocolos tanto para informar al público sobre el rendimiento de los sensores disponibles en el mercado como para catalizar la evolución, el desarrollo y el uso satisfactorios de esta tecnología. Los sensores se evalúan sobre el terreno en condiciones ambientales reales y en el laboratorio en condiciones ambientales controladas. Sobre el terreno, los sensores se prueban en una estación de monitoreo del aire ya existente utilizando instrumentos FRM o FEM tradicionales para medir su rendimiento general. Los sensores que demuestran un rendimiento aceptable sobre el terreno se llevan al laboratorio AQ-SPEC para realizar pruebas más detalladas en una cámara ambiental bajo condiciones controladas y junto con instrumentos FEM, FRM y/o la mejor tecnología disponible. AQ-SPEC ha probado tanto sensores de partículas como de gases.

La Oficina de Investigación y Desarrollo

de la EPA realiza “investigaciones para avanzar en el desarrollo y la aplicación de la próxima generación de monitoreo del aire a través de su iniciativa de Investigación sobre la Evaluación del Rendimiento y la Aplicación de Sensores (SPEAR)”. La EPA está evaluando y probando dispositivos comerciales, así como desarrollando y poniendo a prueba nuevos instrumentos que utilizan sensores miniaturizados y otras tecnologías. Además, [la EPA ha elaborado un resumen de los sensores que ya han sido probados](#),³² entre los que se incluyen tanto sensores de partículas como de gases.

En 2017, el MEP de la República Popular China elaboró unos estándares de rendimiento para los sistemas de sensores de partículas y gases que incluyen criterios para las evaluaciones de laboratorio y de campo (Departamento de Protección Ambiental de la provincia de Hebei [China]). Estos estándares también abarcan los métodos para comparar los datos de los sensores con los datos de los instrumentos de referencia, el diseño de la red, los requisitos técnicos y los métodos de prueba, la garantía y el control de calidad (QA/QC) del sistema de monitoreo y su funcionamiento, así como la instalación y aceptación de la red.

El Comité Técnico 264 del CEN, Grupo de Trabajo 42, está desarrollando especificaciones técnicas para los requisitos de rendimiento y los métodos de prueba de los sensores de bajo costo en las condiciones de laboratorio y de campo prescritas. Las especificaciones describirán los procedimientos de prueba y los requisitos para las evaluaciones de rendimiento de los sistemas de sensores de bajo costo, centrándose en los compuestos gaseosos. Las evaluaciones incluirán la sensibilidad, la selectividad y la estabilidad de los sensores.

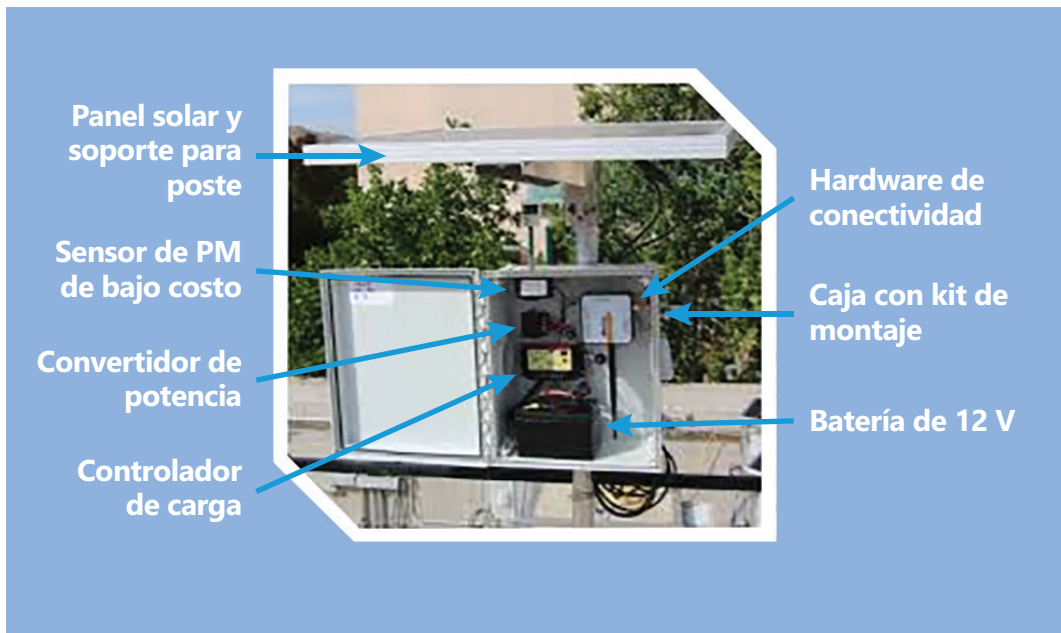


Figura 3-10.
Ejemplo de un sistema de sensores.

El Centro Común de Investigación (JRC, por sus siglas en inglés) es el servicio científico y de conocimiento de la Comisión Europea. [El JRC también publicó una evaluación de sensores de gases.](#)³³

La experiencia ha demostrado que en el trabajo comunitario se prefieren los sensores disponibles en el mercado por su disponibilidad y soporte técnico. No obstante, también ha habido colaboraciones muy exitosas entre el mundo académico y grupos comunitarios que trabajaron juntos para implementar sistemas personalizados.

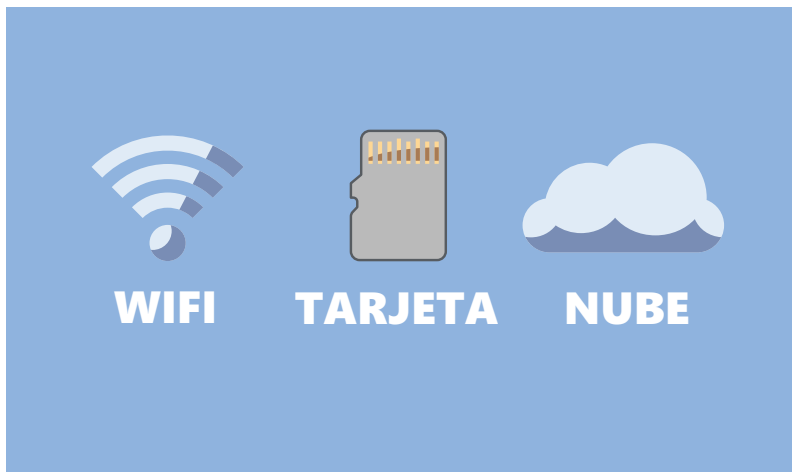
Facilidad de uso

Un criterio clave para la selección de sensores es la facilidad de uso: ¿es fácil de usar el sistema de sensores? Para la participación comunitaria con un amplio abanico de participantes, los sensores intuitivos y fáciles de usar son probablemente los más convenientes. Considere preguntas como: ¿Es complicado instalar el sensor? ¿Es fácil verificar si el sensor sigue recopilando datos? ¿Cuenta el sensor con alguna característica que

fomente la participación (p. ej., el envío de notificaciones automáticas o una pantalla fácilmente visible)? Si es posible, es útil probar varios sensores con un grupo focal de la comunidad para obtener comentarios de los usuarios potenciales basados en su experiencia práctica.

Requisitos de energía

Dependiendo del lugar donde planea instalar sus sensores, deberá decidir cómo suministrarles energía. La energía de la red eléctrica es la opción preferida, pero no siempre está disponible. Algunos sistemas de sensores pueden configurarse o venir equipados con la opción de paneles solares. La **Figura 3-10** muestra un ejemplo de un sistema de sensores.



Tenga en cuenta cómo se almacenan y se accede a los datos.

Acceso y manejo de datos

Otra cuestión importante es el proceso de acceso a los datos. ¿Dónde se almacenan y procesan los datos, y cómo se transmiten? ¿Qué importancia tiene disponer de datos sin procesar frente a valores finales? En lo que respecta a los sensores, los datos sin procesar suelen referirse a los datos tomados del sensor antes de aplicar cualquier corrección, calibración o ecuación de conversión. Los datos sin procesar pueden referirse a la señal electrónica (p. ej., valores de voltaje) del sensor, que luego se corrige y se convierte en valores de concentración. También pueden referirse a valores de concentración mínimamente procesados de un sensor comercial; a veces, los datos están disponibles antes de que se apliquen algoritmos de corrección más complejos.

Es posible que un usuario desee utilizar datos menos procesados (o datos sin procesar) si tiene la intención de desarrollar sus propias ecuaciones de calibración o correcciones de datos del sensor. También es posible que el usuario confíe en los algoritmos de corrección desarrollados por el

fabricante y prefiera utilizar los datos procesados y corregidos. En cualquier caso, a la hora de seleccionar un sensor, es útil tener una idea del nivel de procesamiento al que se han sometido los datos.

Además del tipo de datos disponibles, tenga en cuenta cómo se almacenan y se accede a ellos. Algunos sensores almacenan los datos "localmente" (es decir, en el sensor), por ejemplo, en una tarjeta SD, y es necesario cargarlos manualmente en un sitio web o en una herramienta de análisis de datos. Por otra parte, muchos sensores transmiten automáticamente los datos a un servidor informático virtual (es decir, la nube) para su almacenamiento; sin embargo, estos suelen requerir que el sensor esté conectado continuamente a una red Wi-Fi o celular. Algunos sensores también transmiten los datos utilizando redes celulares que no requieren Wi-Fi. Sin embargo, una consideración importante es que conectar un sensor a un servicio web (utilizando Wi-Fi o redes celulares) puede ser difícil y/o problemático, y es posible que no todos los participantes dispongan de acceso a Internet o Wi-Fi. Una señal celular débil también puede provocar la pérdida de datos debido a problemas de conectividad. Tenga en cuenta también que algunos sensores tienen suscripciones mensuales o anuales para acceder a los datos o cuotas de proveedores de telefonía celular.

Es importante tener en cuenta el nivel de familiaridad con la tecnología de todas las personas que vayan a utilizar un sensor o interpretar los datos del mismo, así como el presupuesto del proyecto.

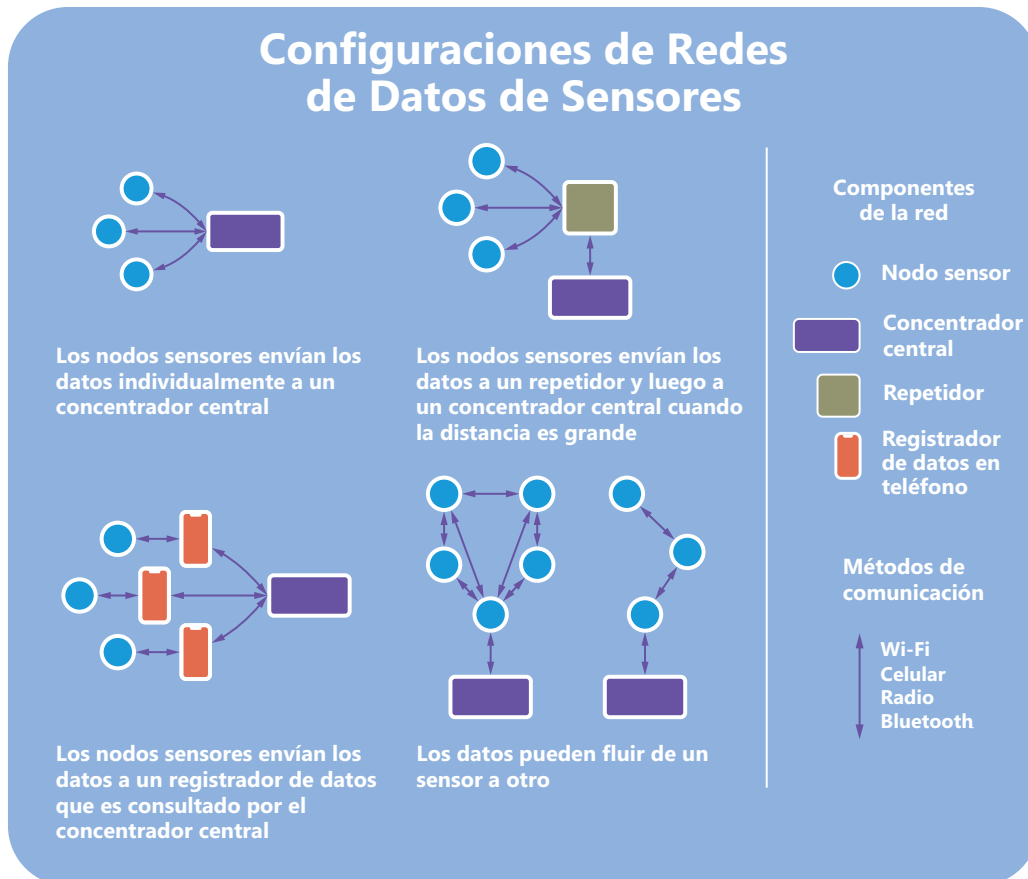


Figura 3-11. Varias configuraciones de redes de datos de sensores.

La **Figura 3-11** muestra varias configuraciones de redes de datos de sensores. Los nodos sensores pueden (1) enviar datos individualmente a un concentrador central o (2) enviar datos a un repetidor y luego al concentrador central (cuando la distancia entre los sensores y el concentrador central es mayor que la capacidad de transmisión). Los sensores también pueden enviar datos a un registrador de datos, que luego es consultado por el concentrador central. Los datos también pueden fluir de un sensor a otro.

Tenga en cuenta que también hay diferencias en la forma en que se gestionan y comunican los datos de un fabricante a otro. Algunos adoptan un enfoque de acceso abierto, mientras que otros utilizan el procesamiento, el almacenamiento y la comunicación de datos en nubes privadas. Las comunidades han expresado su

preocupación por el lugar donde se almacenan los datos y por la posibilidad de que los fabricantes de sensores cesen su actividad y se pierdan todos sus datos.

Como se explica con más detalle en el Capítulo 4, es importante vigilar sus datos durante la recopilación. Por lo tanto, es fundamental disponer de una forma de visualizar los datos mediante mapas, series temporales y otros gráficos. Supervisar los datos ayuda a garantizar que los problemas se identifiquen y se resuelvan a tiempo para maximizar la captura de datos. Además, al examinar los datos con regularidad, se puede comprender mejor lo que se está viendo. En proyectos anteriores también se ha observado que, aunque se haya proporcionado capacitación a una comunidad, a veces se instalan pocos sensores. Identificar esto a tiempo ayuda a evaluar y reajustar los planes de divulgación.



Los sensores instalados en el exterior estarán expuestos a la intemperie.

Durabilidad

En cualquier proyecto, es importante tener en cuenta la durabilidad del sistema de sensores. La durabilidad se refiere a la capacidad del sistema de sensores para soportar el desgaste y seguir funcionando correctamente. Los sensores instalados en el exterior estarán expuestos al calor, el viento, la humedad y el polvo. Es probable que los sensores sufran golpes, sacudidas y caídas. Los sensores con una carcasa resistente e impermeable probablemente serán más duraderos. En el caso de los sensores de fase gaseosa, el sensor puede contaminarse con el tiempo y dejar de funcionar correctamente. Los investigadores y las agencias de calidad del aire siguen aprendiendo sobre la durabilidad de los sensores a medida que las instalaciones se prolongan y se utilizan más fabricantes y más tipos de sensores.



Costos y rentabilidad

Los costos de los sistemas de sensores varían mucho. El costo es siempre un factor importante que hay que tener en cuenta al diseñar un proyecto. Los sensores individuales suelen costar entre unos pocos y varios cientos de dólares, mientras que las unidades con múltiples sensores oscilan entre unos cientos y varios miles de dólares. Es posible que también tenga que considerar la compra o el alquiler de un método de medición más sofisticado, como un FEM, para cumplir los objetivos de su proyecto. El tamaño y la composición de su red de sensores pueden afectar a la viabilidad. Es más fácil trabajar con una red pequeña (p. ej., de 1 a 10) compuesta por sensores del mismo tipo y fabricante que con una red grande (p. ej., de más de 50) compuesta por múltiples tipos de sensores y/o fabricantes. Deberá tener en cuenta todo el sistema de sensores, incluyendo la comunicación y el acceso a los datos, las piezas de repuesto, cómo se implementará el sistema (p. ej., montado, transportado) y los requisitos de energía.

Descripción del proyecto	Costo individual del sensor	Costos adicionales	Total para el primer año
Una persona adquiere un solo sensor para monitoreo personal y el sensor seleccionado proporciona acceso abierto a los datos.	\$200	\$0	\$200
Una red comunitaria de 20 sensores que son bastante fáciles de instalar e incluyen acceso abierto a los datos.	\$150	\$0	\$3,000
Configuración de una red de 12 sensores para el monitoreo del aire alrededor de una fuente de posible preocupación. En este caso, se necesita una carcasa adicional para proteger los sensores de las condiciones meteorológicas, así como un sistema de registro de datos y comunicaciones.	\$400	\$1,000 (por carcasa, por sensor) \$650 (por registro de datos y comunicaciones celulares, al mes por red)	\$24,600
Una red comunitaria que utiliza menos dispositivos (cinco), pero más complejos, capaces de medir múltiples contaminantes y que también requieren una suscripción para acceder a los datos.	\$3,000	\$500 (por unidad, por año)	\$17,500

La **Tabla 3-4** ofrece un ejemplo de los costos del sistema de sensores para un proyecto. También es aconsejable planificar la sustitución de algunos sistemas por otros nuevos en caso de fallo del sistema, vandalismo o robo.

Si le preocupa el financiamiento, considere la posibilidad de comenzar con un proyecto piloto, o una versión más pequeña y preliminar del proyecto que tiene en mente, cuyos resultados podrían ayudarle a obtener más financiamiento para futuras iteraciones del proyecto. Además, consulte las bibliotecas de sensores y los programas de préstamo de sensores; un programa como este puede satisfacer las necesidades de su proyecto en lo que respecta al acceso a sensores o puede ser una buena forma de llevar a cabo un proyecto piloto. La información sobre [los programas de préstamo disponibles se encuentra en el sitio web de la EPA](#).³⁴

Soporte técnico

Otra parte fundamental de un proyecto y de su plan es contar con el personal y los fondos adecuados para brindar soporte técnico a la comunidad. El soporte técnico incluye la capacitación sobre cómo utilizar los sensores, la resolución de problemas de los sensores con los miembros de la comunidad (a lo largo de toda la implementación), la creación de videos sobre diversos aspectos del proyecto (p. ej., instalación y ubicación de sensores) y la creación de guías de instalación o listas de verificación (p. ej., consulte el Apéndice C de este documento). Algunas comunidades han encontrado eficaz involucrar a los estudiantes en sus proyectos para que ayuden con las preguntas relacionadas con la tecnología (p. ej., los sensores, el Wi-Fi) de otros miembros de la comunidad.

Tabla 3-4. Ejemplos de costos para proyectos de distintos tamaños.

Consejos para proyectos con sensores

A continuación, se resumen algunos consejos clave extraídos de estudios de monitoreo comunitario y de investigación:

Cronograma

Incluya en su plan el tiempo necesario para adquirir y montar el equipo. A veces, los sistemas de sensores pueden ser escasos, especialmente si el fabricante es relativamente nuevo en el negocio.

Pruebas previas al proyecto

Realice pruebas para asegurarse de que el equipo funciona según lo esperado. Es importante realizar pruebas iniciales de los sistemas de sensores para su uso particular. Deberá asegurarse de que los participantes puedan utilizar fácilmente los sistemas según lo previsto.

Capacitación

Obtenga y proporcione la capacitación adecuada para el equipo. La capacitación es fundamental para ayudar a sus participantes a obtener datos útiles. Contar con personas que ayuden a los participantes a resolver los problemas de sus sensores y a responder a sus preguntas durante la implementación de los sensores ayuda a garantizar un proyecto más fluido y a limitar la frustración de los participantes.

Calidad de los datos

Incluya el control de calidad en su planificación. Un proyecto con datos de mala calidad puede ser menos útil que no recopilar ningún dato.

Un problema común en los proyectos comunitarios de sensores de bajo costo es la confusión entre las emisiones que interesan y las que el sensor puede medir realmente. Con frecuencia, un participante se preocupa por emisiones gaseosas, por ejemplo, de una gasolinera, pero el sensor mide partículas que no son emitidas por la

evaporación de la gasolina. Asegúrese de que se comprenden y gestionan las expectativas de la comunidad y de que se concilian con lo que es factible durante el proceso de planificación para minimizar la confusión y la insatisfacción más adelante en el proyecto.

Para más información



[Guía sobre sensores de aire³⁵](#)

[Guía para desarrollar una red de monitoreo comunitaria³⁶](#)

Referencias

1. Wong M., Bejarano E., Carvlin G., Fellows K., King G., Lugo H., Jerrett M., Meltzer D., Northcross A., Olmedo L., Seto E., Wilkie A., and English P. (2018) Combining community engagement and scientific approaches in next-generation monitor siting: the case of the Imperial County community air network. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 523, doi: 10.3390/ijerph15030523, March 15. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29543726/>.
2. Thoma E.D., Brantley H.L., Oliver K.D., Whitaker D.A., Mukerjee S., Mitchell B., Wu T., Squier B., Escobar E., Cousett T.A., Gross-Davis C.A., Schmidt H., Sosna D., and Weiss H. (2016) South Philadelphia passive sampler and sensor study. *J. Air Waste Manage.*, 66(10), 959-970, doi: <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1184724>. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2016.1184724>.
3. Jerrett M., Donaire-Gonzalez D., Popoola O., Jones R., Cohen R.C., Almanza E., de Nazelle A., Mead I., Carrasco-Turigas G., Cole-Hunter T., Triguero-Mas M., Seto E., and Nieuwenhuijsen M. (2017) Validating novel air pollution sensors to improve exposure estimates for epidemiological analyses and citizen science. *Environmental Research*, 158, 286-294, doi: 10.1016/j.envres.2017.04.023. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28667855/>.
4. https://19january2021snapshot.epa.gov/environmentaljustice_.html
5. Commodore A., Wilson S.M., Muhammad O., Svendsen E.R., and Pearce J. (2017) Community-based participatory research for the study of air pollution: a review of motivations, approaches, and outcomes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(8), doi: DOI: 10.1007/s10661-017-6063-7. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-017-6063-7>.
6. Barzyk T.M., Huang H., Williams R., Kaufman A., and Essoka J. (2018) Advice and frequently asked questions (FAQs) for citizen-science environmental health assessments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 960, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph15050960>. Disponible en <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/5/960>
7. Bonney R., Ballard H., Jordan R., McCallie E., Phillips T., Shirk J., and Wilderman C.C. (2009) Public participation in scientific research: defining the field and assessing its potential for informal science education. Group report prepared by Center for Advancement of Informal Science Education, Washington, D.C. Disponible en <https://informalscience.org/research/public-participation-scientific-research-defining-field-and-assessing-its-potential-informal/>.
8. Doran G.T. (1981) There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives. *Management Review*, 70, 35-36. Disponible en <https://vorakl.com/articles/smart/>

9. <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/national-emissions-inventory-nei>
10. <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/report/calenviroscreen-40>
11. <https://ejscreen.epa.gov/mapper>
(Nota: Al momento de la publicación de esta guía en español, EJScreen ya no se encuentra disponible. Esta sección ha sido traducida sólo con fines de exhaustividad.)
12. <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/reports-and-summaries>
13. <https://www.google.com/earth>
14. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>
15. <https://www3.epa.gov/aircompare/#home>
16. <https://scaqmd-online.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=3d51b5d2fc8d42d9af8c04f3c00f88d3>
17. <https://www.slcleanair.org/air-quality/forecasting.php>
18. <https://www.baaqmd.gov/about-air-quality/current-air-quality/air-monitoring-data/#/aqi?id=316&date=2019-12-19&view=hourly>
19. <http://www.aqmd.gov/home/air-quality/clean-air-plans/air-quality-mgt-plan>
20. <https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends#pmreg>
21. <http://www.AirNow.gov>
22. U.S. Environmental Protection Agency (2008) Quality assurance handbook for air pollution measurement systems, Volume II: ambient air quality monitoring program. Prepared by the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, Research Triangle Park, NC, EPA-454/B-08-003, December. Disponible en https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/qa/Final%20Handbook%20Document%201_17.pdf.
23. <http://www.aqmd.gov/docs/default-source/rule-book/reg-xiii/rule-1309-1-priority-reserve.pdf>
24. <https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashraestandard622010?srsliid=AfmBOoouHI9L14GtVYqfvPctCmDSisOgh-s8IHZFEWFmDLht01QQtLUD>
25. www.ivanonline.org
26. <https://www.airnowtech.org/>
27. <https://www.wunderground.com/wundermap>
28. <http://www.aqmd.gov/aq-spec>
29. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>

30. Environmental Protection Department of Hebei Province (2017) DB13/T2545-2017: Technical regulation for selecting the location of air pollution control gridded monitoring system, and Environmental Protection Department of Hebei Province (2017) DB13/ T2546-2017: Technical specification for installation acceptance and operating of air pollution control gridded monitoring system.

31. <https://standards.iteh.ai/catalog/tc/cen/1dcd8f4d-521f-465f-af1c-91ef3e852bab/cen-tc-264-wg-42>

32. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/evaluation-emerging-air-pollution-sensor-performance>

33. Spinelle L., Gerboles M., Kotsev A., and Signorini M. (2017) Evaluation of low-cost sensors for air pollution monitoring: effect of gaseous interfering compounds and meteorological conditions. Technical report prepared by European Commission, doi: 10.2760/548327. Disponible en <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/23e1a2c7-3c41-11e7-a08e-01aa75ed71a1>.

34. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/air-sensor-loan-programs>

35. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>

36. <https://www.phi.org/thought-leadership/guidebook-for-developing-a-community-air-monitoring-network/>



04 Implementación de los sensores

Entre los componentes clave para implementar con éxito una red de sensores se encuentran:

1. Uso y resolución de problemas de los sensores
2. Recopilación de datos útiles y aprovechables
3. Comprensión de los datos



Los anfitriones de los sensores necesitarán capacitación si van a instalar y mantener sus propios sensores.

Uso y resolución de problemas de los sensores

Capacitación

¿Cómo se instalarán los sensores o quién los instalará?

Para comenzar, los responsables del proyecto deben decidir cómo abordar la instalación de los sensores. Por ejemplo, se pueden proporcionar sensores a personas que puedan instalarlos por su cuenta o el proyecto puede contar con un instalador o un pequeño equipo de instaladores. Para tomar esta decisión, tenga en cuenta los recursos, el alcance y los objetivos del proyecto, así como las habilidades técnicas de los participantes. Es posible que los responsables del proyecto deseen utilizar recursos para apoyar el trabajo del instalador o del equipo de instalación. Una ventaja de este enfoque es que el uso de un instalador o un pequeño equipo de instaladores puede dar lugar a instalaciones más uniformes de los sensores y, por lo tanto, a datos más fiables. Sin embargo,

el alcance del proyecto (es decir, el tamaño de la red de sensores prevista) o los recursos disponibles pueden requerir que la instalación la realicen los propios anfitriones.

Instalación por parte de un instalador o equipo de instaladores

Para garantizar que la instalación se realice de manera uniforme y según las instrucciones, es importante desarrollar un procedimiento operativo estándar (SOP, por sus siglas en inglés) o un conjunto de instrucciones para guiar a los instaladores. Consulte el Apéndice C para obtener orientación sobre la instalación del sensor PurpleAir. Entre las mejores prácticas se incluye la realización de sesiones de capacitación presenciales en las que los instaladores pueden familiarizarse con los sensores, practicar la instalación y hacer preguntas. Para documentar la instalación, es importante implementar un

sistema para que los instaladores tomen notas. Estas notas pueden incluir la hora y la fecha de la instalación, la ubicación y fotografías o descripciones del área que rodea al sensor.

Instalación por parte de los participantes o los anfitriones de los sensores

En el caso de la instalación por parte de los anfitriones de los sensores, todos los participantes necesitarán capacitación sobre cómo instalar y utilizar su sensor. Dependiendo del tamaño de la implementación, es una práctica común la “capacitación de capacitadores”, en la que un experto capacita a algunos miembros del proyecto, quienes posteriormente dirigen una capacitación más amplia para la comunidad. La capacitación incluye proporcionar información sobre los objetivos del proyecto, los requisitos de los sensores (como la necesidad de disponer de Wi-Fi), dónde instalar el sensor (criterios de ubicación), cómo minimizar su impacto en las mediciones, cómo ver los datos que se recopilan, la resolución básica de problemas del sistema de detección y cómo se utilizarán los datos.

Unas instrucciones claras, breves y plastificadas que describan la instalación del sistema de sensores, su configuración y el acceso a los datos son de gran utilidad para los participantes. El proyecto de la subvención STAR llegó a la conclusión de que las guías de instalación deben limitar el texto y basarse en ayudas visuales (es decir, imágenes, diagramas, etc.). El Apéndice B contiene algunas preguntas frecuentes útiles (y sus respuestas). El Apéndice C proporciona información sobre la instalación del sensor PurpleAir PA-II. El Apéndice F ofrece una plantilla para ayudar a elaborar guías para sensores nuevos o diferentes basándose en las lecciones aprendidas al elaborar la guía de instalación de PurpleAir.

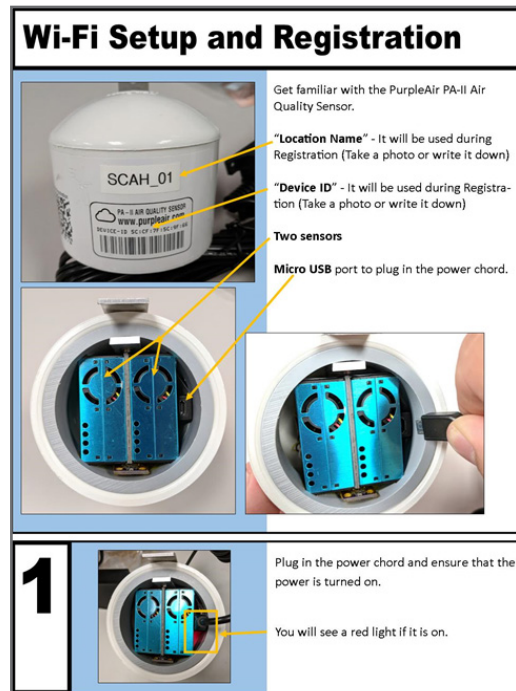


Figura 4-1. Extracto de las instrucciones de instalación del PurpleAir PA-II elaboradas por el Bay Area Air Quality Management District en colaboración con el socio comunitario de Oakland, California, Asian Health Services. Se utilizó menos texto y más imágenes para facilitar la traducción a los siete idiomas hablados en la comunidad.

Es importante tener en cuenta si una comunidad asociada necesita que se traduzcan los recursos. Si es necesario, conviene crear instrucciones que se basen en gran medida en fotos y diagramas con menos texto para facilitar la traducción. La **Figura 4-1** muestra un extracto de una guía de “instrucciones” elaborada por una comunidad que redujo en gran medida el uso de palabras para que resultara más fácil de traducir.

Al trabajar con las comunidades, es importante recordar que las personas tienen diferentes formas de aprender, por lo que es útil, si no necesario, utilizar múltiples enfoques. Por ejemplo, una combinación de capacitación práctica, folletos, presentaciones y videos puede ser óptima. Las comunidades también deben tener en cuenta que es posible que la capacitación deba realizarse en diferentes momentos del día, en diferentes días de la semana y en diferentes lugares para llegar a más miembros de la comunidad. En algunas comunidades, puede ser necesaria la traducción durante las reuniones.

La clave para identificar los problemas de un sensor es revisar con frecuencia los datos que se recopilan.



Mantenimiento del sensor

Para mantener el rendimiento del sensor durante todo el proyecto, puede ser necesario realizar algunas acciones (mantenimiento preventivo), como limpiar una parte del sistema, sustituir una batería o simplemente apagar y encender el sistema. El deterioro del sensor es un factor importante a tener en cuenta, ya que puede ser necesario sustituir todo el sensor en un dispositivo con varias unidades.

Es importante proporcionar a los participantes instrucciones sencillas para la resolución de problemas y el mantenimiento, de modo que puedan abordar las cuestiones básicas. Entre los problemas habituales de los sensores se incluyen el fallo del sensor, la suciedad acumulada por el polvo y los nidos de insectos o las telarañas en la entrada de aire. Considere la posibilidad de elaborar un calendario de mantenimiento y enviar recordatorios a los anfitriones de los sensores si hay algo que deba completarse a lo largo de la implementación.

Identificación de problemas del sensor

La clave para identificar los problemas de un sensor es revisar con frecuencia los datos que se recopilan. Si los datos dejan de mostrarse, es posible que el sensor haya perdido potencia, haya perdido la conexión Wi-Fi o tenga algún otro problema que deba solucionarse. Observe cómo cambian los datos según la hora y el día de la semana para ver si hay patrones regulares. Es importante analizar los datos a lo largo de semanas y meses de recopilación para determinar si los valores más bajos (línea de base) o los más altos están cambiando de manera significativa. Un cambio gradual con el tiempo, también denominado deriva, podría indicar el deterioro del sensor. También es útil examinar los datos de otros sensores o mediciones realizadas en las proximidades y compararlos con los de su sensor. Si su sensor muestra constantemente lecturas muy diferentes, es posible que esté funcionando mal o que necesite solucionar algún problema. En la siguiente sección se ofrecen más detalles al respecto.

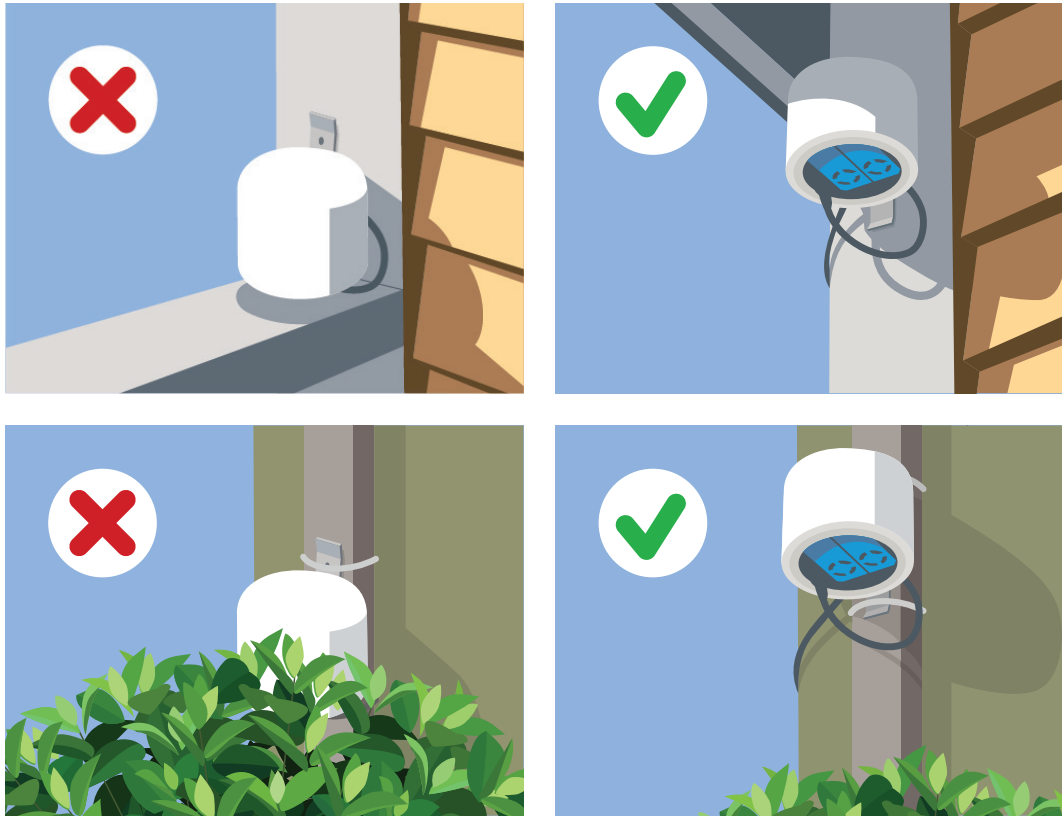


Figura 4-2.
Ejemplos de
ubicación correcta
e incorrecta de los
sensores.

Recopilación de datos útiles

Los objetivos de un proyecto no pueden cumplirse a menos que los datos recopilados sean de calidad suficiente para responder a las preguntas del mismo.

Los aspectos clave de la calidad de los datos son:

1. Comprender (y controlar) el impacto de los participantes en las mediciones,
2. Mantener un control de calidad suficiente a lo largo del proyecto y
3. Colocalizar sensores antes y después del proyecto para comprender la precisión.

Criterios de ubicación

Si es posible, es muy importante colocar los sensores a la altura de

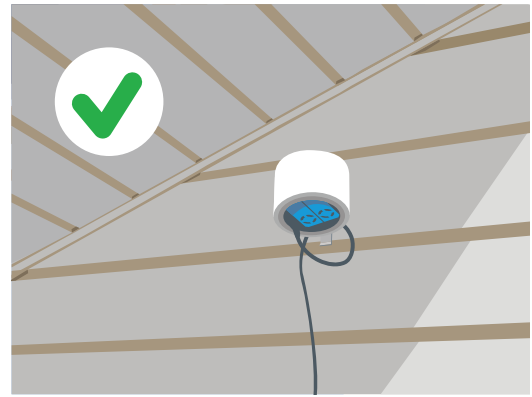
respiración y en una posición en la que el flujo de aire no se vea obstaculizado. Algunos sensores necesitan protección contra la luz solar directa. La **Figura 4-2** muestra ejemplos correctos e incorrectos de colocación de un sensor PurpleAir. Los ejemplos menos adecuados muestran que el PurpleAir está colocado demasiado cerca de una superficie o del follaje, lo que impediría el flujo de aire.

También es muy importante minimizar su impacto personal en un sensor, por ejemplo, evitando fumar en las proximidades del sensor y no colocándolo junto a una parrilla o chimenea, ni cerca del tubo de escape de su vehículo. En los Apéndices B y C se proporcionan consejos de instalación.

Coloque los sensores a la altura de respiración, con un flujo de aire sin obstáculos y lejos de las fuentes de emisiones.



Mala ubicación: El sensor está colocado demasiado cerca de una fuente de emisiones, lo que afectará a las mediciones.



Buena ubicación: El sensor tiene un buen flujo de aire y está protegido de la intemperie.



Mala ubicación: Piense en cómo afectará la ubicación si, por ejemplo, un automóvil está en marcha cerca de su sensor.



Buena ubicación: La altura de respiración puede ser mayor, como fuera de este apartamento ubicado en el segundo piso.



Para más información

Para obtener más información sobre lo que los investigadores han aprendido acerca de la ubicación de los sensores, puede consultar la [Guía sobre sensores de aire de la EPA](#)¹ y estos artículos académicos:

[Sensores de bajo costo y datos de fuentes colectivas: Observaciones sobre el impacto de la ubicación en una red de instrumentos de calidad del aire.](#)²

[Combinación de la participación comunitaria y los enfoques científicos en la ubicación de monitores de nueva generación: El caso de la red comunitaria del aire del condado de Imperial.](#)³

[Comparación de la variabilidad del CO₂ y el O₃ a escala de edificios y vecindarios para informar sobre las consideraciones de implementación para el uso de sistemas de sensores de bajo costo.](#)⁴

Control de calidad durante la recopilación de datos

Para llevar a cabo un control de calidad continuo, se recomiendan varias medidas clave.

☁ **Siga las directrices sobre el uso de los sensores.** Proporcione a los usuarios listas sencillas de lo que se debe y no se debe hacer. Algunos ejemplos son:

- Seguir las instrucciones proporcionadas sobre la colocación y el uso de los sensores.
- No colocar el sensor cerca de fuentes como barbacoas, aparatos de aire acondicionado o rejillas de ventilación de secadoras.
- Asegurarse de que el sensor tenga un flujo de aire sin obstáculos.

- Tomar notas sobre las observaciones meteorológicas y de contaminación, ya que resultarán útiles durante el análisis de los datos.

☁ **Revise los datos con regularidad.**

Aunque abordará más a fondo la calidad de los datos durante la fase de análisis, realizar comprobaciones rápidas para asegurarse de que el sensor funciona correctamente puede ayudarle a garantizar que está recopilando datos útiles y reduciendo al mínimo las lagunas. Además, al observar los datos, aprenderá cómo cambian las concentraciones de contaminantes de un día a otro y de una hora a otra, lo que será importante en análisis posteriores. Es útil establecer un calendario para revisar los datos y algunos puntos de referencia sencillos para comprobarlos rápidamente. Para ver ejemplos, consulte la **Tabla 4-1**.

Tabla 4-1.

Comprobaciones habituales de la calidad de los datos (suponiendo una frecuencia de muestreo de 1 minuto), qué buscar y cómo interpretar los resultados

Comprobación	Qué buscar	Acción/Interpretación
Valores bajos	Largos periodos (decenas de minutos) de concentración cero o valores negativos.	El sensor puede estar funcionando mal.
Ausencia de datos	Lagunas en los datos o ausencia total de señal.	El sensor puede haber perdido potencia, la conexión a Internet o estar funcionando mal.
Estancamiento	Cuatro o más minutos con exactamente la misma concentración distinta de cero.	El sensor puede estar funcionando mal.
De sensor a sensor	Un sensor durante un periodo de tiempo está reportando concentraciones mucho más altas o bajas que los sensores cercanos.	Compruebe si uno de los sensores está cerca de una fuente, ya que es de esperar que se produzcan concentraciones más elevadas cerca de una. Una serie de lecturas inusuales en una zona en un solo sensor puede indicar un problema con ese sensor.
Valores muy altos	Concentraciones muy altas, posiblemente erráticas.	Este comportamiento puede observarse durante los periodos de arranque de los sensores que necesitan tiempo para calentarse. En el caso de las mediciones de partículas, esto podría indicar una interferencia por alta humedad. También podría indicar que el sensor está funcionando en condiciones meteorológicas que superan las recomendadas por el fabricante (p. ej., frío extremo).

Utilice una hoja de registro para llevar un seguimiento de lo que ocurre cerca del lugar donde está tomando las muestras.



☁ **Mantenga un registro de lo que ocurre cerca del lugar donde realiza el muestreo.** Por ejemplo, los miembros de la comunidad pueden utilizar la hoja de registro del Apéndice H o una herramienta similar para registrar las condiciones meteorológicas, las emisiones o actividades cercanas, la presencia de humo u olores y el índice de la calidad del aire local.

☁ **Calibre los sensores antes, durante y al final del muestreo (idealmente).** One method is to collocate the sensors. Una forma de hacerlo consiste en colocalizar los sensores con un FEM operado por una universidad o agencia de calidad del aire en su comunidad o cerca de ella. En la página 4-9 se proporciona más información sobre la colocalización. Si no dispone de este método, tendrá que establecer otra forma de evaluar la calidad de sus datos, posiblemente con la ayuda de un socio científico.

Si los objetivos de su proyecto implican compartir datos y resultados con grupos externos (p. ej., agencias gubernamentales locales/regionales/

estatales o la industria local), considere la posibilidad de utilizar el [Manual de garantía de calidad y los documentos de orientación para proyectos de ciencia ciudadana](#)⁵ elaborados por la EPA de EE. UU. Este recurso incluye un manual para guiar el desarrollo de un QAPP (Plan de Proyecto de Garantía de Calidad), ejemplos de QAPP para proyectos de ciencia ciudadana y plantillas de documentos que puede utilizar. El desarrollo y uso de un QAPP para su proyecto permitirá a los grupos ajenos comprender y evaluar la calidad de los datos recopilados, lo que puede reforzar las conclusiones extraídas de los datos.

Complementar los datos

Los datos complementarios pueden ser muy valiosos a la hora de analizar e interpretar los datos de sus sensores. Llevar un registro de cualquier evento que considere que puede afectar a la calidad del aire local (como se menciona en la sección anterior) le dará la oportunidad de comparar sus observaciones con los datos de los sensores y evaluar si sus percepciones y los datos coinciden, y



por qué podría ser así. El Apéndice H contiene una copia en blanco de una hoja de registro que puede copiarse y utilizarse para anotar eficazmente estas observaciones. Otros datos complementarios que pueden ser útiles durante el análisis y la interpretación de los datos son los mapas que muestran la ubicación de las fuentes de contaminación y la velocidad y dirección del viento. Los datos sobre el viento pueden ayudar a identificar las posibles fuentes, ya que muestran la dirección desde la que puede provenir la contaminación.

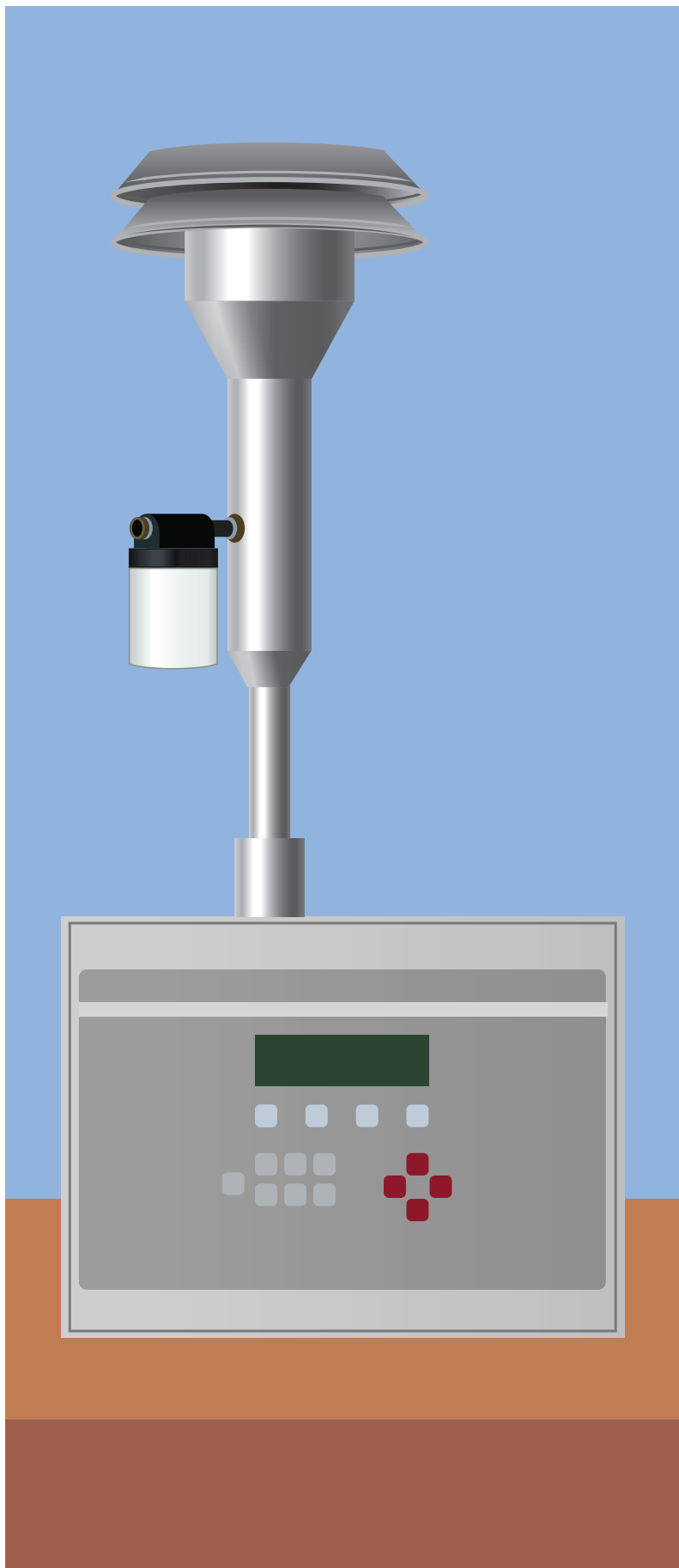
Colocalización de sus sensores antes y después de la implementación

La colocalización significa operar los sensores (todos o un subconjunto) en una ubicación al inicio de un proyecto, antes de la implementación. Lo ideal es que esto se realice en un sitio con monitores de referencia fiables y de alta calidad (p. ej., una estación de monitoreo regulatorio de la calidad del aire). Esto brinda la oportunidad de comprender cualquier diferencia

entre los sensores (sesgo, variabilidad intramodelo para una red del mismo tipo de sensor, variabilidad intermodelo para una red de más de un tipo de sensor). Si también dispone de datos de un monitor de referencia, puede desarrollar un modelo de calibración o un algoritmo de corrección para los datos del sensor con el fin de mejorar la precisión. La colocalización posterior a la implementación también es fundamental para ver si la relación entre los sensores ha cambiado. Si es posible, añada una forma de comprobar el rendimiento de los sensores durante la implementación. Esto podría incluir la colocación de sensores duplicados o triplicados en algunos sitios, el traslado de sensores para una colocalización temporal durante la implementación o la instalación de un monitor fiable en la ubicación de un sensor. En la **Figura 4-3** se muestra un ejemplo de colocalización de sensores en un sitio de monitoreo regulatorio. Cuando se dispone de múltiples colocalizaciones:

☁ Se puede corregir el sesgo entre sensores.

Figura 4-3.
Sensores PurpleAir PA-II colocalizados con monitores regulatorios en la estación de monitoreo ambiental del South Coast AQMD en Rubidoux, California



☁ Se puede detectar y corregir la deriva de las lecturas de los sensores a lo largo del tiempo.

☁ Se puede determinar la exactitud de los sensores y, posiblemente, mejorarla si la colocación incluye un monitor de referencia.

Si desea realizar una colocación sobre el terreno, en la siguiente sección se enumeran algunos pasos que le ayudarán a lo largo de este proceso. Es importante tener en cuenta cuántos sensores se van a instalar. Si solo va a instalar unos pocos, lo razonable es colocarlos. Sin embargo, si va a instalar una red grande, puede que no sea factible colocar todos los sensores. En este último caso, puede intentar colocar una parte y desarrollar un modelo de calibración general o un algoritmo de corrección que se pueda aplicar a todos los sensores. O bien, puede utilizar la colocación para cuantificar el error promedio esperado de sus sensores.

Cómo llevar a cabo una colocación

1. Encuentre un FEM o FRM local.

Póngase en contacto con su agencia reguladora local para averiguar a qué lugar puede acceder para la colocación que cuente con los instrumentos de referencia adecuados para la comparación. Colabore con ellos para programar una fecha para las colocaciones y coordinar su acceso. Es probable que la agencia le solicite información básica sobre su proyecto y los sensores que está utilizando para sus registros; utilice la plantilla del Apéndice G para redactar este documento. El Apéndice J ofrece información sobre cómo ponerse en contacto con su agencia local.

2. Recopile sus datos colocalizados.

Revise sus datos colocalizados para asegurarse de que tiene todos los datos que necesita y para determinar si ha habido algún fallo en el funcionamiento de los sensores. En [Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocalización con monitores del método de referencia federal](#),⁶ la EPA sugiere un periodo de colocalización de una semana para datos de 5 minutos. Aunque la duración de la colocalización debe ajustarse según sea necesario, lo ideal es que sus sensores experimenten rangos de concentración de contaminantes y condiciones ambientales similares a los que experimentarán durante la implementación.

3. Obtenga datos de los instrumentos de referencia para compararlos y utilizarlos para corregir los datos de sus sensores.

Si desea datos con una resolución de minutos, hable con su contacto en el sitio sobre cómo obtenerlos. Si desea datos promediados por hora y su

proyecto se encuentra en California, este conjunto de datos está disponible públicamente en el [sitio web de la Junta de Recursos del Aire de California](#),⁷ seleccionando su estación de monitoreo y el contaminante de interés.

4. Analice sus datos. Ya está listo para la fase de análisis de datos. Puede seguir un plan existente para comparar datos o utilizar los datos de referencia para corregir los datos de sus sensores. También puede utilizar una guía y herramienta desarrollada por la EPA llamada [Herramienta de análisis macro \(MAT, por sus siglas en inglés\)](#).⁸

Los investigadores desarrollan y prueban continuamente métodos de calibración de redes de sensores y diferentes modelos de calibración. Considere la posibilidad de buscar un socio académico que le ayude con los problemas de rendimiento y calibración de los sensores.



Para más información

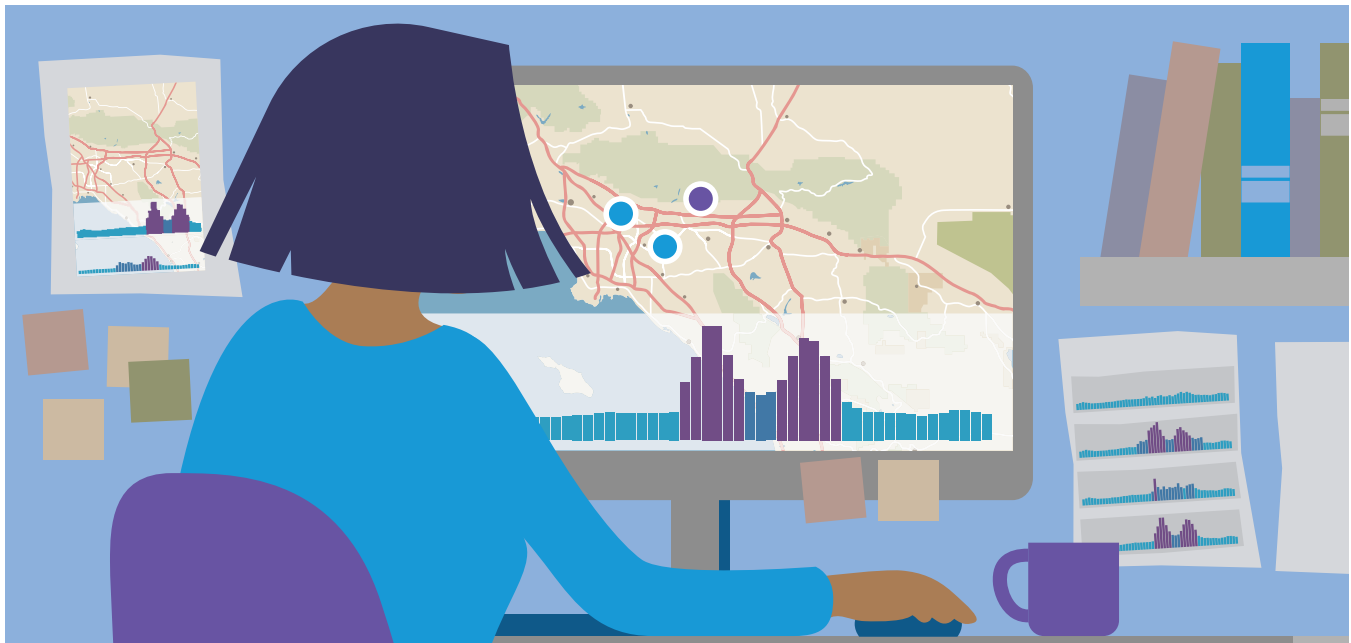
Los siguientes artículos de revistas ofrecen ejemplos de estudios con sensores de bajo costo que utilizaron una colocalización para desarrollar un modelo de calibración o un algoritmo de corrección. Los artículos pueden utilizarse para obtener más información sobre cómo se suelen llevar a cabo, cómo utilizar los datos colocalizados y las lecciones aprendidas.

[Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocalización con monitores del método de referencia federal.](#)⁶

[¿Pueden las plataformas de sensores comerciales de bajo costo contribuir al monitoreo de la calidad del aire y a las estimaciones de exposición?](#)⁹

[Una encuesta sobre la calibración de sensores en implementaciones de monitoreo de la contaminación del aire.](#)¹⁰

[Desarrollo de un modelo de calibración general y evaluación del rendimiento de sensores de bajo costo a largo plazo para el monitoreo de gases contaminantes del aire.](#)¹¹



La visualización de los datos es fundamental. La revisión visual se centra en los patrones para verificar que los datos sean razonables.

Comprensión de los datos

Interacción con los datos

El primer paso para analizar e interpretar correctamente los datos es identificar las herramientas o una plataforma que respalde su análisis y le permita convertir los datos a un formato con el que pueda trabajar. Algunos sensores proporcionan una plataforma de gestión y exploración basada en la web que le permite ver y evaluar los datos. Sin embargo, si este no es el caso, se recomienda que explore brevemente las herramientas disponibles y elija el método que mejor se adapte a su nivel de comodidad y habilidad.

En esta sección se enumeran algunas herramientas y plataformas para la exploración y el análisis de datos; si desea recibir más asesoramiento, hable con un socio académico o regulador de su proyecto. Para obtener más información sobre estas herramientas y plataformas, así como consejos para acceder a los datos de los sensores y convertirlos al formato correcto, consulte la Guía de análisis de datos en el Apéndice D y las Guías de procesamiento de datos de sensores PurpleAir en el Apéndice C.

☁ **Hojas de cálculo (p. ej., Excel):** Microsoft Excel es bastante fácil de usar para el análisis y la evaluación de datos básicos; igualmente, hay muchos tutoriales y recursos de ayuda disponibles en línea. La [herramienta de análisis macro de la EPA](#)⁸ que permite evaluar los datos de los sensores colocalizados se diseñó específicamente para Microsoft Excel. Esta herramienta ayuda a los usuarios a comparar los datos de los sensores de bajo costo con los datos de los monitores regulatorios e interpretar sus resultados. Asimismo, permite introducir datos de monitores de bajo costo y regulatorios para compararlos, incluso si las mediciones no se registraron exactamente al mismo tiempo o se recopilaban en intervalos de tiempo diferentes, como intervalos de 1 minuto frente a intervalos de 5 minutos. Microsoft Excel también puede complementar las herramientas que ya proporcionan algunos fabricantes de sensores. Por ejemplo, si un fabricante ya ofrece un mapa en tiempo real, puede utilizar Microsoft Excel para crear otros tipos de gráficos (como gráficos

de series temporales) a lo largo de la implementación, lo que le proporciona otra forma de ver y comprender los datos. Al final de la implementación, puede descargar los datos completos y abrirlos en Microsoft Excel para analizar y evaluar todo el conjunto. Microsoft Excel puede manejar hasta aproximadamente 1 millón de registros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que Excel carece de capacidades de mapeo.

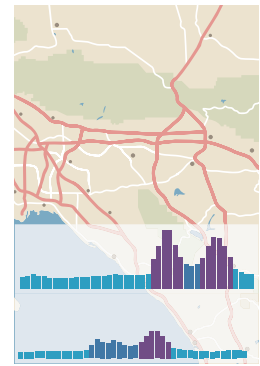
☁ **Visualizador de datos geospaciales en tiempo real (RETIGO):** Esta herramienta desarrollada por la EPA proporciona una forma relativamente fácil de cargar y visualizar datos sobre la calidad del aire en mapas y a través de otros tipos de gráficos. Además, la herramienta permite estudiar los cambios en la concentración en relación con puntos específicos (p. ej., una fuente) o líneas (p. ej., una carretera). La EPA proporciona [material de capacitación y tutoriales](#)¹² para ayudarle en este proceso. Esta herramienta puede manejar grandes conjuntos de datos y es gratuita.

☁ **RStudio y el paquete OpenAir:** Si usted o un miembro del proyecto tiene buenos conocimientos de programación o experiencia codificando en R (un lenguaje de código abierto para computación estadística y gráficos), RStudio (entorno de código abierto) es una excelente opción. Las herramientas del [paquete OpenAir](#)¹³ hacen que el formateo, el procesamiento y la representación gráfica de los datos sobre la calidad del aire sean sencillos y eficaces. R requiere un aprendizaje intenso, pero es gratuito y cuenta con una gran comunidad de usuarios que comparte el código. R puede manejar conjuntos de datos muy grandes.

☁ **RStudio y el paquete AirSensor:** Este es otro paquete disponible para su uso

con RStudio. Permite acceder fácilmente a los datos de sensores de bajo costo, así como procesarlos y analizarlos o visualizarlos. Actualmente, este paquete admite la interacción con datos de sensores PurpleAir PA-II (es decir, datos de concentración de masa de $PM_{2.5}$ en $\mu g/m^3$). Una vez más, si usted o un miembro del proyecto tiene experiencia con el lenguaje de programación R, el [paquete AirSensor](#)¹⁴ es muy apropiado para respaldar el monitoreo continuo de los datos de su red, con la ayuda de métricas sobre el "estado de salud" de los sensores. Este paquete también permite el procesamiento y análisis final de los datos una vez finalizada la implementación, mediante algoritmos de garantía y control de calidad (QA/QC) y otras funciones que facilitan el análisis y la visualización de los datos.

☁ **AirSensor DataViewer:** AirSensor DataViewer es una herramienta de visualización de datos basada en la web que aprovecha el paquete AirSensor para proporcionar acceso a los datos de sensores de bajo costo, así como su procesamiento y visualización. Esta herramienta no requiere experiencia en programación y tiene una interfaz fácil de usar y atractiva que permite a los usuarios explorar sus datos mediante una variedad de gráficos diferentes. Actualmente, esta herramienta se limita a proporcionar datos de los sensores PurpleAir PA-II utilizados en el proyecto de la subvención STAR, financiado por la EPA, llamado "[Involucrar, educar y empoderar a las comunidades de California en el uso y las aplicaciones de sensores de monitoreo del aire de bajo costo](#)".¹⁵ Sin embargo, dado que el paquete es de código abierto, este recurso podría replicarse y adaptarse para proporcionar acceso a sensores pertenecientes a un proyecto diferente. El South Coast AQMD ha publicado esta herramienta como parte de su [sitio web AQ-SPEC](#).¹⁶



El AirSensor DataViewer del South Coast AQMD es una herramienta gratuita basada en la web que permite a los usuarios explorar sus datos mediante una variedad de gráficos diferentes.

Otras opciones: Se pueden desarrollar soluciones personalizadas para el manejo y análisis de datos con el fin de satisfacer las necesidades del proyecto; sin embargo, esto suele ser muy costoso. Algunas agencias de calidad del aire, incluida la Junta de Recursos del Aire de California, están desarrollando plataformas de gestión y análisis de datos para los datos recopilados por la comunidad. Por último, existen otras opciones comerciales, como Microsoft Power BI, Google Earth y ArcGIS. Al igual que R, estas opciones pueden requerir un aprendizaje complejo y variar mucho en cuanto a capacidad gráfica, costo y posibilidades para compartir imágenes con otras personas.

las concentraciones cuando el vecino estaba cocinando al aire libre”) que puedan afectar a sus datos. Esta información es útil para interpretar los datos y evaluar su validez. Los problemas con los datos pueden parecerse a los enumerados en la Tabla 4-1 y pueden requerir algún filtro sencillo.

Por lo general, cuantos más datos (de suficiente calidad) tenga, más confianza podrá tener en sus resultados. A medida que prepara su conjunto de datos válidos, la visualización de datos es fundamental. La revisión visual se centra en los patrones diarios (es decir, la hora del día) y espaciales para verificar que los datos sean razonables. Considere las siguientes visualizaciones de datos (y consulte la Guía de análisis de datos en el Apéndice D):

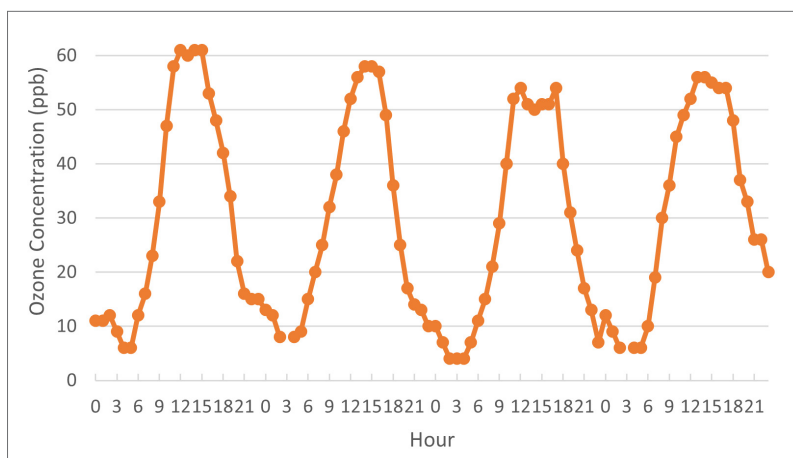
Validación de los datos del sensor

La validación de datos es el proceso de determinar la calidad y validez de las observaciones. El propósito es detectar cualquier valor de datos que pueda no representar las condiciones físicas y químicas reales en el lugar de muestreo. Durante el proyecto, es importante revisar los datos desde el principio y con frecuencia para corregir cualquier problema antes de que finalice el proyecto. También es muy útil tomar notas o llevar un registro sobre el clima, las condiciones de calidad del aire y los eventos inusuales (p. ej., “un aumento de

Gráficos de series temporales: ¿Son las concentraciones coherentes con la hora del día, el día de la semana, la estación y otras concentraciones de contaminantes? ¿Se producen las concentraciones máximas o mínimas donde y cuando se esperan? ¿Los picos o descensos de la concentración se corresponden con los de otros contaminantes? ¿Son coherentes con la meteorología (p. ej., cambios en la dirección o la velocidad del viento)? ¿Las concentraciones de referencia se mantienen estables a lo largo del tiempo? La **Figura 4-4** muestra una serie temporal de concentraciones de ozono de una hora en un punto de monitoreo en California. Las concentraciones de ozono suelen alcanzar su máximo por la tarde.

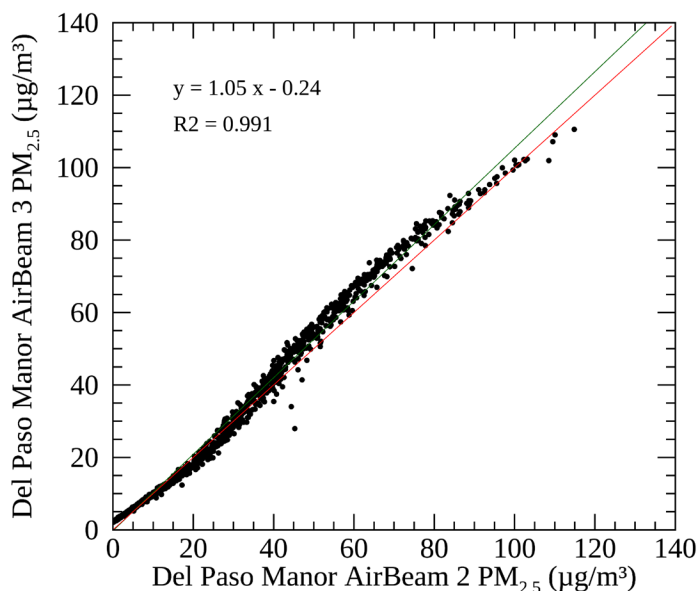
Gráficos de dispersión: ¿Las relaciones entre las concentraciones de contaminantes son las esperadas? ¿Las concentraciones en algunos sitios se correlacionan, mientras que en otros no? Los gráficos de dispersión pueden ser una forma rápida de determinar fallos importantes en los sensores, especialmente cuando se espera que los

Figura 4-4. Ejemplo de un gráfico de series temporales de datos preliminares de ozono por hora (ppb) obtenidos de AirNow-Tech¹⁷ para Elk Grove, California (8-11 de julio de 2020).



sensores muestren un comportamiento similar en general. La **Figura 4-5** muestra una comparación de dos sensores durante la colocación. Los sensores mostraron buena concordancia, lo que nos da confianza en que las diferencias encontradas entre los sitios durante el proyecto fueron reales.

Mapas: ¿Varían las concentraciones en toda la comunidad de la forma que esperaba (p. ej., si en los sitios donde esperaba concentraciones más altas se observan normalmente concentraciones más altas)? ¿Son más altas las concentraciones en las proximidades de fuentes conocidas? La **Figura 4-6** muestra un mapa de PurpleAir del área de Los Ángeles. Las concentraciones más altas se observan en áreas con mucho tráfico y en dirección del viento, cerca de las montañas, lo que es de esperar cuando los vientos son del mar hacia la tierra y las condiciones meteorológicas favorecen la formación y el transporte de la contaminación.



Una buena forma de validar los datos a lo largo de la implementación es definir un conjunto de métricas de “estado de salud” y luego supervisar de cerca los sensores para comprender/confirmar en qué medida se ajustan a estas métricas. Las métricas pueden incluir la integridad de los datos, si los datos de los sensores están dentro de los rangos esperados, el grado de correlación entre los diferentes

Figura 4-5. Ejemplo de [comparación](#)¹⁸ entre sensores de un estudio sobre sensores de bajo costo realizado en Sacramento, CA.

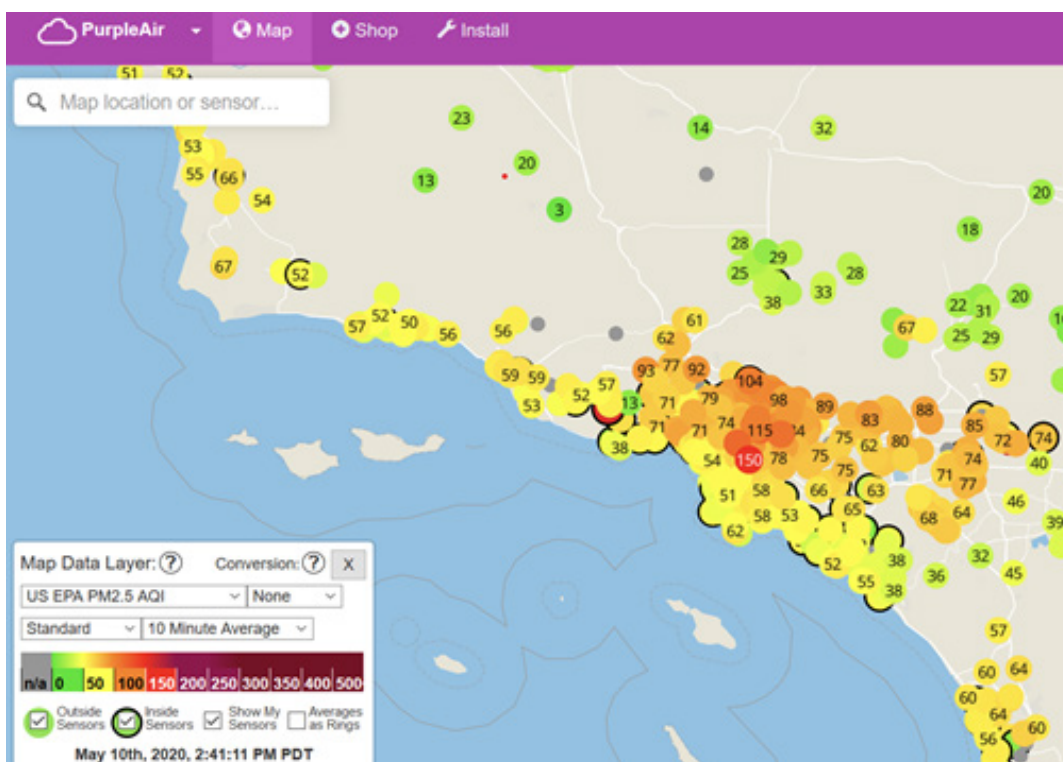


Figura 4-6. Mapa de PurpleAir en el que se muestran los niveles de $PM_{2.5}$ mediante un degradado de colores y números.

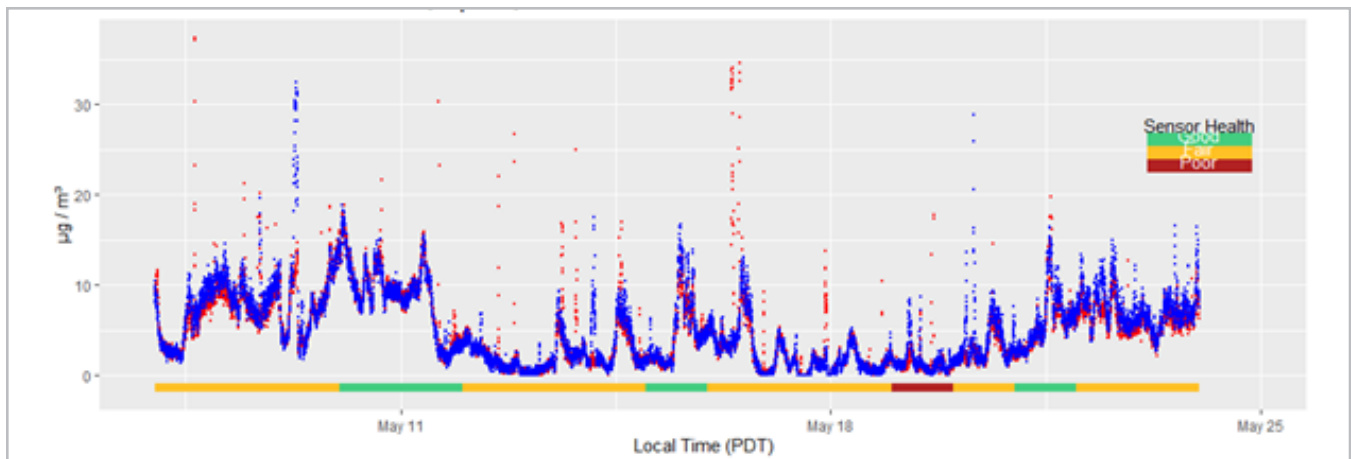


Figure 4-7.

Gráfico de ejemplo creado utilizando la función 'pat_dailySoHIndexPlot()' del paquete *AirSensor*.

La línea azul representa los datos de $PM_{2.5}$ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del Canal A y la línea roja los datos de $PM_{2.5}$ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del Canal B.

El color de la barra de la parte inferior indica en qué medida los datos se ajustan cada día a las métricas de estado de salud definidas.

sensores de un mismo dispositivo y las estadísticas de regresión de las comparaciones con instrumentos de referencia cercanos u otros sensores.

La **Figura 4-7** de la página siguiente muestra un ejemplo de un gráfico que resume en qué medida el sensor especificado se ajusta a las métricas de "estado de salud" predefinidas. Este ejemplo se creó utilizando métricas y funciones de trazado disponibles en el paquete *AirSensor*.

Como se ha comentado anteriormente en este capítulo, la colocación de los sensores con un instrumento de referencia permite evaluar la precisión y exactitud de los datos. Y, como se ha explicado en el Capítulo 3, la exactitud es la concordancia general de la medición de un sensor con la concentración real. La precisión es la capacidad del sensor para reproducir una medición en circunstancias idénticas, o la concordancia entre mediciones repetidas. La exactitud suele evaluarse mediante una regresión lineal de los datos del sensor y del instrumento de referencia, utilizando la ecuación $y = mx + b$. En esta ecuación, se busca una pendiente (m) de la línea de pendiente-intersección cercana a 1, una intersección (b) cercana a 0 y un coeficiente de determinación, R^2 , cercano a 1. R^2 , que oscila entre 0 y 1, es una

medida estadística de la proximidad de los datos a la línea de pendiente-intersección o, en otras palabras, de la dispersión de los datos. Cuanto más se acerque R^2 a 1, mejor será la concordancia entre el sensor y los datos de referencia. Cuanto más se acerque b a cero, menor será el sesgo de los datos del sensor.

La precisión se cuantifica mediante métricas estadísticas como la desviación estándar y la varianza. La desviación estándar describe cuánto se dispersan los datos. Una desviación estándar baja indica que los valores están cerca de la media (también llamada promedio) del conjunto de datos. Una desviación estándar alta indica que los valores se dispersan en un rango más amplio. La varianza es el promedio de las diferencias al cuadrado con respecto a la media y mide cuánto se dispersa un conjunto de números con respecto a su valor promedio.

Otras métricas que se aplican a las comparaciones de mediciones de sensores e instrumentos de referencia son el error absoluto medio (MAE), el error porcentual absoluto medio (MAPE) y el error cuadrático medio (RMSE). El MAE es el promedio del absoluto de la diferencia entre el sensor y la referencia. Un MAE más pequeño indica una mayor exactitud. El MAPE es el promedio del absoluto de la diferencia entre la medición del sensor

y la medición de referencia dividido por la medición de referencia. Al igual que con el MAE, un valor más pequeño indica una mayor exactitud. El RMSE es la raíz cuadrada del promedio del cuadrado de la diferencia entre los datos del sensor y los datos de referencia. Esto proporciona un resultado similar al MAE, pero es más sensible a los valores atípicos. Las métricas estadísticas de exactitud y precisión, descritas anteriormente, pueden calcularse con herramientas como MAT, R o Microsoft Excel. [Medium.com](https://medium.com/)¹⁹ proporciona más información sobre las diferencias y similitudes entre estas métricas estadísticas, mientras que la [Universidad Duke](https://www.duke.edu/)²⁰ ofrece un análisis técnico más detallado.

Además de revisar visualmente sus datos, utilizar métricas de estado de salud o evaluar la exactitud y la precisión, puede implementar procedimientos de garantía y control de calidad (QA/QC) que le ayudarán a procesar sus datos antes del análisis. A continuación, se muestra un ejemplo de los procedimientos de QA/QC disponibles en el paquete R de AirSensor. Actualmente, este paquete funciona con datos de los sensores PurpleAir PA-II, y este sensor en particular incluye dos sensores de partículas sin procesar/OEM en cada unidad (denominados Canal A y Canal B). Por lo tanto, el algoritmo de QA/QC utiliza estos sensores duplicados para evaluar la calidad de los datos

1. Elimine los valores que estén fuera de las especificaciones del fabricante.

Este filtro inicial tiene por objeto eliminar los valores poco realistas o imposibles que puedan ser el resultado de un mal funcionamiento del sensor. Por ejemplo, el rango de los valores de humedad podría fijarse entre el 0 y el 100 %, ya que los valores fuera de ese rango no son posibles. En el caso de un sensor de PM, los valores de concentración de masa de PM pueden



establecerse entre 0 y 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si el fabricante indica que 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (o 1 mg/m^3) es la concentración más alta que el sensor puede registrar de forma fiable.

2. Compruebe la integridad de los datos.

Si está agregando o promediando datos para intervalos de tiempo específicos (p. ej., si tiene datos de menos de un minuto y desea utilizar promedios de 1 minuto o si tiene previsto agregar sus datos a promedios por hora), puede implementar una revisión para asegurarse de que al menos una parte de los datos posibles estén presentes para cada minuto u hora. Esto le permitirá excluir de su análisis los periodos en los que los datos estén incompletos

3. Compare los valores de los sensores duplicados en una misma unidad, si es posible, o de los sensores duplicados en un mismo lugar.

En el caso de un dispositivo como el sensor PurpleAir PA-II, con sensores sin procesar duplicados en cada unidad, puede elegir un periodo de agregación y comparar los valores promedio de cada sensor para ese periodo. A continuación, se pueden utilizar diferentes métodos para determinar si los datos deben incluirse o excluirse del conjunto de datos procesados. Un algoritmo del paquete AirSensor utiliza la prueba t de Student y la diferencia media para determinar si los valores

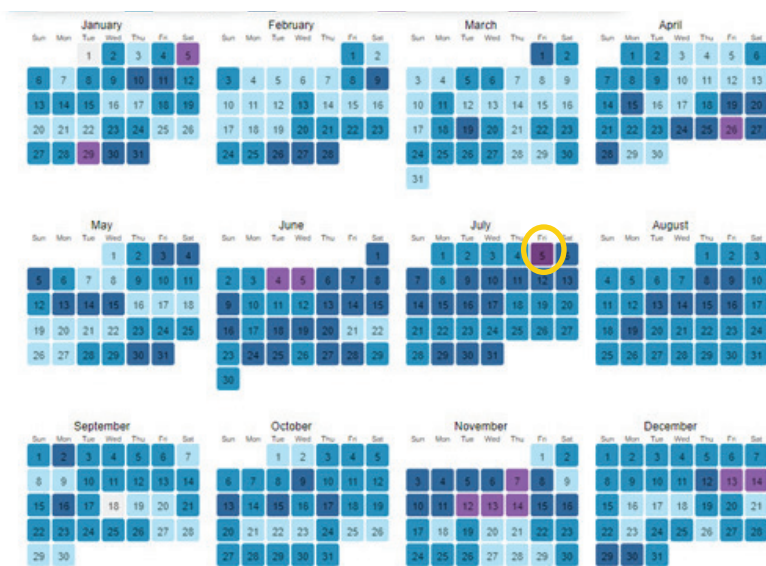
La colocación de sus sensores con un instrumento de referencia le permite evaluar la precisión y exactitud de sus datos.

de los dos sensores sin procesar son significativamente diferentes.

A la hora de determinar los procedimientos de QA/QC adecuados para su proyecto, tenga en cuenta los principios técnicos que rigen el funcionamiento de su sensor, el contaminante objetivo y cualquier situación que pueda hacer que los sensores registren datos de mala calidad o cuestionables. En el caso de los sensores que no tienen duplicados en cada unidad individual, puede considerar la posibilidad de compararlos con los sensores más cercanos de la red. También puede considerar la posibilidad de comparar los datos de los sensores con los datos del sitio de referencia más cercano. Cuando intente identificar sensores que funcionan mal o datos de mala calidad, también puede tener en cuenta el comportamiento típico del contaminante que le interesa y, si hay desviaciones importantes del comportamiento típico, marcar los datos para inspeccionarlos más detenidamente.

Figura 4-8. Gráfico de calendario de datos del sensor de $PM_{2.5}$ que muestra altas concentraciones tras los fuegos artificiales del 4 de julio.

Definir e implementar un procedimiento de QA/QC puede ayudarle a identificar y eliminar datos cuestionables de forma sistemática y repetible, lo que le permitirá ahorrar tiempo y trabajar más eficazmente con grandes cantidades de datos.



Análisis de los datos del sensor

Es recomendable probar diferentes métodos para analizar los datos. Pruebe a calcular diferentes estadísticas, crear diferentes gráficos, mapear los datos y agruparlos por tiempo o por determinadas condiciones meteorológicas. A continuación, busque observaciones o patrones que sean coherentes en todos los tipos de análisis. A partir de esta base de exploración, puede comenzar a intentar interpretar sus resultados.

Los siguientes ejemplos muestran cómo puede utilizar diferentes visualizaciones de datos para aprender de los datos de sus sensores y explorarlos. Estas visualizaciones de datos se desarrollaron utilizando la [herramienta AirSensor DataViewer](#).¹⁶

Gráficos de calendario

Los gráficos de calendario son útiles para mostrar datos diarios a lo largo del tiempo cuando puede haber patrones semanales, mensuales y anuales. Estos gráficos ofrecen una visión general de los datos de todo un año al mostrar los promedios diarios de 24 horas, representados mediante un color en un calendario. Utilice este tipo de gráfico para hacer lo siguiente:

- ☁ Identificar tendencias o eventos interesantes.
- ☁ Observar cómo varían los niveles de $PM_{2.5}$ de una estación a otra.
- ☁ Encontrar los días en los que se producen concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ y estudiar si las altas concentraciones corresponden a días en los que se podrían esperar niveles elevados de $PM_{2.5}$.

Los gráficos de calendario proporcionan una primera visión útil de los datos.

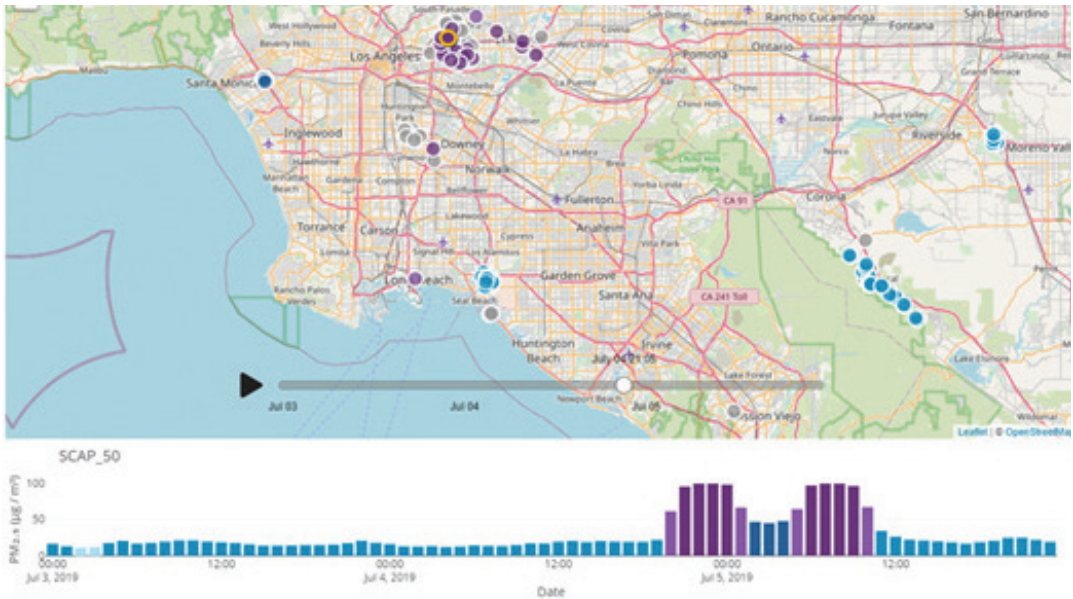


Figura 4-9. Mapa y serie temporal de la [herramienta AirSensor DataViewer](#)¹⁶ que muestra las altas concentraciones de $PM_{2.5}$ el 4 de julio. La serie temporal de la parte inferior corresponde al lugar resaltado en amarillo en el mapa. Los intervalos de concentración y los colores se indican en la tabla de la izquierda.

Por ejemplo, el usuario puede observar tendencias a largo plazo, empezar a relacionar los niveles más altos de contaminantes con acontecimientos que ha vivido, como incendios forestales, e incluso ver cuándo los problemas con el sensor provocaron la pérdida de datos.

En la **Figura 4-8**, se han señalado con un círculo los niveles elevados de contaminantes posiblemente asociados con las vacaciones del 4 de julio.

Mapas y series temporales

Los mapas proporcionan una visión espacial de las concentraciones de contaminantes, mientras que las series temporales proporcionan una visión temporal.

☁ Los mapas muestran dónde están situados los sensores y, al combinar esta información con los datos de concentración de los contaminantes, pueden indicarnos la variabilidad espacial de los contaminantes o cómo varían sus niveles en un área geográfica.

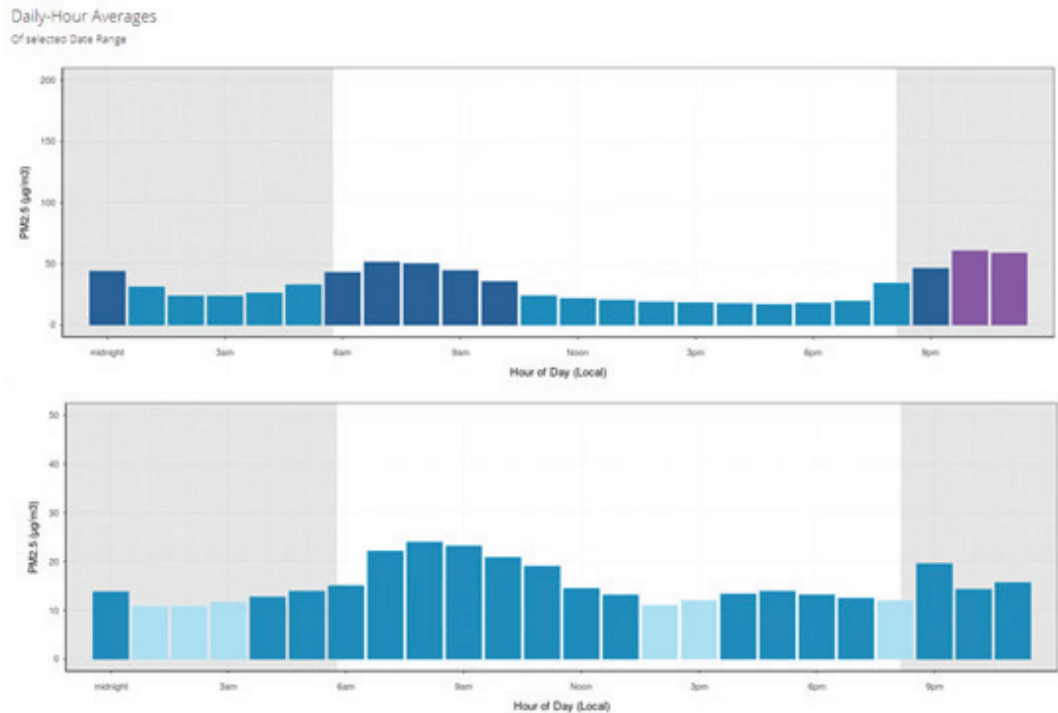
Color hexadecimal	Concentración de $PM_{2.5}$ Promedios de 24 horas	Concentración de $PM_{2.5}$ Promedios de 1 hora
#ABE3F4 (171,227,244)	$PM_{2.5} \leq 8$	$PM_{2.5} \leq 12$
#118CBA (17,140,186)	$8 < PM_{2.5} \leq 20$	$12 < PM_{2.5} \leq 35$
#286096 (40,96,150)	$20 < PM_{2.5} \leq 35$	$35 < PM_{2.5} \leq 55$
#8659A5 (134,89,165)	$35 < PM_{2.5} \leq 55$	$55 < PM_{2.5} \leq 75$
#6A367A (106,65,122)	$PM_{2.5} > 55$	$PM_{2.5} > 75$

☁ Las series temporales revelan cómo han variado los niveles de contaminantes a lo largo del tiempo. Las series temporales son especialmente útiles para examinar eventos concretos.

En la **Figura 4-9** se muestra un análisis más detallado de los niveles de $PM_{2.5}$ en torno al 4 de julio. La serie temporal (que se muestra como un gráfico de barras con promedios horarios) representa el aumento de la concentración en el lugar que aparece resaltado en amarillo en el mapa. El mapa también muestra los promedios en todas las ubicaciones de los sensores durante este periodo. Con este tipo de imágenes, puede ver con precisión cuándo se produjo el

Figura 4-10.

Gráficos de tendencia diaria de las concentraciones de $PM_{2.5}$ durante la semana del 4 de julio en dos ubicaciones.



aumento de las concentraciones y si se observaron concentraciones más altas en toda la red de sensores. En este caso, la cronología sugiere que el aumento de las concentraciones puede haber sido el resultado de los fuegos artificiales del 4 de julio, ya que las concentraciones aumentaron a última hora de la tarde y se observaron concentraciones elevadas en los sensores cercanos.

Patrones diarios (o gráficos de tendencia diaria)

Un gráfico de tendencia diaria muestra el promedio de cada hora del día durante un periodo de 24 horas. Utilice estos gráficos para:

- ☁️ Comprender cómo varían normalmente los niveles de contaminantes a lo largo del día.
- ☁️ Identificar las horas del día en las que las concentraciones de $PM_{2.5}$ son más altas o más bajas.

☁️ Intentar comprender qué tipos de fuentes o condiciones meteorológicas podrían estar causando estos patrones.

Siguiendo con el ejemplo, se ha calculado el promedio de los datos del 1 al 7 de julio para crear los dos gráficos que se muestran en la **Figura 4-10**. El gráfico superior corresponde al mismo sitio que se ve en la serie temporal anterior y las emisiones de los fuegos artificiales del 4 de julio parecen causar promedios horarios más altos durante las horas de la noche. Cuando se compara este sitio con otro que parece estar menos afectado por las emisiones del 4 de julio, se observan niveles relativamente más bajos por la noche y las concentraciones más altas se producen por la mañana.

Rosa de contaminación

Una rosa de contaminación resume la procedencia del viento durante el periodo especificado. Los colores indican las concentraciones de contaminantes observadas desde cada dirección, mientras

que el tamaño de la cuña indica la proporción de datos del viento de cada dirección. Estos gráficos pueden ayudar a comprender la dirección desde la que se observan las concentraciones más altas. En la rosa de contaminación que se muestra en la **Figura 4-11**, el viento sopló principalmente desde el suroeste durante el periodo examinado. Este periodo incluye los niveles elevados de $PM_{2.5}$ del 4 de julio, y este gráfico sugiere que el $PM_{2.5}$ elevado pudo haber sido transportado desde el suroeste.

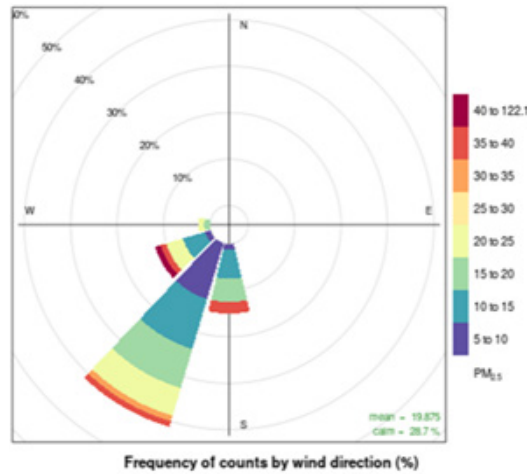


Figura 4-11. Rosa de contaminación con la frecuencia de las concentraciones de $PM_{2.5}$ según la dirección del viento durante la semana del 4 de julio.

Gráficos de comparación

Estos gráficos se utilizan para comparar los datos de un sensor de bajo costo con los datos de un sitio de referencia cercano o de un sitio de monitoreo operado y mantenido por una agencia gubernamental. Estos gráficos le permiten evaluar en qué medida los datos de su sensor coinciden con los datos de referencia.

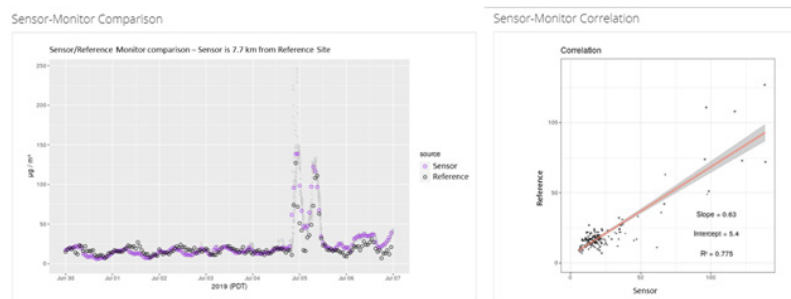
- ☁ ¿Son similares las concentraciones?
- ☁ ¿Son similares las tendencias en los datos (como los patrones diarios)?
- ☁ Si no es así, ¿qué factores, como la distancia entre las ubicaciones o la dirección predominante del viento, podrían explicar las diferencias?

La **Figura 4-12** muestra los datos del sensor comparados con los datos de un sitio de monitoreo de referencia situado a 7.7 km de distancia. La coincidencia entre los dos conjuntos de datos nos indica que es probable que el sensor no funcionara mal y que las altas concentraciones, posiblemente debidas a los fuegos artificiales del 4 de julio, se observaron en un área más amplia. En cuanto a las estadísticas, una pendiente cercana a 1.0 indica que el sensor de bajo costo y el sitio de referencia están midiendo patrones de concentración

similares. Una pendiente superior a 1.0 indica que se observan valores más altos en el sitio de monitoreo regulatorio y una pendiente inferior a 1.0 indica que se observan valores más bajos en el sitio de monitoreo regulatorio. La intersección puede ser un indicador de sesgo (p. ej., si el sensor puede estar subestimando o sobreestimando constantemente las concentraciones de contaminantes). El coeficiente de determinación, R^2 , nos indica en qué medida coinciden las tendencias entre los dos sitios. Un R^2 más cercano a 1.0 indica una mayor coincidencia, mientras que un R^2 más cercano a 0.0 indica una menor coincidencia. Una pendiente de 0.63 indica que el sensor observa concentraciones más altas. Un R^2 de 0.775 indica una coincidencia relativamente buena entre el sensor y el monitor regulatorio.

Este es un ejemplo de cómo puede enfocar el análisis de los datos de los

Figura 4-12. Gráfico de comparación de los datos del sensor y del monitor regulatorio. Los datos del sensor muestran una concordancia razonable con la referencia y captaron un evento de mayor concentración



sensores. Hay muchas otras formas, gráficos y herramientas que puede utilizar. A continuación, se indican algunas acciones/preguntas más que se deben tener en cuenta:

- ☁ Busque patrones en múltiples sitios de sensores (p. ej., ¿las concentraciones en algunos sitios son constantemente más altas o más bajas que en otros?) o en el tiempo (p. ej., intente comparar los datos de noche/día o de día de la semana/fin de semana, ¿hay días específicos de la semana en los que siempre hay concentraciones más altas o más bajas?).

- ☁ Si tiene datos de una red de sensores, ¿observa algún gradiente en los niveles de contaminantes en varios sitios (es decir, patrones con niveles de contaminantes que pasan de altos a moderados y a bajos)? Estos pueden producirse en determinados momentos (p. ej., por la noche), durante eventos de emisión o cuando los vientos superan una determinada velocidad y provienen de una dirección concreta.

- ☁ Si dispone de datos de sensores que miden diferentes contaminantes, ¿cómo se comparan las tendencias de cada contaminante? Si dos sensores diferentes muestran repetidamente aumentos en las concentraciones al mismo tiempo, esto podría significar que están detectando una única fuente que emite ambos contaminantes. Analizar los datos de múltiples tipos de contaminantes junto con la velocidad y la dirección del viento puede ayudar a reducir las posibles fuentes de emisión.

- ☁ ¿Las tendencias de los datos coinciden con su percepción de la calidad del aire? Por ejemplo, compare sus observaciones o notas de registro con los datos de los sensores y

compruebe si sus observaciones sobre la mala calidad del aire coinciden con niveles elevados de contaminantes. La coincidencia entre ambos respaldaría la idea de que los sensores están midiendo los mismos contaminantes que podrían ser responsables de la mala calidad del aire que usted está observando. La discrepancia entre ambos puede indicar varios problemas.

- ☁ ¿Existe correlación entre las concentraciones en algunos sitios, pero en otros no? ¿Qué nos dice eso sobre las fuentes?

Al comparar las concentraciones entre los sitios, considere si el sitio de interés tiene concentraciones que son:

- ☁ Estadísticamente más altas o más bajas que otros sitios (media, mediana u otra métrica).

- ☁ Más altas o más bajas cuando el viento sopla desde una determinada dirección.

- ☁ Más altas o más bajas que las concentraciones en otros sitios de la comunidad, región, estado y/o nación.

- ☁ Más altas de lo esperado dada la población local y las fuentes de emisión.

Al examinar las fuentes de emisión, los análisis pueden demostrar que:

- ☁ Las concentraciones de ciertos contaminantes son más altas cuando los vientos soplan desde la dirección de una fuente.

- ☁ Los cambios en las concentraciones con la hora del día, el día de la semana o la estación son coherentes con la actividad de emisión de la fuente.

- ☁ Las concentraciones en lugares cercanos son más altas que en otros sitios más alejados de la fuente.

Índice de Calidad del Aire (AQI)	¿Quién Debe Preocuparse?	¿Qué debo hacer?
Bueno 0-50		Es un día estupendo para realizar actividades al aire libre.
Moderado 51-100	Las personas que puedan ser excepcionalmente sensibles a la contaminación por partículas	Personas excepcionalmente sensibles: Considerar la posibilidad de reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Prestar atención a síntomas como tos o dificultad para respirar. Esto indica que se debe reducir el esfuerzo. Todos los demás: Es un buen día para realizar actividades al aire libre.
Insalubre para Grupos Sensibles 101-150	Los grupos sensibles incluyen a las personas que padecen enfermedades cardíacas o pulmonares, los adultos mayores, los niños y los adolescentes.	Grupos sensibles: Reducir las actividades que requieran esfuerzo prolongado o intenso. Se pueden realizar actividades al aire libre, pero es recomendable tomar más descansos y elegir actividades menos intensas. Prestar atención a síntomas como tos o dificultad para respirar. Personas con asma: Seguir sus planes de acción para el asma y tener a mano medicamentos de alivio rápido. Si padecen una enfermedad cardíaca: Síntomas como palpitaciones, dificultad para respirar o fatiga inusual pueden indicar un problema grave. Si presenta alguno de estos síntomas, póngase en contacto con su médico.
Insalubre 151-200	Todas las personas	Grupos sensibles: Evitar las actividades que requieran un esfuerzo prolongado o intenso. Considerar la posibilidad de realizar las actividades en espacios cerrados o reprogramarlas. Todos los demás: Reducir las actividades que requieran un esfuerzo prolongado o intenso. Tomar más descansos durante las actividades al aire libre.
Muy Insalubre 201-300	Todas las personas	Grupos sensibles: Evitar todas las actividades físicas al aire libre. Trasladar las actividades al interior o reprogramarlas para otro momento en que la calidad del aire sea mejor. Todos los demás: Evitar las actividades que requieran un esfuerzo prolongado o intenso. Considerar la posibilidad de trasladar las actividades al interior o reprogramarlas para otro momento en que la calidad del aire sea mejor.
Peligroso 301-500	Todas las personas	Todos: Evitar las actividades físicas al aire libre. Grupos sensibles: Permanecer en interiores y mantener un nivel de actividad bajo. Seguir los consejos para mantener bajos los niveles de partículas en espacios cerrados.

Interpretación de los resultados: ¿Qué significan las lecturas del sensor?

Los sensores proporcionan una instantánea de la calidad del aire, en muchos casos, una instantánea de 1 segundo o 1 minuto. Sin embargo, aún no se han realizado estudios científicos que nos indiquen qué significa para la salud un solo segundo o minuto de exposición. El AQI, que se basa en datos normativos, ofrece algunas pautas para interpretar las lecturas de los sensores. El AQI tiene en cuenta la exposición a largo plazo (p. ej., varias horas) en lugar de la exposición a corto plazo (p. ej.,

segundos o minutos). La **Figura 4-13** muestra las medidas que deben tomar las personas según los diferentes niveles del AQI.

Si el AQI es más alto en un sitio de una red que en otros, las causas podrían ser las siguientes:

- ☁ El sitio con un AQI más alto está situado cerca de una fuente muy localizada que está afectando a las mediciones.
- ☁ Las mediciones en ese sitio pueden tener un sesgo alto en relación con otros sitios.
- ☁ El sensor puede estar funcionando mal.

Figura 4-13. Índice de calidad del aire (AQI) de la EPA y medidas que deben tomar las personas según los diferentes niveles del AQI.

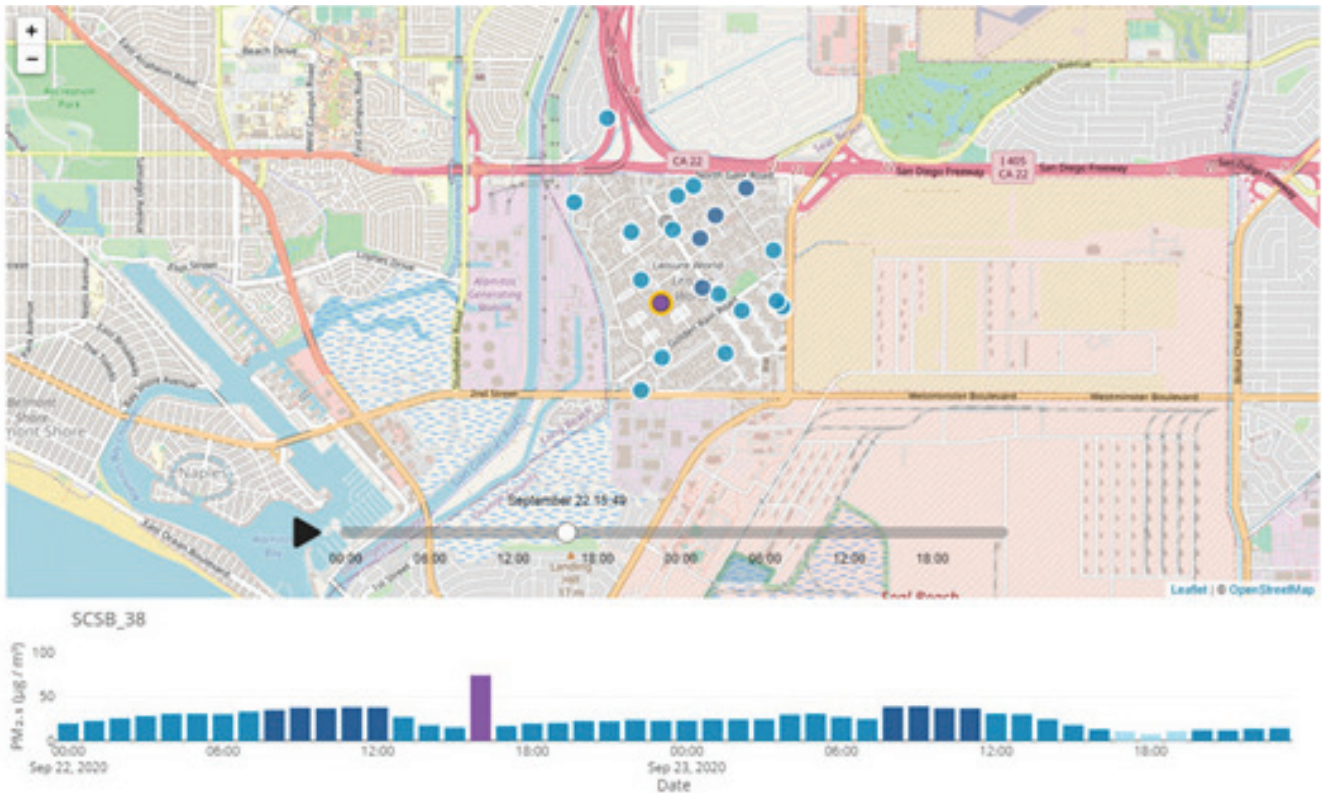


Figura 4-14. Capturas de pantalla de DataViewer explorando las diferencias entre vecindarios en las lecturas de los sensores.

Si hay varios sitios en los que el AQI es sistemáticamente más alto que en el resto de la red, puede haber una o varias fuentes que afecten a un área más amplia. En ambas situaciones, puede obtener más información sobre las causas analizando la meteorología, comprendiendo las fuentes cercanas a los sitios y comprobando la validez de los datos.

Para explorar más a fondo las diferencias, puede resultar muy útil una herramienta de visualización, como la [herramienta AirSensor DataViewer](#).¹⁶ La **Figura 4-14** muestra un vecindario en el que un sensor de la red parece experimentar altas concentraciones durante una hora en relación con las horas circundantes en ese lugar y con otros sensores del área. Es posible que se trate de una columna de humo pasajera, una fuente de emisión muy localizada o un fallo temporal. Si se siguen revisando las series temporales, el mapa y la velocidad y dirección del viento durante unas semanas, puede

que se revele un patrón o se obtengan más pruebas de que este periodo de alta concentración fue un "pico" inexplicable.

En otro ejemplo, la **Figura 4-15** muestra una comparación del sensor "a" con los sensores cercanos "b", "c" y "d". El sensor "a" parece mostrar concentraciones más altas que los sensores cercanos. Tenga en cuenta la incertidumbre de los datos, es decir, ¿son las diferencias de concentración significativamente más altas que la precisión del sensor? ¿El sensor con lecturas más bajas está situado adecuadamente? Por ejemplo, ¿hay follaje u obstrucciones que puedan bloquear el flujo de aire? ¿Son las concentraciones coherentes con la distancia de los sitios a posibles fuentes como las carreteras?

También es importante tener en cuenta que los sensores de bajo costo suelen ser instalados y utilizados por

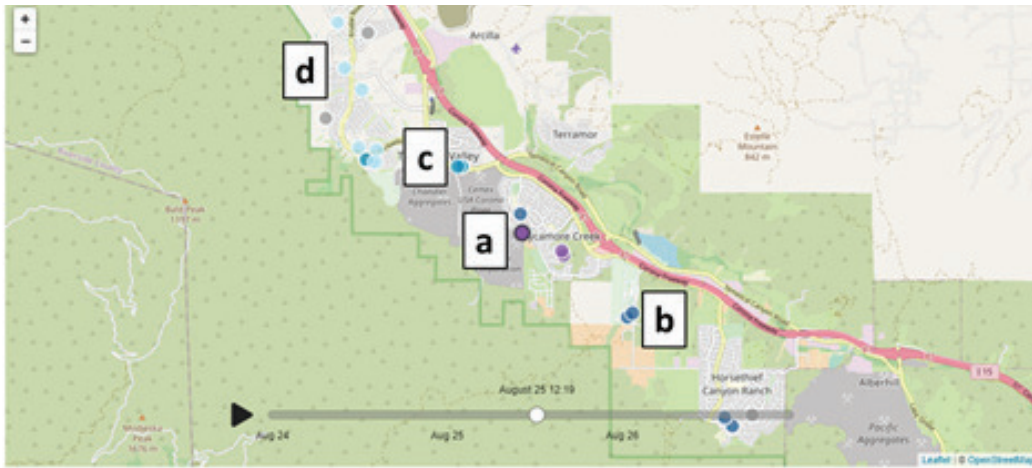
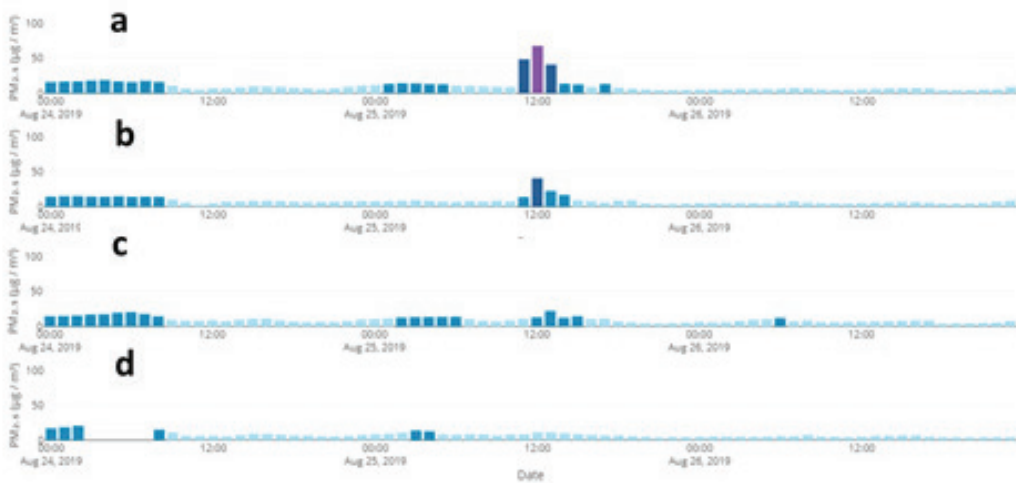


Figura 4-15. Capturas de pantalla de DataViewer comparando las lecturas de cuatro sensores del vecindario.



el público en general. En el caso de sensores como PurpleAir, el usuario informa por sí mismo si el sensor se ha instalado dentro o fuera de su residencia, por ejemplo. Por lo tanto, es importante ver con escepticismo las grandes diferencias entre sensores instalados relativamente cerca unos de otros. La **Figura 4-16** muestra un vecindario con algunos sensores PurpleAir durante un episodio de humo provocado por un incendio forestal en el norte de California. Los datos del sensor que muestran concentraciones bajas resultan sospechosos, dada la gran cantidad de humo que había en ese momento. ¿Podría estar el sensor dentro de una casa con un buen sistema de filtración?

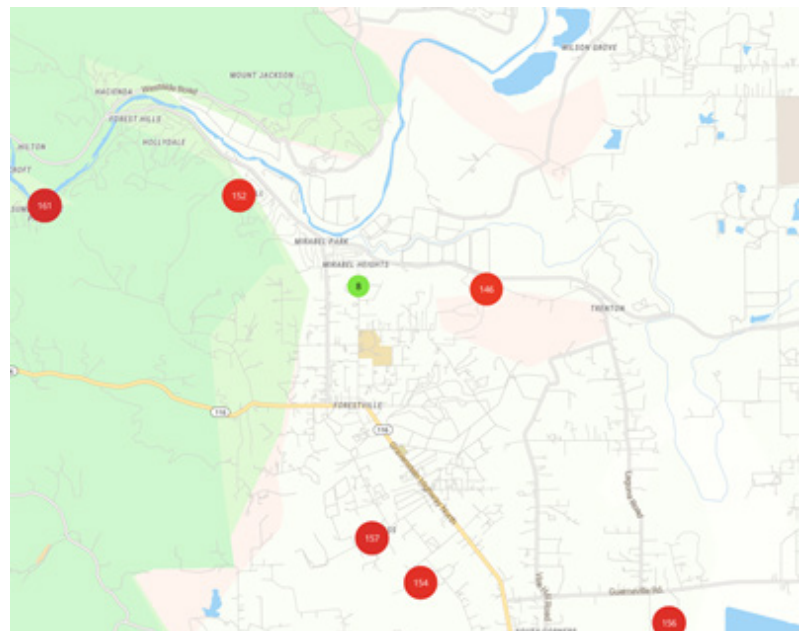


Figura 4-16. Mapa de PurpleAir de las concentraciones observadas durante un episodio de humo provocado por un incendio forestal en el norte de California. El sensor con bajas concentraciones (punto verde) resulta sospechoso teniendo en cuenta la extensión del humo.

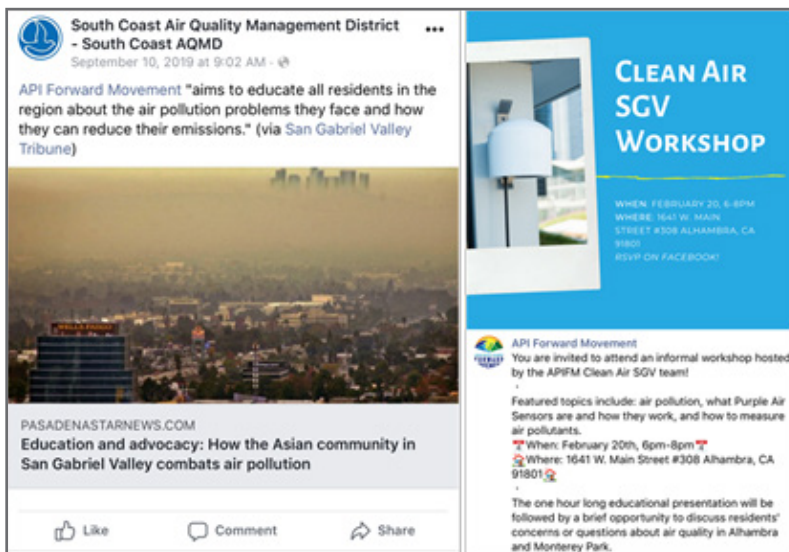


Mantenga el impulso del proyecto compartiendo informes y celebrando reuniones ocasionales

Mantenimiento del impulso del proyecto

Normalmente, al inicio de un proyecto hay mucho entusiasmo en la comunidad, pero ese entusiasmo puede disminuir con el paso del tiempo. Sin embargo, aquí es donde puede ser creativo y aprovechar las habilidades y la experiencia de su comunidad. A continuación, se muestran algunos ejemplos de formas que han encontrado las comunidades para mantener el interés y el compromiso de los participantes:

Figura 4-17. Promoción de un proyecto y organización de un taller utilizando las redes sociales (Facebook).



☁ **Proporcionar actualizaciones a la comunidad.** Los responsables del proyecto pueden utilizar herramientas de visualización de datos para elaborar informes o resúmenes periódicos sobre la calidad del aire, que pueden compartirse con los participantes por correo electrónico o mediante reuniones ocasionales para compartir los resultados y responder a preguntas (consulte la **Figura 4-17**).

☁ **Enviar recordatorios a los participantes del proyecto.** Los responsables del proyecto también pueden enviar recordatorios periódicos por correo electrónico o mensaje de texto, pidiendo a los participantes que echen un vistazo a sus datos o compartan cualquier cosa que hayan aprendido de su sensor o de la red de sensores.

☁ **Involucrar a los jóvenes.** Los estudiantes pueden desarrollar proyectos científicos basándose en las mediciones de la comunidad. Incluso pueden aprovechar los datos de estos sensores para proyectos de ferias de

Medición de la Contaminación del Aire desde el Valle hasta la Montaña



Bastian S., Tami L., Tim M.

Profesor: Sr. West Escuela: Kids Making Sense Academy

Aspectos Destacados

- Durante un reciente incendio forestal, llevamos nuestro sensor de partículas a una montaña cercana para comparar los niveles de partículas PM_{2.5}.
- Descubrimos que los niveles en la cima de la montaña eran más altos que los del vecindario situado al pie de la montaña
- Parece que, durante este episodio de humo, las columnas de humo se elevaron a gran altura en la atmósfera
- Por este motivo, se registraron bajos niveles de contaminación en el valle, a pesar de que el cielo parecía estar cubierto de humo

Introducción

- El material particulado consiste en pequeñas partículas líquidas o sólidas suspendidas en el aire
- El PM_{2.5} es motivo de preocupación, ya que puede llegar a los pulmones y causar problemas de salud, como asma, dificultades respiratorias y ataques cardíacos



Incendios forestales y PM_{2.5}

- El 17 de agosto de 2020, unos rayos secos provocaron una serie de incendios en el norte de California, conocidos como los incendios del complejo LNU.¹ Esto provocó que el aire se llenara de grandes cantidades de humo y que el cielo se tiñera de rojo.
- El humo de los incendios forestales se encuentra en el rango de tamaño del PM_{2.5} y, durante los incendios, pueden registrarse altas concentraciones de humo en el aire.
- El PM_{2.5} puede causar efectos en la salud, como dificultades respiratorias, problemas de asma, dolor de ojos, entre otros.²



Figura 1. Mapa del incendio del complejo LNU³

- Durante los incendios forestales, el aire se llenó de humo y quisimos investigar dónde podría estar el aire más limpio.

Pregunta Científica

¿Cómo cambia la calidad del aire al conducir desde el valle hacia la montaña mientras hay humo de incendios forestales en la región?

Hipótesis

Nuestra hipótesis era que el aire de la montaña sería más limpio, ya que se encuentra por encima de las nubes y el humo.

Procedimiento

- Salimos de casa, recorrimos el vecindario en auto y luego subimos a la montaña.
- Mantuvimos una ventana del auto ligeramente abierta.
- Sostuvimos con cuidado la entrada de aire del sensor orientada hacia el exterior de la ventana para medir el PM_{2.5} en el aire exterior.
- A medida que subíamos la montaña, tomamos notas de los cambios en el humo que podíamos ver con nuestros ojos, así como de los cambios en el olor a humo en el exterior.
- Manejamos a una velocidad constante durante una hora y media mientras realizábamos las mediciones.



Figura 2. Nuestro montaje experimental en el auto

Resultados y Análisis

El ascenso por la ladera de la montaña comienza aquí.

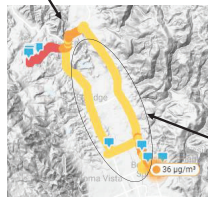


Figura 3. Mapa de la ruta que recorrimos

- Nuestra ruta de conducción y los niveles de PM_{2.5} se muestran en la Figura 3 del sitio web [maps.kidsmakinse.org](https://kidsmakinse.org)
- También se puede ver en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3m762xm>
- El vecindario en la base de la montaña se encuentra en el mapa del terreno de la Figura 3.
- Esto puede observarse en el mapa del terreno de la Figura 3.

Referencias:

- ¹ <https://www.fire.ca.gov/incidents/2020/8/17/lnu-lightning-complex-includes-hennessey-gamble-15-10-spanish-markley-13-4-11-16-walbridge/>
- ² <https://www.airnow.gov/air-quality-and-health/how-smoke-from-fires-can-affect-your-health/>
- ³ https://sanfrancisco.cbslocal.com/wp-content/uploads/sites/15116056/2020/08/lnu-burnzones_aug27.jpg

Tabla 1. Tabla de observaciones

Time	Hora Promedio de PM _{2.5} (min. - max.)	Ubicación	Observaciones
9:51 – 10:05 am	22 (min = 1, max = 28)	Recorrido por el vecindario	Se percibe humo y olor a humo en el exterior durante el recorrido
10:05 – 10:11 am	87 (min = 14, max = 134)	Subiendo de altitud	Parece que hay más humo y el olor es más fuerte
10:11 – 10:14 am	113 (min = 49, max = 137)	Bajando la montaña	
10:14 – 11:20 am	30 (min = 17, max = 45)	Recorrido por la segunda mitad del vecindario	Menos presencia de humo una vez que descendemos de la montaña



Figura 4. Concentraciones de PM_{2.5} a lo largo del tiempo

- La serie temporal de resultados muestra que las concentraciones de PM_{2.5} eran mucho más altas a medida que subíamos la montaña
- Las concentraciones de PM_{2.5} aumentaron muy rápidamente cuando comenzamos a ascender
- Esto coincidió con lo que podíamos oler y ver fuera mientras subíamos la montaña (consulte la Tabla 1)

Conclusiones

- Descubrimos que las concentraciones en la cima de la montaña eran en realidad más altas que en la base, contrariamente a nuestra hipótesis.
- En la montaña, las concentraciones de PM_{2.5} alcanzaron hasta 135 ug/m³.
- Las columnas de humo se elevaban a gran altura en la atmósfera.
- Esto explica por qué se registraron bajos niveles de contaminación en el valle, a pesar de que el cielo parecía estar cubierto de humo.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Bob por su ayuda en el diseño del experimento y a Sheila por manejar el auto mientras realizábamos nuestras mediciones.

ciencias (consulte la **Figura 4-18**). Además, considere la posibilidad de ponerse en contacto con los profesores locales para informarles sobre la red de sensores, ya que pueden estar interesados en utilizar los datos para enseñar en sus aulas.

Utilizar las redes sociales para mantener conversaciones sobre las observaciones de los participantes acerca de sus datos. Los miembros de la comunidad pueden compartir observaciones relacionadas con la calidad del aire y estas plataformas permiten a otros comentar, lo que proporciona una variedad de aportaciones sobre las observaciones (consulte la **Figura 4-19**). Asimismo, el uso de las redes sociales para mantener estas conversaciones puede

Figura 4-18. Proyecto de feria de ciencias en el que se utilizan datos de sensores de bajo costo.

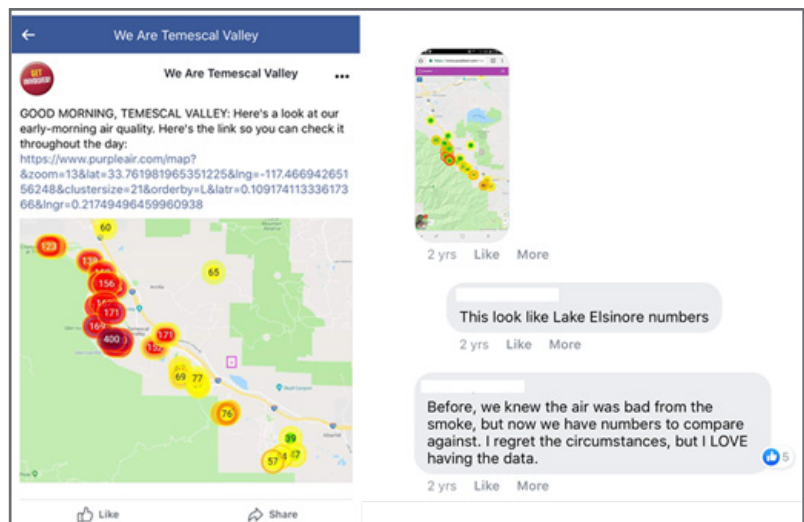


Figura 4-19. Comunidad compartiendo y debatiendo sobre los datos de los sensores de bajo costo durante un incendio forestal a través de las redes sociales (Facebook).

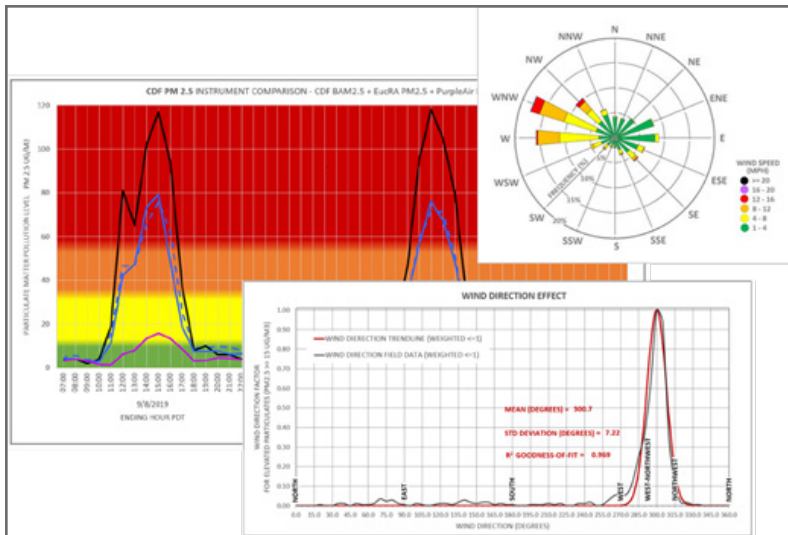


Figura 4-20. Análisis del rendimiento de los sensores y la relación entre los niveles de calidad del aire y la dirección del viento, realizado por un miembro de la comunidad.



Figura 4-21. Imágenes fijas de una visualización de datos animada creada por un miembro de la comunidad para ilustrar las concentraciones dinámicas de $PM_{2.5}$ durante un incendio forestal (publicada en YouTube y compartida/comentada en la página de Facebook del grupo). La altura de la barra roja indica la concentración de $PM_{2.5}$ (cuanto más alta, mayor es la concentración), mientras que el círculo azul indica la velocidad actual del viento (cuanto más grande, mayor es la velocidad).

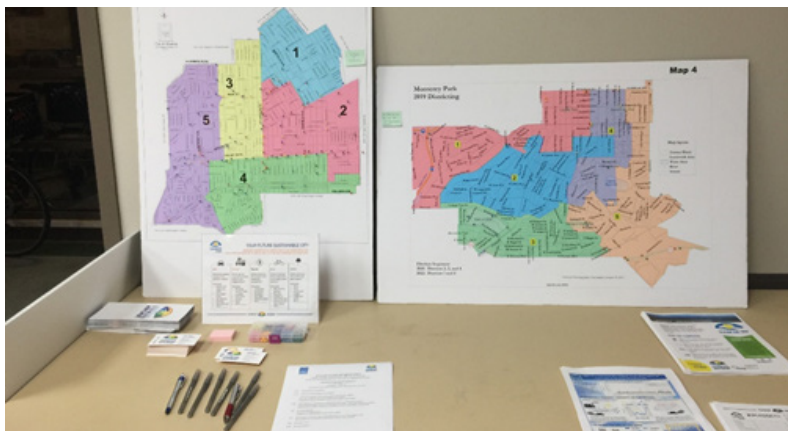


Figura 4-22. Una actividad realizada durante un taller comunitario en la que los participantes utilizaron alfileres de diferentes colores para identificar diversas características (p. ej., parques, áreas de mucho tráfico, etc.). Este tipo de actividades pueden utilizarse para facilitar los debates sobre la calidad del aire local.

proporcionar un registro con marca de tiempo que puede servir como referencia útil durante la fase de análisis de datos del proyecto. Este enfoque de divulgación requiere una participación activa para mantener la cuenta de redes sociales activa e interesante.

☁ **Apoyar el trabajo de análisis de datos de los miembros de la comunidad.** Los miembros de la comunidad pueden tener sus propias preguntas sobre la calidad del aire o los sensores. Se puede fomentar y apoyar su interés siempre que sea posible (consulte la **Figura 4-20**). Por ejemplo, un miembro de la comunidad puede desear aprender más sobre el rendimiento de los sensores colocándolos en una estación de monitoreo de referencia específica. Disponer de algunos sensores adicionales y ayudar a facilitar las relaciones, por ejemplo, con la agencia reguladora local, puede contribuir a que este trabajo sea posible.

☁ **Hacer que los miembros de la comunidad creen visualizaciones de datos personalizadas y atractivas** Puede que haya personas en su comunidad que tengan los conocimientos de programación necesarios para crear visualizaciones de datos únicas y atractivas (consulte la **Figura 4-21**). Los responsables del proyecto pueden apoyar este trabajo facilitando el acceso a los datos.

☁ **Conectar la implementación de sensores con otros proyectos que se estén llevando a cabo en la comunidad.** Anime a la comunidad a pensar en cómo se interrelacionan diferentes cuestiones, como el entorno construido, la industria local, los patrones de tráfico y la calidad del aire local (consulte la **Figura 4-22**).

Referencias

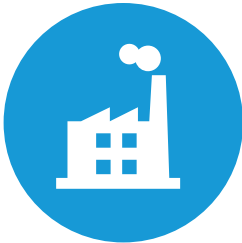
1. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>
2. Miskella G., Salmond J., and Williams D.E. (2017) Low-cost sensors and crowd-sourced data: observations of siting impacts on a network of air-quality instruments. *Science of the Total Environment*, 575(1), 1119-1129. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716321076>.
3. Wong M., Bejarano E., Carvlin G., Fellows K., King G., Lugo H., Jerrett M., Meltzer D., Northcross A., Olmedo L., Seto E., Wilkie A., and English P. (2018) Combining community engagement and scientific approaches in next-generation monitor siting: the case of the Imperial County community air network. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 523, doi: 10.3390/ijerph15030523, March 15. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29543726/>.
4. Collier-Oxandale A., Coffey E., Thorson J., Johnston J., and Hannigan M. (2018) Comparing building and neighborhood-scale variability of CO₂ and O₃ to inform deployment considerations for low-cost sensor system use. *Sensors*, 18, 1349, doi: 10.3390/s18051349. <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/5/1349>.
5. <https://www.epa.gov/citizen-science/quality-assurance-handbook-and-guidance-documents-citizen-science-projects>
6. Conner T., Williams A.C.R., and Kaufman A. (2018) How to evaluate low-cost sensors by collocation with Federal Reference Method monitors. Presentation given by the U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development. Disponible en https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/collocation_instruction_guide.pdf.
7. <https://www.arb.ca.gov/qaweb/site.php>
8. <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/air-sensor-collocation-macro-analysis-tool>
9. Castella N., Dauge F.R., Schneider P., Vogt M., Lerner U., Fishbain B., Broday D., and Bartonova A. (2017) Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International*, 99, 293-302. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016309989>
10. Maag B., Zhou Z., and Thiele L. (2018) A survey on sensor calibration in air pollution monitoring deployments. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4857-4870. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/8405565>.

- 11.** Malings C., Tanzer R., Hauryliuk A., Kumar S.P.N., Zimmerman N., Kara L.B., Presto A.A., and Subramanian R. (2019) Development of a general calibration model and long-term performance evaluation of low-cost sensors for air pollutant gas monitoring. Atmospheric Measurement Techniques, 12, 903-920. Disponible en <https://www.atmos-meas-tech-discuss.net/amt-2018-216/>.
- 12.** <https://www.epa.gov/hesc/real-time-geospatial-data-viewer-retigo>
- 13.** <https://cran.r-project.org/web/packages/openair/index.html>
- 14.** <https://mazamascience.github.io/AirSensor/>
- 15.** https://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract_id/10742
- 16.** <http://www.aqmd.gov/aq-spec/special-projects/airsensor>
- 17.** <https://www.airnowtech.org/>
- 18.** Mukherjee A.D., Brown S.G., McCarthy M.C., Pavlovic N.R., Snyder J.L., Andrea S.D., and Hafner H.R. (2019) Measuring spatial and temporal PM_{2.5} variations in Sacramento, California, communities using a network of low-cost sensors. Sensors, 19(21), 4701, doi: 10.3390/s19214701 (STI- 7092). Disponible en <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/21/4701>.
- 19.** <https://medium.com/human-in-a-machine-world/mae-and-rmse-which-metric-is-better-e60ac3bde13d>
- 20.** <https://people.duke.edu/~rnau/compare.htm>



05 Pasar a la acción

Ahora que ya dispone de los datos, ¿qué hace con los resultados? Puede tomar medidas a nivel local para reducir las emisiones o su exposición, recopilar más datos para aclarar mejor los problemas y/o compartir sus resultados con los responsables políticos.



Colabore con las fuentes locales de contaminación atmosférica y con su agencia local de calidad del aire para reducir las emisiones.

Acción local

Al inicio del proyecto, el equipo habrá pensado en las medidas que desea tomar a nivel local para reducir la exposición a la contaminación, reducir las emisiones o ambas cosas. Entre las preguntas que debe plantearse se incluyen las siguientes:

- ☁ ¿Qué se puede hacer para reducir las emisiones y la exposición? ¿Qué han hecho ya otras comunidades?
- ☁ ¿De quién necesita ayuda para tomar medidas? ¿Qué necesitan saber?
- ☁ ¿Qué recursos (p. ej., fondos, voluntarios) hay disponibles? ¿Qué otros recursos necesita? ¿Dónde puede encontrar recursos adicionales?

Reducir las emisiones

Para reducir las emisiones, existen estrategias y ejemplos en los que basarse. Para la reducción de emisiones:

- ☁ Si se identifica una **fuentes local de emisiones** como uno de los principales contribuyentes a los niveles de contaminación, colabore con la fuente y con la agencia local de calidad del aire para reducir las emisiones.
 - Es útil contar con la participación de la fuente local a lo largo de todo el proyecto.
 - La buena calidad de los datos, gracias a un plan bien elaborado y un proyecto bien ejecutado, le ayudará a la hora de solicitar la participación de la agencia de calidad del aire.

☁ Si se identifican las **emisiones de los vehículos cerca de una escuela** como un problema, desarrolle un programa contra el ralentí.

- Consulte, por ejemplo, el [conjunto de herramientas para un entorno escolar saludable sin ralentí de la EPA de EE. UU.](#)¹
- Se pueden solicitar subvenciones para modernizar la flota de autobuses escolares con el fin de reducir las emisiones. Existen recursos disponibles a nivel nacional, estatal y local. Uno de ellos es la [Ley de Reducción de Emisiones Diésel \(DERA\) de 2010](#),² que permite a la EPA ofrecer reembolsos además de subvenciones para reducir las emisiones nocivas de los vehículos diésel más antiguos y contaminantes. En California, [hay disponible una amplia lista de recursos](#).³

☁ Si se identifica la **quema de leña en viviendas** como un problema, colabore con la agencia local de calidad del aire para desarrollar una política que prohíba la quema en los días en los que la calidad del aire pueda verse muy afectada por el humo de la leña.

- Se pueden solicitar subvenciones para sustituir los aparatos de leña antiguos por sistemas de calefacción domésticos más limpios, como estufas de leña y pellets certificadas por la EPA, calentadores hidrónicos y chimeneas adaptadas que cumplan los requisitos de la EPA, o aparatos de gas o eléctricos. La EPA ofrece un [centro de información](#).⁴
- Se puede aumentar la concientización de la comunidad mediante la divulgación y la educación (p. ej., el sitio web [Spare the Air](#)⁵ del Bay Area Air Quality Management District o el [programa Check Before You Burn](#)⁶ del South Coast AQMD).



(Arriba) Desarrolle un programa contra el ralentí para proteger a los estudiantes de las emisiones nocivas de los vehículos cerca de las escuelas.



(Izquierda) Colabore con su agencia local de calidad del aire para desarrollar una política de prohibición de la quema para los días en que la calidad del aire sea mala.



Desarrolle un programa de concientización de la comunidad que ayude a reducir las emisiones.

Los Estudiantes Pasan a la Acción



[Kids Making Sense](#)⁷ es un programa práctico que los docentes pueden utilizar para enseñar a los estudiantes a medir y monitorear la calidad del aire y el clima, interpretar los datos que recopilan y tomar medidas para reducir su exposición a la contaminación del aire.



kids making sense

El programa consiste en un plan de estudios basado en STEM, tecnología de sensores de aire portátiles y el apoyo de científicos profesionales especializados en la calidad del aire. En recientes implementaciones de Kids Making Sense[®] en aulas de California, los estudiantes utilizaron sensores portátiles de bajo costo para lograr cambios.

En un ejemplo, las aulas portátiles ubicadas cerca de un patio de autobuses fueron reubicadas debido a que las concentraciones de $PM_{2.5}$ en su interior eran más altas en comparación con otras aulas. Los estudiantes concluyeron que las concentraciones más altas podían deberse a los autobuses que estaban en marcha justo fuera de las aulas portátiles.

Gracias a Kids Making Sense, los estudiantes de la escuela secundaria se preocuparon por la contaminación causada por los vehículos en ralentí. Aunque en su escuela secundaria había poco tráfico en ralentí, observaron que había muchos coches en ralentí fuera de la escuela intermedia adyacente. Los estudiantes de la escuela secundaria colaboraron con la escuela intermedia para poner en marcha una campaña contra el ralentí.

Una clase de ciencias de Rosemead, California, estudió la calidad del aire utilizando Kids Making Sense y encontró altas concentraciones de $PM_{2.5}$ dentro de un restaurante de comida rápida local. Los estudiantes observaron que las concentraciones eran más altas que las mediciones tomadas en un puente de una autopista cercana. Los estudiantes presentaron sus hallazgos a un miembro de la junta del South Coast AQMD, al superintendente del distrito escolar y a un miembro de la junta escolar. El miembro de la junta del South Coast AQMD planteó la cuestión de las emisiones de PM de las parrillas de los restaurantes en la siguiente reunión de la junta del South Coast AQMD. La junta acordó dar prioridad a la [reconsideración de la normativa vigente sobre parrillas](#).⁸



Además de reducir las emisiones de las fuentes, los miembros de la comunidad también reducen sus propias emisiones mediante las siguientes acciones:

☁ Reducir las emisiones de los vehículos;

- Caminar, ir en bicicleta, compartir vehículo o utilizar el transporte público.
- Mantener los vehículos en buen estado y los neumáticos inflados.
- Evitar el ralentí excesivo.
- Agrupar los mandados y reducir la cantidad de viajes.

☁ Mejorar la eficiencia energética de los hogares.

☁ Evitar el uso de herramientas de jardín que funcionen con gasolina; consulte el [programa de equipos eléctricos para césped y jardín del South Coast AQMD](#).⁹

 <p>Haga que su hogar sea energéticamente eficiente</p>	 <p>No utilice herramientas que funcionen con gasolina</p>
 <p>Reduzca o evite quemar leña</p>	 <p>No queme hojas ni basura</p>



☁ Reducir o eliminar el uso de chimeneas y estufas de leña.

☁ Evitar quemar hojas, basura y otros materiales.

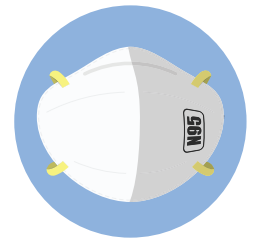
Reducir la exposición

Para reducir la exposición a la contaminación, hay acciones (además de las mencionadas anteriormente) que las personas pueden llevar a cabo:

☁ Si el AQI en su área (p. ej., a través de [AirNow.gov](https://www.airnow.gov)¹⁰) es insalubre para grupos sensibles (los grupos sensibles incluyen a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, adultos mayores, niños y adolescentes) o superior, y usted es una persona con una enfermedad cardíaca o pulmonar, o un adulto mayor, reduzca el ejercicio o el esfuerzo intenso y utilice su medicación. Esté atento a síntomas como tos o dificultad para respirar, ya que son señales de que debe reducir su actividad.

- Cuando los niveles del AQI son insalubres o superiores, la EPA recomienda acortar o reprogramar las actividades al aire libre o elegir una actividad menos extenuante.

☁ Para reducir la exposición a la contaminación por partículas, pase menos tiempo cerca de carreteras con mucho tráfico o entornos polvorientos.



Protéjase cuando haya humo en el área utilizando una mascarilla N95, cerrando las ventanas y encendiendo purificadores de aire para eliminar el humo que ya se encuentra en su hogar.

Cómo utilizaron sus datos los participantes de la subvención STAR

Los participantes de la subvención STAR de diversas comunidades indicaron que utilizaban los datos de los sensores para decidir si hacer ejercicio en interiores o al aire libre, o cuándo pasear a su perro. Los residentes también explicaron que revisaban los datos de los sensores por la noche para decidir si utilizar o no el ventilador de toda la casa (para introducir aire del exterior).



Una comunidad de la subvención STAR comentó que utilizaba los sensores para monitorear y guiar las quemas controladas, así como para notificar a las escuelas cercanas sobre las posibles emisiones generadas por estas actividades.

En otra comunidad de la subvención STAR, mediante el uso de sensores interiores y exteriores emparejados, los residentes utilizaron los datos para ajustar su comportamiento en relación con la cocina (p. ej., regulando la ventilación según el tipo de comida que se preparaba). Los residentes de esta comunidad también describieron cómo utilizaban los datos de los sensores para optimizar el uso de las unidades de filtración interiores (es decir, mejorando la calidad del aire interior y minimizando el consumo de energía).

Otra de las comunidades comentó cómo la industria local estaba monitoreando los datos proporcionados por sus sensores de la subvención STAR con el fin de utilizarlos potencialmente para informar sus operaciones.

☁ Para reducir los niveles de partículas en interiores cuando las concentraciones en el exterior son altas, cierre las ventanas; evite la entrada de aire de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) cuando los contaminantes estén en su nivel más alto (a menos que haya un sistema de filtración de alta eficiencia); elimine el humo del tabaco; reduzca el uso de estufas de leña y chimeneas; utilice filtros HEPA y purificadores de aire diseñados para reducir las partículas; y no encienda velas. La Junta de Recursos del Aire de California ha elaborado [una lista de dispositivos certificados de purificación](#).



[del aire](#)¹¹ en California. Tenga en cuenta que algunos dispositivos que se anuncian como purificadores de aire, filtros de aire o generadores de ozono emiten deliberadamente grandes cantidades de ozono. Estos generadores de ozono no solo son ineficaces para purificar el aire interior, sino que respirar ozono supone graves riesgos para la salud (consulte el Capítulo 2); por lo tanto, no deben utilizarse.

☁ Si el AQI en su área es bueno, considere la posibilidad de abrir las ventanas. Los niveles de partículas y compuestos orgánicos volátiles en el exterior pueden ser más bajos que en el interior, especialmente si realiza actividades que aumentan los niveles de partículas en el interior (como cocinar o pasar la aspiradora).

☁ Compruebe regularmente los datos de monitoreo del aire, por ejemplo, a través de [AirNow.gov](#),¹⁰ para planificar sus actividades al aire libre.

☁ Considere la posibilidad de realizar [pruebas de radón en su hogar](#),¹² especialmente si vive en un [lugar con mayor potencial](#)¹³ de niveles elevados de contaminación en interiores.

Aumentar la concientización

Además de reducir sus emisiones y su exposición personal, considere compartir sus conocimientos para aumentar la concientización:



Un programa de banderas de calidad del aire alerta a la comunidad sobre la previsión de la calidad del aire local.

☁ **Desarrolle material informativo** para difundir entre la comunidad. En el Apéndice E se muestra un ejemplo.

☁ Inicie un **programa de banderas en la escuela**. Un [programa de banderas](#)¹⁴ alerta a la comunidad sobre la previsión de la calidad del aire local. Las comunidades pueden utilizar esta información para proteger la salud de las personas, incluida la salud de los asmáticos. Una escuela (u otra organización) iza una bandera que corresponde al AQI: verde, amarilla, naranja, roja y morada. La EPA ofrece orientación sobre los [programas de banderas en las escuelas](#).¹⁵

☁ Tenga en cuenta un proyecto que tomó **mediciones en interiores y exteriores** en una escuela.^{16, 17, 18} Las mediciones se realizaron en una escuela secundaria de Las Vegas, antes y después de que se ampliara la autopista adyacente. Estas mediciones se realizaron tanto en un aula como en el exterior de la escuela. Uno de los resultados del proyecto fue que los docentes se concienciaron sobre cuándo las concentraciones de contaminantes eran más altas en el exterior y cambiaron cuando tenían las puertas o ventanas abiertas para dejar entrar aire “fresco”. Los proyectos de medición también pueden aumentar la concientización de otras maneras, por ejemplo:

- Los padres pueden aprender sobre el impacto de dejar sus vehículos en marcha en la escuela.
- Los estudiantes pueden aprender rutas menos contaminantes para ir a la escuela a pie o en bicicleta.
- Los entrenadores pueden aprender a cambiar los entrenamientos a otra hora del día o a un lugar cubierto en función de las tendencias o los niveles de contaminación.

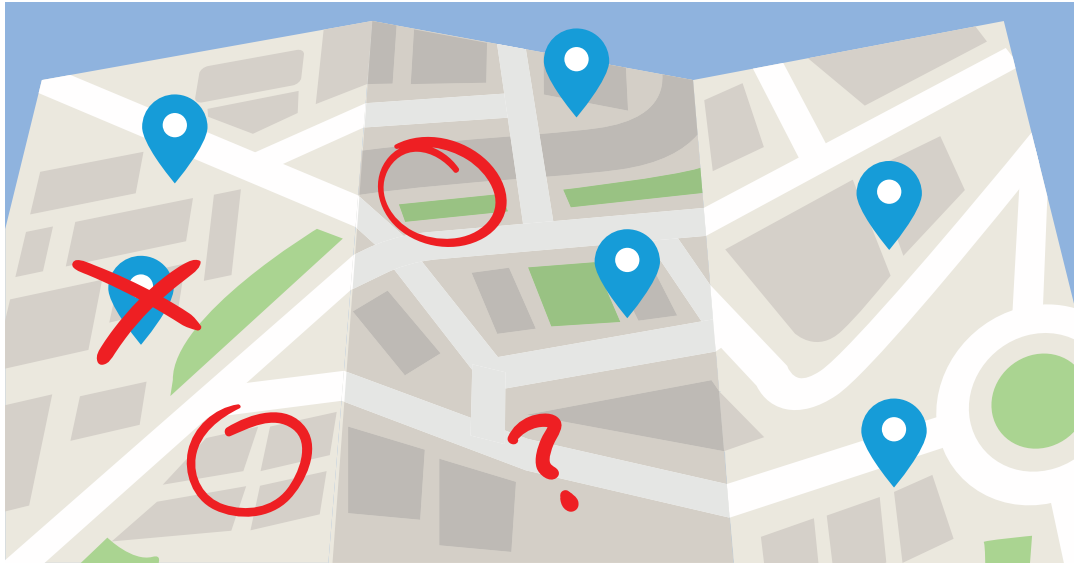
Otras estrategias de mitigación

A un nivel superior de financiación y planificación urbana, hay otras estrategias de mitigación que deben tenerse en cuenta:

☁ **Realizar cambios en las infraestructuras**. Buscar financiamiento para mejorar los sistemas de filtración de los edificios cercanos a una fuente, como una escuela situada cerca de una carretera con mucho tráfico.

☁ **Cambiar el diseño de un edificio**. Por ejemplo, alejar la ubicación de la toma de aire del sistema de climatización de fuentes como muelles de carga o [tráfico intenso](#).¹⁹

☁ **Añadir vegetación a lo largo de las carreteras** para reducir la contaminación procedente de las [mismas en las comunidades cercanas](#).²⁰



Recopilación de datos adicionales

Según los resultados del proyecto, puede ser necesario realizar un monitoreo adicional. Esto podría ser dirigido por la agencia correspondiente para investigar más a fondo los puntos críticos o una fuente en particular. O bien, podría tratarse de otra ronda de recopilación de datos dirigida por la comunidad. Por ejemplo, puede ser necesario realizar mediciones de otros contaminantes o mediciones de mayor calidad (p. ej., utilizando instrumentos mejorados). Es posible que su comunidad tenga que rediseñar el estudio para centrarse en una nueva ubicación o tipo de fuente, añadir

más tiempo al calendario o añadir más ubicaciones. La **Figura 5-1** ofrece un árbol de decisión para ayudar a rediseñar o ampliar un estudio.

A menudo, el financiamiento es limitado y es posible que su proyecto deba considerarse como un "proyecto piloto" para informar los siguientes pasos. Tal vez necesite un proyecto más grande y bien financiado para brindar datos potencialmente procesables. El financiamiento se puede obtener a través de programas locales, estatales y federales.

Oportunidades de financiamiento

[!\[\]\(73c386776b75301911ff03a315e5d6d8_img.jpg\) Información y oportunidades de subvención de la EPA.²¹](#)

[!\[\]\(eb5760b706faef7d207ec8bda497ecf8_img.jpg\) Capacitación sobre las subvenciones de la EPA.²²](#)

[!\[\]\(586bda6cc0f931f7d7b121ba58b98ac4_img.jpg\) Ejemplos de oportunidades de subvención a nivel estatal.²³](#)

[!\[\]\(ad93d4bb1c1277a5b9d1587a56bdbd08_img.jpg\) Ejemplos de oportunidades de subvención a nivel estatal para áreas de justicia ambiental.²⁴](#)

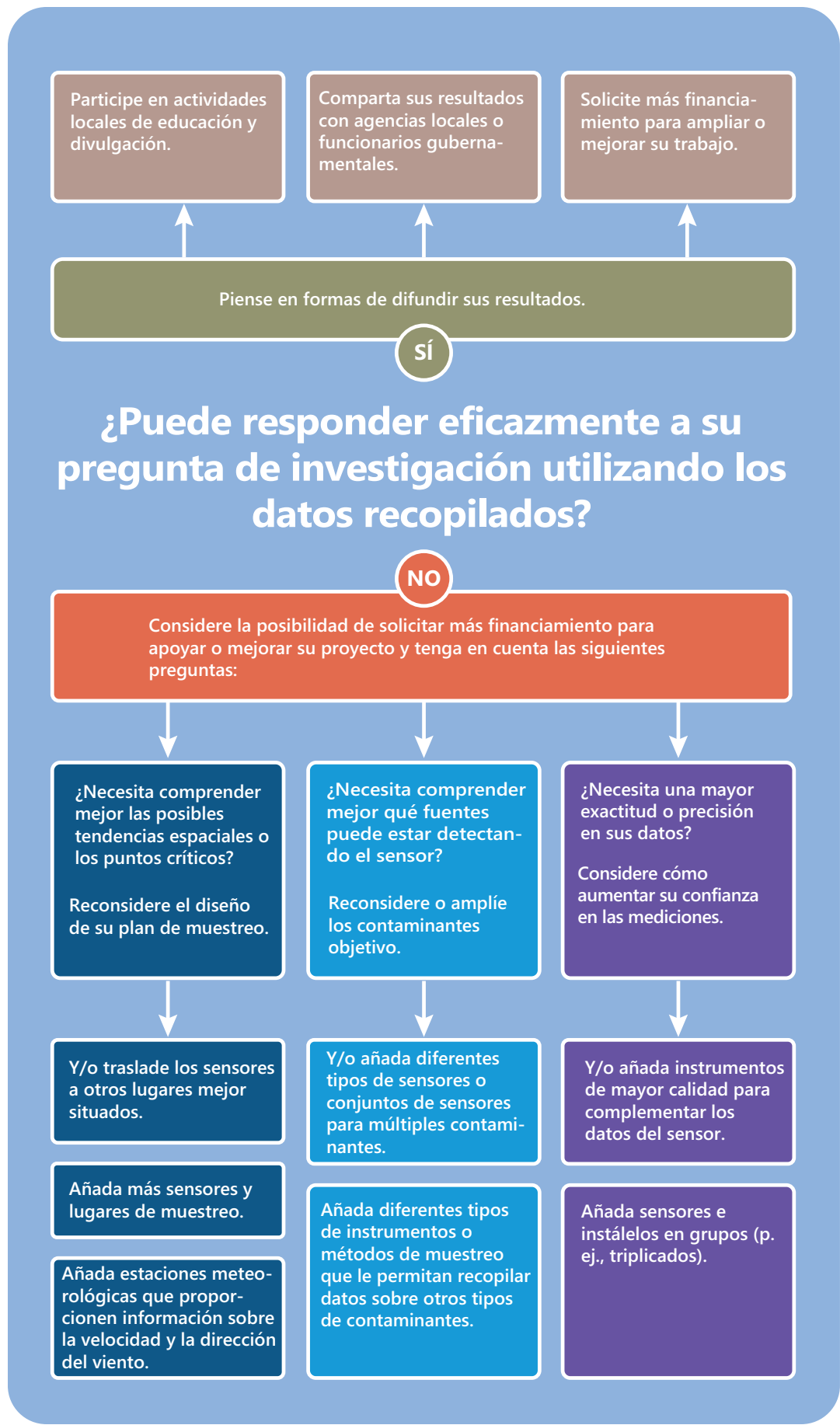


Figura 5-1. Utilice este árbol de decisión para determinar si se necesitan más mediciones para cumplir los objetivos del proyecto.



Comparta sus objetivos y resultados con la comunidad desde el principio y con cierta frecuencia.

Compartir los resultados y comentar el proyecto

Trabajar con la agencia reguladora local

Cada distrito de calidad del aire difiere en términos de tamaño y capacidad, por lo que recomendamos ponerse en contacto con la línea de ayuda pública o la dirección de correo electrónico correspondiente (p. ej., correo electrónico para consultas/quejas/divulgación). Ellos le ayudarán a dirigir su consulta a la persona más adecuada de su distrito local. El Apéndice J presenta una lista de California a modo de ejemplo.

Al ponerse en contacto con su agencia reguladora local, puede tener una serie de objetivos, como dar a conocer el proyecto y recibir comentarios, acceder a un sitio regulatorio para la colocación de sensores o comentar los resultados del proyecto.

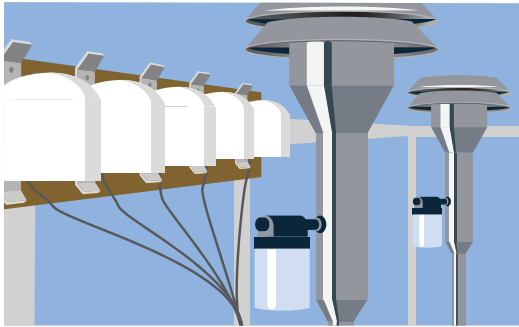


1. Si está interesado en dar a conocer su proyecto a la agencia reguladora local o en solicitar comentarios informales sobre su proyecto, considere la posibilidad de incluir la siguiente información:

- ☁ Un breve resumen de su proyecto.
- ☁ Qué espera aprender, su pregunta de investigación o por qué está llevando a cabo este proyecto.

☁ El alcance de su proyecto (tipo de sensores, contaminantes medidos, número de sensores, dónde se instalarán y durante cuánto tiempo).

☁ Quiénes participan (lista de los socios, las comunidades y/u otros tipos de participantes).



2. Si desea solicitar acceso a un sitio de monitoreo oficial para colocalizar sus sensores, considere incluir todo lo mencionado anteriormente para el Escenario 1, además de lo siguiente:

☁ Cuántos sensores desea colocalizar

☁ El tamaño y peso aproximados de un solo sensor.

☁ Dónde desea colocalizarlos (indique el nombre del sitio de monitoreo o describa qué tipo de sitio sería ideal, por ejemplo, un sitio con datos de $PM_{2.5}$ promediados por hora que esté cerca de una carretera con mucho tráfico).

☁ Las fechas ideales de inicio y finalización de la colocalización.

☁ Los requisitos de los sensores en términos de energía y conectividad (como Wi-Fi).

☁ Si necesitará o no acceder a los sensores durante la colocalización.

3. Si desea comentar sus datos o resultados con la agencia reguladora local, incluya todo lo indicado en el Escenario 1, además de lo siguiente:



☁ Una breve descripción general de sus resultados y su interpretación de los mismos. Es mejor limitar el resumen inicial a una sola página, pero esté preparado para compartir más detalles o un informe más extenso si se le solicita.

☁ Describa cómo procesó y analizó sus datos (incluidos los pasos de QA/QC aplicados y el promedio de tiempo).

☁ Cómo evaluó el rendimiento del sensor o desarrolló y aplicó ecuaciones de corrección/calibración.

☁ Explique lo que espera aprender o lograr al comentar su estudio y los resultados con el personal de la agencia reguladora local.

Divulgación comunitaria

A lo largo del proyecto, es importante involucrar a los miembros de la comunidad desde el inicio y de manera continua para garantizar que se cumplan las expectativas de la comunidad, que se realicen las modificaciones necesarias en función de sus aportaciones, que la información se difunda a todos los ciudadanos afectados y que se mantenga el interés en el proyecto.

Los datos y las guías de interpretación sencillas, [como los mensajes piloto de la EPA sobre el ozono y el \$PM_{2.5}\$](#) ,²⁵ deben estar fácilmente disponibles para todos los miembros de la comunidad,

Involucre a los miembros de la comunidad mediante diferentes formas de comunicación, como las redes sociales, el correo electrónico y los boletines informativos.



de modo que puedan tomar medidas informadas y proteger su salud.

A continuación, se ofrecen algunas ideas de actividades de divulgación:

- ☁ Organizar reuniones comunitarias mensuales o bimensuales para hablar sobre las lecturas de los sensores durante ese periodo, hacer un seguimiento del progreso del proyecto e intercambiar ideas sobre medidas que ayuden a proteger la salud de la comunidad.
- ☁ Publicar boletines mensuales en los que se detallen los resultados de los sensores durante el mes, incluyendo promedios, resultados inesperados, patrones e interpretaciones.
- ☁ Solicitar con frecuencia la opinión de la comunidad a través de reuniones y encuestas para identificar áreas de mejora y abordar cualquier preocupación.
- ☁ Utilizar múltiples vías para llegar a los miembros de la comunidad, como reuniones presenciales, folletos y panfletos en áreas comunes, boletines locales, listas de correo electrónico, una página de Facebook de la comunidad,

una cuenta de Twitter y cualquier otro método apropiado.

- ☁ Aprovechar las redes sociales comunitarias existentes para involucrar a los ciudadanos, por ejemplo, presentando información en iglesias locales, escuelas y otras instituciones que reúnen a las personas.

También es recomendable facilitar el acceso a la información a través de múltiples medios para llegar a un público más amplio.

Directrices para una comunicación eficaz

Para comunicar sus resultados de forma eficaz, tenga en cuenta a su audiencia: ¿cuál es el nivel técnico adecuado? ¿Qué es lo que más le preocupa a la audiencia? ¿Qué información previa necesita para comprender la historia? Una buena comunicación incluye definiciones claras, un flujo lógico y un contenido adaptado a la audiencia.

- ☁ Organice la información de forma lógica.
- ☁ Proporcione indicaciones que ayuden a los lectores a seguir y encontrar la información.
- ☁ Haga que la proporción de espacio que dedique a cualquier información refleje la importancia relativa de dicha información.
- ☁ Elija las palabras con precisión.
- ☁ Escriba frases claras y concisas.
- ☁ Las tablas y las figuras deben ser “independientes” e incluir todas las unidades, abreviaturas y notas descriptivas; esto es importante para que las tablas y las figuras puedan interpretarse fácilmente sin necesidad de consultar el texto del cuerpo de su informe.

☁ Las fotos son útiles para contar su historia y hacerla más personal para su audiencia.

☁ Obtenga ideas sobre tipos de gráficos, esquemas, estructuras y formatos de otros informes y presentaciones.

Las pautas anteriores se pueden aplicar a diferentes enfoques de comunicación, como infografías, informes y sitios web. Las infografías bien elaboradas se pueden utilizar para resumir los resultados y comunicarlos de una manera eficaz y atractiva. En el Apéndice E se incluye un ejemplo de una infografía elaborada para una de las comunidades de la subvención STAR.

Informes

Los informes son más completos y permiten explicar sus resultados con mayor profundidad. Son más eficaces cuando se adaptan al público, tanto en lo que respecta al nivel técnico como a sus intereses. Es útil considerar qué preguntas tiene su público sobre los datos recopilados. En el Apéndice M se incluyen tres informes a modo de ejemplo. Estos informes se generaron durante el proyecto de la subvención STAR y ambos pretenden responder a las preguntas que surgieron entre las comunidades.



Sitios web

Los sitios web son otra forma eficaz de apoyar la comunicación durante su proyecto y una vez concluido. En una comunidad durante la implementación de los sensores de la subvención STAR, un residente creó un sitio web que reunía toda la información que podía interesar a los miembros de su comunidad. También proporcionó visualizaciones de datos y herramientas para trabajar con los datos de los sensores, como se muestra en la **Figura 5-2**. Puede obtener más información sobre las herramientas de análisis de datos desarrolladas por este participante en el Apéndice M.

Figura 5-2.

Sitios web como PurpleAir ofrecen código gratuito para mostrar datos en tiempo real de sus sensores en su propio sitio web. También puede incluir enlaces a información de referencia y herramientas de análisis de datos.



Para más información

Si desea obtener más orientación e inspiración sobre cómo comunicar sus resultados, consulte los siguientes recursos:

[Comunidad "Sharing Science" de la Unión Geofísica Americana](#)²⁶

[Ciencia informal: Difusión y divulgación](#)²⁷

References

1. <https://www.epa.gov/schools/idle-free-schools-toolkit-healthy-school-environment>
2. <https://www.epa.gov/dera/rebates>
3. https://ww3.arb.ca.gov/msprog/truckstop/azregs/fa_resources.htm
4. <https://www.epa.gov/burnwise>
5. <https://www.sparetheair.org/>
6. <https://www.aqmd.gov/home/programs/community/community-detail?title=check-before-you-burn>
7. <https://kidsmakingsense.org/>
8. Gales R. (2018) Eighth-graders take hands-on approach to fighting air pollution. Edison International, June 22. Disponible en <https://energized.edison.com/stories/eighth-graders-take-hands-on-approach-to-fighting-air-pollution>.
9. <https://www.aqmd.gov/home/programs/community/electric-lawn-and-garden-programs>
10. <https://www.airnow.gov/>
11. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/air-cleaners-ozone-products/air-cleaner-information-consumers>
12. <https://www.epa.gov/radon>
13. https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-05/radon-zones-map_text_link.pdf
14. Shendell D.G., Rawling M.-M., Foster C., Bohlke A., Edwards B., Rico S.A., Felix J., Eaton S., Moen S., Roberts E.M., and Love M.B. (2007) The outdoor air quality flag program in Central California: a school-based educational intervention to potentially help reduce children's exposure to environmental asthma triggers. *Journal of Environmental Health*, 70(3), 28-31, October. Disponible en www.jstor.org/stable/26327424.
15. <https://www.airnow.gov/air-quality-flag-program/>
16. McCarthy M.C., Ludwig J.F., Brown S.G., Vaughn D.L., and Roberts P.T. (2013) Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*, 23(3), 196-207, doi: 10.1111/ina.12015 (STI-906034-3629), January 25. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12015/abstract>.
17. Brown S.G., McCarthy M.C., DeWinter J.L., Vaughn D.L., and Roberts P.T. (2014) Changes in air quality at near-roadway schools after a major freeway expansion in Las Vegas, Nevada. *J. Air Waste Manage.*, 64(9), 1002-1012, doi: 10.1080/10962247.2014.907217 (STI-3889).
18. Brown S.G., Vaughn D.L., and Roberts P.T. (2017) Particle count and black carbon measurements at schools in Las Vegas, NV, and in the greater Salt Lake City, UT, area. *J. Air Waste Manage.*, 67(11), 1192-1204, doi: 10.1080/10962247.2016.1270236 (STI-6523), November 11.

- 19.** Graham A., Eisinger D., Chazan D., Stewart K., Baldauf R., Thomas J., Bailey C., Brown S., and Bai S. (2015) Best practices for reducing near-road pollution exposure at schools. Final report prepared for the U.S. Environmental Protection Agency Office of Children’s Health Protection, Research Triangle Park, NC by Sonoma Technology, Inc., Petaluma, CA, EPA-100-R-15-001; STI-910510-6024, November. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1013GDE.pdf>.
- 20.** <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6060415/>
- 21.** <https://www.epa.gov/grants>
- 22.** <https://www.epa.gov/grants/epa-grants-management-training-applicants-and-recipients>
- 23.** <https://calepa.ca.gov/loansgrants/>
- 24.** <https://ww2.arb.ca.gov/capp-cag>
- 25.** U.S. Environmental Protection Agency (2016) Interpretation and communication of short-term air sensor data: a pilot project. Draft. Disponible en https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/interpretation_and_communication_of_short-term_air_sensor_data_a_pilot_project.pdf
- 26.** <https://connect.agu.org/sharingscience/home>
- 27.** <https://www.informalscience.org/projects/dissemination>

Apéndice A. Índice de calidad del aire: Guía sobre la calidad del aire y su salud

Introducción

El índice de calidad del aire (AQI, por sus siglas en inglés) es un índice que informa sobre la calidad diaria del aire. Indica el nivel de contaminación y los efectos asociados para la salud que podrían ser motivo de preocupación. El AQI se centra en los efectos sobre la salud que se pueden experimentar en las horas o días posteriores a la inhalación de aire contaminado. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos calcula el AQI para los cinco contaminantes principales (también conocidos como contaminantes criterio) regulados por la Ley de Aire Limpio:

1. Ozono troposférico (O₃)
2. Contaminación por partículas, también conocida como material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})
3. Monóxido de carbono (CO)
4. Dióxido de azufre (SO₂)
5. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Para cada uno de estos contaminantes, la EPA ha establecido estándares nacionales de calidad del aire ambiental (NAAQS) para proteger la salud pública. El ozono troposférico y las partículas en suspensión son los dos contaminantes criterio que representan la mayor amenaza para la salud humana en este país.

Al tratarse de un área con grandes dificultades para cumplir los estándares de la Ley Federal de Aire Limpio en los plazos establecidos, el estado de California ha adoptado estándares más estrictos que los federales para determinados contaminantes, entre ellos el O₃ y el NO₂.

¿Cómo funciona el AQI?

Imagine que el AQI es como una escala que va de 0 a 500. Cuanto más alto sea el valor del AQI, mayor será el nivel de contaminación del aire y mayor será el riesgo para la salud. Por ejemplo, un valor de 50 representa una buena calidad del aire con pocas posibilidades de afectar a la salud pública, mientras que un valor superior a 300 representa una calidad del aire peligrosa. Un valor de 100 corresponde generalmente a los NAAQS para el contaminante, que es el nivel que la EPA ha establecido para proteger la salud pública. Los valores inferiores a 100 se consideran generalmente satisfactorios. Cuando los valores superan 100, se considera que la calidad del aire es insalubre para determinados grupos de personas sensibles. A medida que el AQI aumenta por encima de 100, cada vez más personas pueden volverse susceptibles a los efectos del aire insalubre.

Interpretación de la escala del AQI

El objetivo del AQI es aclarar qué significa la calidad del aire local para su salud. Para facilitar su comprensión, el AQI se divide en seis categorías. Cada categoría corresponde a un nivel diferente de riesgo para la salud. Hay seis niveles de riesgo para la salud.

Bueno: El valor del AQI para su comunidad se encuentra entre 0 y 50. La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica supone un riesgo mínimo o nulo para la salud.

Moderado: El AQI de su comunidad se encuentra entre 51 y 100. La calidad del aire es aceptable. No obstante, en el caso de algunos contaminantes, puede haber un riesgo moderado para la salud de un número muy reducido de personas. Por ejemplo, las personas con una sensibilidad inusual al ozono pueden experimentar síntomas respiratorios.

Insalubre para grupos sensibles: Cuando los valores del AQI se encuentran entre 101 y 150, los miembros de los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. Esto significa que pueden verse afectados a niveles más bajos que la población en general. Por ejemplo, las personas con enfermedades pulmonares corren un mayor riesgo al exponerse al ozono, así como aquellas con enfermedades pulmonares o cardíacas son más vulnerables a la contaminación por partículas. Es poco probable que la población en general se vea afectada cuando el AQI se encuentre dentro de este rango.

Insalubre: Todo el mundo puede empezar a experimentar efectos en la salud cuando los valores del AQI se sitúan entre 151 y 200. Los miembros de los grupos sensibles pueden sufrir efectos más graves en la salud.

Muy insalubre: Los valores entre 201 y 300 activan una alerta sanitaria, lo que implica que cualquier persona puede experimentar efectos graves sobre la salud.

Peligroso: Los valores superiores a 300 activan alertas sanitarias de emergencia. Es más probable que toda la población se vea afectada.

Interpretación del código de colores del AQI

La EPA ha asignado un color específico a cada categoría del AQI para que sea más fácil comprender rápidamente si la contaminación del aire está alcanzando niveles insalubres en las comunidades.

Índice de Calidad del Aire	
Valor Numérico	Nivel de preocupación por la salud
0 - 50	Bueno
51 - 100	Moderado
101 - 150	Insalubre para Grupos Sensibles
151 - 200	Insalubre
201 - 300	Muy Insalubre
> 300	Peligroso

Explicación de los contaminantes criterio

El **monóxido de carbono** (CO) es un gas incoloro e inodoro que se forma cuando el carbono del combustible no se quema por completo. Entre sus fuentes se encuentran los gases de escape de los vehículos de motor, los procesos industriales como el procesamiento de metales y la fabricación de productos químicos, la quema de leña en viviendas y fuentes naturales como los incendios forestales.

Los **óxidos de nitrógeno** (NO_x) son un grupo de gases altamente reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en cantidades variables. Muchos de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros. Sin embargo, un contaminante común, el dióxido de nitrógeno (NO₂), junto con las partículas del aire, puede verse a menudo como una capa de color marrón rojizo sobre muchas áreas urbanas.

El **ozono** (O₃) es un gas creado por una reacción química entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar. Los gases de escape de los vehículos de motor y las emisiones industriales, los vapores de la gasolina y los disolventes químicos, así como las fuentes naturales, emiten NO_x y COV que contribuyen a formar ozono. El ozono troposférico es el principal componente del smog.

El **dióxido de azufre** (SO₂) pertenece a la familia de los gases de óxido de azufre (SO_x). Los gases SO_x se forman cuando se quema combustible que contiene azufre, como el carbón y el petróleo, cuando se extrae gasolina del petróleo o cuando se extraen metales del mineral. El SO₂ se disuelve en el vapor de agua para formar ácido e interactúa con otros gases y partículas del aire para formar sulfatos y otros productos que pueden ser perjudiciales para las personas y su entorno.

El **material particulado 10** (PM₁₀), también denominado "partículas gruesas inhalables" o "contaminación por partículas", tiene un diámetro inferior a 10 micrómetros y suele encontrarse cerca de carreteras e industrias polvorosas. El PM₁₀ está formado por diversos componentes, entre los que se incluyen ácidos (como nitratos y sulfatos), sustancias químicas orgánicas, metales y partículas de tierra o polvo. Una vez inhaladas, estas partículas pueden afectar al corazón y los pulmones y causar graves efectos sobre la salud.

El **material particulado 2.5** (PM_{2.5}) o "partículas finas" tiene un diámetro igual o inferior a 2.5 micrómetros. A menudo presentes en el humo y la neblina, estas partículas pueden ser emitidas directamente por fuentes como los incendios forestales o pueden formarse cuando los gases emitidos por las centrales eléctricas, las industrias y los automóviles reaccionan en el aire. Una vez inhaladas, estas partículas pueden afectar al corazón y los pulmones y causar graves efectos sobre la salud.

Mapeo de los datos actuales sobre la calidad del aire

Muchos distritos de gestión de la calidad del aire de EE. UU. proporcionan previsiones sobre la calidad del aire para sus áreas (consulte <https://www.airnow.gov/>). En el South Coast Air Quality Management District (South Coast AQMD), se preparan previsiones de la calidad del aire para casi 40 áreas fuente/receptoras, o áreas de previsión. Estas áreas de previsión se muestran en el mapa actual de calidad del aire (consulte el enlace en <http://www.aqmd.gov/home/air-quality/air-quality-forecasts>). La mayoría de estas áreas cuentan con una o varias estaciones de monitoreo del aire que

miden los contaminantes atmosféricos y los datos meteorológicos. La medición en tiempo real de cinco contaminantes criterio influye en la lectura actual del AQI. Estos equipos de monitoreo se encuentran distribuidos en las estaciones fijas de monitoreo del aire de la siguiente manera:

- 30 estaciones miden el O₃
- 26 estaciones miden el CO
- 25 estaciones miden el NO₂
- 11 estaciones miden el PM₁₀
- 9 estaciones miden el PM_{2.5}

Las ubicaciones de los equipos se eligen en función de la representatividad de la calidad del aire local, las fuentes de emisión y los problemas de transporte locales, la gravedad relativa del problema del contaminante predominante en el área y factores financieros como el costo de los equipos, el mantenimiento y el personal de apoyo. Para las áreas en las que no se monitorea un contaminante criterio concreto, se asigna a esa zona la estación más cercana o una combinación de estaciones circundantes. Estas estaciones sustitutas se conocen como estaciones proxy. El uso de estaciones proxy permite aplicar los datos de monitoreo disponibles más cercanos a las áreas de previsión que no cuentan con equipos de monitoreo para un contaminante criterio específico.

El South Coast AQMD también ofrece una aplicación para teléfonos móviles que permite acceder a información y previsiones sobre la calidad del aire en tiempo real. Esta aplicación puede utilizarse para conocer las condiciones de calidad del aire de su ubicación actual. La información se presenta utilizando la escala del AQI descrita anteriormente. El folleto que aparece a continuación ofrece más información sobre la aplicación móvil y dónde descargarla, tanto en inglés como en español.

DISPONIBLE EN ESPAÑOL

¿CUÁL ES SU CALIDAD DE AIRE?

¡DESCÁRGUESE

LA APLICACIÓN MÓVIL DE SOUTH COAST AQMD

HOY!

UNA APLICACIÓN CON

- Índice de calidad del aire (AQI) ■ Reportar un Cumplimiento
- Sitios de depósito de combustibles ■ Temperatura

South Coast
AQMD

Visite Nuestra Página Web: www.aqmd.gov/mobileapp

APUNTA TU CÁMARA AQUÍ

Visite La Tienda de Aplicaciones

Estándares nacionales de calidad del aire ambiental (NAAQS) y estándares del estado de California

Los estándares de calidad del aire definen la cantidad de un contaminante (promediada durante un periodo de tiempo específico) que puede estar presente en el aire exterior sin causar efectos perjudiciales para las personas o el medioambiente. Los estándares nacionales de calidad del aire ambiental se aplican a todos los estados. Muchos estados también han establecido sus propios estándares de calidad del aire y, en algunos casos, como en California, algunos estándares estatales pueden ser más estrictos que los nacionales. Existen dos tipos de estándares de calidad del aire: primarios y secundarios. Los **estándares primarios** proporcionan protección a la salud pública, lo que incluye la protección de la salud de poblaciones "sensibles", como los asmáticos, los niños y las personas mayores. Los **estándares secundarios** proporcionan protección al bienestar público, lo que incluye la protección frente a la disminución de la visibilidad y los daños a los animales, los cultivos, la vegetación y los edificios (Fuente: EPA). La siguiente tabla resume los estándares federales y los estándares de California para los contaminantes criterio.

Contaminante	Primario/Secundario	Periodo promedio	Estándar estatal de California (2016)	Estándar federal (Año)
CO	Primario	1 hora	20 ppm	35 ppm (2011)
		8 horas	9 ppm	9 ppm (2011)
O ₃	Primario y secundario	1 hora	0.090 ppm	—
	Primario y secundario	8 horas	0.070 ppm	0.070 ppm (2015)
NO ₂	Primario	1 hora	0.180 ppm	0.100 ppm (2010)
	Primario y secundario	1 año	0.030 ppm	0.053 ppm (2012)
SO ₂	Primario	1 hora	0.25 ppm	0.075 ppm (2010)
	Secundario	3 horas	—	0.500 ppm (2012)
PM ₁₀	Primario y secundario	24 horas	50 µg/m ³	150 µg/m ³ (2012)
PM _{2.5}	Primario y secundario	24 horas	—	35 µg/m ³ (2012)
				12 µg/m ³ (2012)
	Secundario	1 año	—	15 µg/m ³ (2012)
				12 µg/m ³ (2012)

Cálculo del AQI utilizando el método NowCast

El método NowCast es una forma de aproximar la información del AQI a cualquier hora del día, proporcionando datos más “en tiempo real” sobre la calidad del aire. El estándar para el ozono se basa en un promedio de 8 horas, mientras que para el PM_{2.5} se utiliza un estándar de 24 horas. NowCast genera información sobre el AQI que probablemente refleje mejor las condiciones actuales en la hora que el usuario desea consultar.

Básicamente, los cálculos consisten en calcular un factor de ponderación, basado en el rango de los datos, y luego sumar cada concentración horaria multiplicada por el factor de ponderación, que se eleva a la potencia de cuántas horas hace que se midió la concentración. A continuación, esta suma se divide por los factores de ponderación sumados, también elevados a la potencia de cuándo se midió la concentración por última vez.

Paso 1: Calcule el factor de ponderación como uno menos el rango de concentración dividido por la concentración máxima (tenga en cuenta que, si el factor de ponderación es inferior a 0.5, deberá utilizar 0.5)

$$\text{factor de ponderación} = 1 - ((\text{rango de concentración})/(\text{concentración máxima}))$$

Paso 2: Sume cada concentración multiplicada por el factor de ponderación elevado a la potencia de cuántas horas hace que se midió (es decir, los datos de la hora actual se elevarán a la potencia 0) y divida esta suma por los factores de ponderación sumados y también elevados al número de horas que hace que se midió el valor correspondiente. En la ecuación del ejemplo, c1 indica la concentración más reciente medida, c2 indica la segunda concentración horaria más reciente medida y así sucesivamente.

$$\text{Valor NowCast} = \frac{c1 * wf^0 + cf2 * wf^1 + cf3 * wf^2 + cf4 * wf^3 + cf5 * wf^4 + \dots}{wf^0 + wf^1 + wf^2 + wf^3 + wf^4 + \dots}$$

A continuación, se muestra el cálculo utilizando datos de muestra a modo de ejemplo:

Datos de muestra de O₃ (en ppb):

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
O ₃ (ppb)	55	70	80	75	65	60	50	45

Factor de ponderación = 1 - (80-45)/80 = 0.5625

Promedio NowCast =

$$\frac{(55 \cdot 0.5625^7 + 70 \cdot 0.5625^6 + 80 \cdot 0.5625^5 + 75 \cdot 0.5625^4 + 65 \cdot 0.5625^3 + 60 \cdot 0.5625^2 + 50 \cdot 0.5625^1 + 45 \cdot 0.5625^0)}{(0.5625^7 + 0.5625^6 + 0.5625^5 + 0.5625^4 + 0.5625^3 + 0.5625^2 + 0.5625^1 + 0.5625^0)} = 52.54 \text{ ppb}$$

Apéndice B. Reuniones comunitarias de la subvención STAR: Preguntas frecuentes

Acerca del proyecto

P: ¿Cuál es mi papel en este proyecto?

R: El de científico comunitario. Como tal, se encargará de alojar un sensor, realizar un seguimiento de su rendimiento, consultar los datos que recopile y proporcionar comentarios sobre el sensor, su utilidad y la aplicación de los datos. Estos comentarios contribuirán a mejorar el desarrollo del conjunto de herramientas educativas del sensor.

P: ¿Qué tengo que hacer?

R: La participación activa en el proyecto incluye alojar un sensor, realizar un seguimiento de su rendimiento, registrar datos interesantes y observaciones relacionadas, y participar en las reuniones comunitarias.

P: ¿Cuánto tiempo tendré que dedicar a este proyecto?

R: El proyecto se centra en un periodo de implementación del sensor de entre 12 y 15 meses. Dentro de este plazo, se programarán entre tres y cuatro reuniones/talleres que durarán un par de horas. A lo largo del periodo de implementación, el nivel de participación activa y el tiempo dedicado a registrar notas y supervisar el rendimiento y los datos del sensor dependerán totalmente de usted.

P: ¿Es la primera vez que participa en este tipo de proyectos o ya tiene experiencia?

R: El programa Ciencia para Lograr Resultados (STAR) de la EPA se ha centrado tradicionalmente solo en grupos de investigación de instituciones académicas. Por primera vez, se ha concedido una subvención de este tipo a una agencia gubernamental (es decir, South Coast AQMD) junto con otros cinco grupos de investigación de instituciones académicas (MIT, Carnegie Mellon, Kansas State University, University of Washington, DRI-RTI).

P: ¿En qué otros lugares se está llevando a cabo esto?

R: En varias comunidades del estado de California, de norte a sur.

P: ¿Qué medidas se han tomado desde los estudios anteriores?

R: Se trata de una actividad educativa (ciencia comunitaria) cuyo resultado final es el desarrollo de un conjunto de herramientas educativas sobre sensores que incluye una guía del sensor, vídeos de capacitación y listas de verificación para la recopilación de datos.

P: ¿Qué ventaja tiene la participación de los miembros de la comunidad?

R: La principal ventaja es la oportunidad de participar en un proyecto de ciencia comunitaria y adquirir experiencia en el manejo de un sensor de bajo costo, así como en la recopilación y comprensión de sus datos.

P: ¿Tenemos que formar parte del estudio para obtener un sensor o tenemos que comprarlos?

R: El sensor lo proporciona el South Coast AQMD de forma gratuita a quienes estén dispuestos a participar en el proyecto.

P: ¿Durante cuánto tiempo tendremos los sensores?

R: El sensor es suyo y puede conservarlo indefinidamente, desde el inicio de su instalación.

P: ¿Qué sucede si no puedo comprometerme a participar en el proyecto durante los 12-15 meses que dura?

R: En caso de que el anfitrión del sensor ya no pueda participar en el proyecto, se recomienda que el grupo comunitario identifique a un vecino cercano que pueda alojar el sensor y participar activamente en las actividades de divulgación.

P: ¿Debo instalar los sensores yo mismo? ¿Recibiré supervisión?

R: Los sensores serán instalados por los propios participantes. Se impartirá un taller técnico sobre los sensores en el que se proporcionarán guías de instalación para ayudar a colocar correctamente cada sensor.

P: ¿Los datos del sensor son para mi uso personal?

R: Los datos de los sensores serán de acceso público a través de un sitio web en línea.

P: ¿Nos ayudarán los resultados en la elaboración de políticas?

R: Los resultados pueden dar lugar a la adopción de medidas, la elaboración de políticas o la creación de normas en el futuro. Sin embargo, esto queda fuera del alcance y los objetivos de la subvención para la investigación STAR.

P: Una vez completada la implementación oficial de 12 a 15 meses, ¿qué sucede si el sensor se estropea y quiero seguir midiendo la calidad del aire en mi casa?

R: Si el anfitrión del sensor desea seguir recopilando datos y proporcionando información al programa de subvención STAR, debe ponerse en contacto con el programa AQ-SPEC del South Coast AQMD [correo electrónico: info.aq-spec@aqmd.gov o tel.: +1 (909) 396 – 2173] y se le sustituirá el sensor sin costo alguno.

P: ¿Deberían preocuparme más los contaminantes en fase gaseosa que el material particulado?

R: Tanto los contaminantes en fase gaseosa como el material particulado son contaminantes atmosféricos criterio y están regulados por los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS). La selección de los contaminantes que se van a medir depende de las necesidades de la comunidad, de la tecnología de sensores disponible y de los requisitos y limitaciones específicos de la aplicación.

P: ¿Incluirá el conjunto de herramientas los próximos pasos y las acciones futuras?

R: Sí, habrá una sección llamada "Pasar a la acción" que incluirá información y directrices sobre cómo comunicar resultados de manera eficaz con respecto al desarrollo de estrategias de mitigación, la planificación de actividades de divulgación y la evaluación de recursos para dichas estrategias.

Acerca de los sensores

P: ¿Cuál es la vida útil de un sensor?

R: La vida útil de los sensores varía según el fabricante. Por ejemplo, PurpleAir afirma que la vida útil del sensor PA-II es de 40.000 horas (o aproximadamente 4.5 años).

P: ¿Pueden los sensores funcionar mal o dañarse?

R: Las caídas desde gran altura o los impactos fuertes pueden dañar los sensores sin procesar o aflojar el cableado interno, lo que provocaría que el sensor se apagara. La acumulación de partículas pesadas, los restos vegetales flotantes o los insectos que entran en la cámara de medición interna de la unidad pueden provocar un mal funcionamiento del sensor.

P: ¿Qué le sucede a un sensor cuando se expone a temperaturas muy altas?

R: Antes de su implementación, los sensores se someten a pruebas con temperaturas de hasta 105-110 °F. Hasta el momento, no han mostrado ningún indicio de fallo o mal funcionamiento.

P: ¿Se puede instalar el sensor bajo la luz solar directa?

R: Los fabricantes recomiendan evitar la luz solar directa y montar la unidad en la parte sombreada de su casa.

P: ¿Puede afectar la proximidad a fuentes de luz a mis mediciones?

R: No, los sensores sin procesar dentro de las unidades están diseñados para funcionar independientemente de las fuentes de luz externas.

P: ¿Hay alguna precaución adicional que debemos tomar al enchufar los sensores a tomas de corriente exteriores?

R: Instale un protector de receptáculo de exterior resistente a la intemperie para garantizar un sellado seguro e impermeable alrededor de la toma de corriente y el cable de alimentación.

P: ¿Qué riesgos para la salud conlleva tener un sensor en mi casa?

R: Los sensores son seguros y no suponen ningún riesgo para la salud.

P: ¿Es necesario calibrar los sensores?

R: Los requisitos de calibración de los sensores varían según el fabricante. Por ejemplo, los sensores PurpleAir no requieren calibración.

P: ¿Cuál es la altura ideal para instalar un sensor?

R: La altura ideal para instalar un sensor es entre 6 pies (1.80 metros) y el borde del techo.

P: ¿Debo preocuparme por la privacidad si conecto un sensor a mi Wi-Fi?

R: No, el sistema Wi-Fi y los servicios de nube de datos asociados son seguros.

P: ¿Cómo se recopilan los datos?

R: Los datos de los sensores se cargan mediante Wi-Fi a un servidor en la nube y los usuarios pueden descargarlos desde un sitio web específico.

Información adicional sobre los sensores

P: ¿Qué es el tiempo de respuesta de un sensor?

R: El tiempo de respuesta se refiere a la rapidez con la que el sensor mide el contaminante en el aire. Se necesita un tiempo de respuesta rápido (del orden de segundos) para el monitoreo móvil o para detectar cambios rápidos en las concentraciones de contaminantes. Una respuesta más lenta (p. ej., de 10 minutos a 1 hora) puede ser útil para el monitoreo fijo (sin movimiento).

P: ¿Qué se entiende por interferencias del sensor?

R: Algunos sensores pueden verse afectados por contaminantes distintos de los que se están monitoreando o por las condiciones de muestreo (temperatura, humedad, polvo, etc. Consulte Zheng et al., 2018, Jayaratne et al., 2018). Las interferencias pueden hacer que el contaminante de interés presente una concentración más alta (o más baja) que los valores reales, o incluso puede inutilizar el sensor debido a un ruido excesivo en la salida. En otras palabras, la verdadera señal podría quedar tapada por fluctuaciones descontroladas en las lecturas. Algunos fabricantes de sensores revelan los contaminantes y las condiciones meteorológicas que pueden afectar al rendimiento de sus sensores. En ese caso, lo mejor es minimizar esas interferencias si es posible. Una forma de corregir estas interferencias es medirlas también, por ejemplo, utilizando una plataforma multisensor. Disponer de estas señales para múltiples sensores puede facilitar el desarrollo y la aplicación de algoritmos de corrección.

P: ¿Cuál es la diferencia entre los tipos de material particulado?

R: El rango de tamaños de partículas procedentes de las fuentes de emisión abarca varios órdenes de magnitud (0.05 a >100 micrómetros). Las mediciones de material particulado (PM) se clasifican en tres fracciones de tamaño: PM_{1.0}, PM_{2.5} y PM₁₀.

- PM_{1.0}: Partículas con un diámetro aerodinámico de 1 micrómetro (1×10^{-6} metros) o menos; clasificadas como partículas finas
- PM_{2.5}: Partículas con un diámetro aerodinámico de 2.5 micrómetros (2.5×10^{-6} metros) o menos; clasificadas como partículas finas
- PM₁₀: Partículas con un diámetro aerodinámico de 10 micrómetros (10×10^{-6} metros) o menos; clasificadas como una mezcla de partículas gruesas y finas

El tamaño de las partículas que pueden detectar los sensores de bajo costo que utilizan tecnología de contador óptico de partículas (OPC, por sus siglas en inglés) cubre una parte relativamente pequeña de este rango de tamaños y, por lo tanto, no detectará la emisión de algunas fuentes importantes.

En el caso de los sensores de fase gaseosa, las interferencias son más complicadas, ya que pueden variar según el tipo de sensor. Consulte la siguiente tabla para ver algunas interferencias conocidas.

Tabla B-1. Sensores de fase gaseosa e interferencias.

Tipo de sensor	Interferencias	Referencia(s)
Sensores electroquímicos y semiconductores de óxido metálico (sensores comunes de fase gaseosa)	Los cambios de temperatura y humedad pueden afectar a la sensibilidad del sensor	Wang et al., 2010 Mead et al., 2013 Masson et al., 2015
Sensores electroquímicos de O ₃	Pueden responder al NO ₂	Lewis et al. 2016 Spinelle et al., 2015 Afshar-Mohajer et al., 2018
Sensores de óxido metálico de O ₃	No parecen presentar sensibilidad cruzada al NO ₂	Collier-Oxandale et al., 2020
Sensores electroquímicos de NO	Se ha observado que responden al NO ₂ , además del NO	Lewis et al. 2016
Sensores electroquímicos de NO ₂	Se ha observado que responden tanto al NO como al O ₃ , además del NO ₂	Bigi et al., 2018 Spinelle et al., 2015
Sensores electroquímicos de SO ₂	Pueden responder al NO ₂	Lewis et al., 2016
Sensores de compuestos orgánicos volátiles (COV) de óxido metálico	Muestran niveles variables de sensibilidad a una amplia variedad de COV, así como a otros gases que pueden interferir (p. ej., algunos presentan sensibilidad cruzada al CO)	Spinelle et al., 2017 Mirzaei et al., 2016 Collier-Oxandale et al., 2019 Spinelle et al., 2017
Detectores de fotoionización (PID)	Carecen de sensibilidad para COV individuales Los límites de detección pueden ser demasiado altos para su uso en el ambiente	Williams et al., 2015 Spinelle et al, 2017 Spinelle et al., 2017

Referencias

- Afshar-Mohajer, N., Zuidema, C., Sousan, S., Hallett, L., Tatum, M., Rule, A.M., Thomas, G., Peters, T.M. and Koehler, K., 2018. Evaluation of low-cost electro-chemical sensors for environmental monitoring of ozone, nitrogen dioxide, and carbon monoxide. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 15(2), pp.87-98.
- Bigi, A., Mueller, M., Grange, S.K., Ghermandi, G. and Hueglin, C., 2018. Performance of NO, NO₂ low cost sensors and three calibration approaches within a real world application. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(6), pp.3717-3735.
- Collier-Oxandale, A., Feenstra, B., Papapostolou, V., Zhang, H., Kuang, M., Der Boghossian, B. and Polidori, A., 2020. Field and laboratory performance evaluations of 28 gas-phase air quality sensors by the AQ-SPEC program. *Atmospheric Environment*, 220, p.117092.
- Collier-Oxandale, A.M., Thorson, J., Halliday, H., Milford, J. and Hannigan, M., 2019. Understanding the ability of low-cost MOx sensors to quantify ambient VOCs. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(3), pp.1441-1460.
- Kelly, K.E., Whitaker, J., Petty, A., Widmer, C., Dybwad, A., Sleeth, D., Martin, R. and Butterfield, A., 2017. Ambient and laboratory evaluation of a low-cost particulate matter sensor. *Environmental pollution*, 221, pp.491-500.
- Lewis, A.C., Lee, J.D., Edwards, P.M., Shaw, M.D., Evans, M.J., Moller, S.J., Smith, K.R., Buckley, J.W., Ellis, M., Gillot, S.R. and White, A., 2016. Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research. *Faraday discussions*, 189, pp.85-103.
- Masson, N., Piedrahita, R. and Hannigan, M., 2015. Quantification method for electrolytic sensors in long-term monitoring of ambient air quality. *Sensors*, 15(10), pp.27283-27302.
- Mead, M.I., Popoola, O.A.M., Stewart, G.B., Landshoff, P., Calleja, M., Hayes, M., Baldovi, J.J., McLeod, M.W., Hodgson, T.F., Dicks, J. and Lewis, A., 2013. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, 70, pp.186-203.
- Mirzaei, A., Leonardi, S.G. and Neri, G., 2016. Detection of hazardous volatile organic compounds (VOCs) by metal oxide nanostructures-based gas sensors: A review. *Ceramics international*, 42(14), pp.15119-15141.
- Spinelle, L., Gerboles, M. and Alexandre, M., 2015. Performance evaluation of amperometric sensors for the monitoring of O₃ and NO₂ in ambient air at ppb level. *Procedia engineering*, 120, pp.480-483.
- Spinelle, L., Gerboles, M., Kok, G., Persijn, S. and Sauerwald, T., 2017. Performance evaluation of low-cost BTEX sensors and devices within the EURAMET key-VOCs project. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 1, No. 4, p. 425).
- Spinelle, L., Gerboles, M., Kok, G., Persijn, S. and Sauerwald, T., 2017. Review of portable and low-cost sensors for the ambient air monitoring of benzene and other volatile organic compounds. *Sensors*, 17(7), p.1520.

Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D. and Gao, R., 2010. Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors. *sensors*, 10(3), pp.2088-2106.

Williams, R., Kaufman, A. and Garvey, S., 2015. Next generation air monitoring (NGAM) VOC sensor evaluation report. *EPA: Washington, DC, USA*.

Apéndice C. Información sobre el sensor PurpleAir

Justificación de la selección del sensor PurpleAir y los recursos asociados desarrollados para el proyecto de la subvención STAR

Se seleccionaron los sensores PurpleAir para utilizarlos en el proyecto de la subvención STAR. South Coast AQMD eligió este sensor de bajo costo porque satisfacía las necesidades del proyecto en cuanto a datos abiertos y accesibles, relativa facilidad de implementación/instalación, costo (especialmente teniendo en cuenta el número de comunidades participantes) y rendimiento del sensor en comparación con otros sensores disponibles en ese momento (2016-2017).

Cabe señalar que el uso de los sensores PurpleAir para las actividades relacionadas con esta subvención no constituye una aprobación.

Contenido de este apéndice

Este apéndice proporciona

- Guía de instalación del sensor PurpleAir en inglés (pág. C-2) y español (pág. C-8)
- Guía de descarga y procesamiento de datos del sensor PurpleAir PA-II (pág. C-10)
- Preguntas frecuentes sobre el sensor PurpleAir PA-II (pág. C-20)

Tenga en cuenta que los enlaces proporcionados en este apéndice no permiten hacer clic.

Guía de instalación del sensor PurpleAir PA-II en español



Midiendo la Calidad de Aire en su Comunidad

El Distrito de Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur (SCAQMD por sus siglas en inglés), en colaboración con Sonoma [Technology](#) y UCLA [Fielding School of Public Health](#) formara una colaboración con comunidades locales para involucrar, educar y motivar a las comunidades de California en el uso y aplicaciones de sensores de monitoreo de aire de “bajo costo.”

Tecnología para Medir Partículas (PM)

Sensor de Calidad de Aire Laser PurpleAir PA-II Dual



- 1) PA-II Dual sensor laser
- 2) Conector USB termo contraíble
- 3) Cargador de electricidad
- 4) 17 pies de cable
- 5) Tornillos o ataduras de plástico

- Sensores duales de PM
- Medidas de PM_{1.0}, PM_{2.5}, y PM₁₀ junto con temperatura, humedad relativa y presión
- Requisitos de Anfitrión :
 1. Tomacorriente disponible
 2. Wi-Fi disponible para registrar datos en el mapa de PurpleAir
- Fácil de instalar con un solo tornillo o abrazador
- Registro de datos Wi-Fi con acceso a datos abierto en www.purpleair.com/map

Guía de Inicio Rápido del Sensor de Calidad del Aire PurpleAir PA-II

Encontrar una localización e instalación

1. Busque un lugar sombreado, generalmente una parte orientada al norte de la casa
2. La ubicación necesitara una toma de corriente y una señal de Wi-Fi.
3. Monte el sensor lejos de las fuentes de contaminación cercanas (unidades de aire acondicionado, respiraderos, parrillas de barbacoa).
4. Monte el sensor usando ataduras de cables (barandas) o un tornillo (debajo del borde del techo).
5. El aparato debe montarse de modo que no se sumerja en el agua y confirme que el cable este asegurado en una forma para evitar un peligro de tropiezo.

Configurar Wi-Fi

1. Asegúrese que el sensor esté conectado.
2. Utilizando un aparato que le permite Wi-Fi (teléfono, tableta o computadora), conéctese a una red de Wi-Fi llamado "AirMonitor_xxxx" donde xxxx es específico al sensor.
 - a. NOTA: La red de "AirMonitor_xxxx" solamente es disponible cuando el sensor no está conectado al Wi-Fi.
3. Una vez que el Wi-Fi esté conectado a la red "AirMonitor_xxxx", abra un navegador de internet y escriba <http://192.168.4.1> para conectarse directamente al PA-II y visualizar el estado y la página de configuración del monitor.
4. Presione "Wi-Fi Settings" y seleccione su nombre de acceso de Wi-Fi personal de la lista, ingrese la contraseña y presione "Save" (guardar).
5. Una vez que el monitor se conecte con su Wi-Fi, comenzara a cargar datos y la red de AirMonitor_xxxx ya no estará disponible para conectarse a través de Wi-Fi.

Registre su Aparato PurpleAir

1. Entre www.purpleair.com/register en un aparato que permita internet.
2. El "ID" del aparato (MAC) esta imprimido en el sensor PA-II arriba del código de barras.
3. Correo electrónico asociado: Debe usar aq.spec@gmail.com para registrarse
4. Installed: Choose "outside" –Instalado: Elije "Outside"
5. Location name- Nombre de la ubicación: Utilice el nombre etiquetado en el PA-II
6. Visibility- Visibilidad: Elije "Public (everyone)"- publico (todos)
7. Ubicación del mapa: Ingrese la lectura de latitud y longitud mueva su marcador a su ubicación
8. Procesador de datos #1: deje el "settings" a Weather Underground
9. Procesador de datos #2: dejar en blanco
10. Nombre del dueño del aparato:
 11. Correo electrónico del dueño del aparato:
 12. Teléfono del dueño del aparato (opcional):
 13. Después de leer y aceptar los términos de uso y condiciones, haga clic en la casilla de verificación.
 14. Haga clic en "Registrarse" para completar el registro.

Información útil:

- Si su sensor se queda sin alimentación eléctrica, permanecerá configurado con la información de su Wi-Fi y se volverá a conectar automáticamente una vez que vuelva la corriente, siempre que el nombre y la contraseña del SSID permanezcan igual.
- Si su sensor pierde la conexión Wi-Fi, los datos recopilados y cargados previamente en PurpleAir seguirán disponibles. Sin embargo, el sensor no recopilará datos mientras la conexión Wi-Fi esté interrumpida, lo que provocará una pérdida de datos.
- La red "AirMonitor-xxxx" solo está disponible para conectarse mientras el sensor no esté configurado con un Wi-Fi.
- Para cambiar la información con la que registró el sensor, simplemente repita el proceso de registro con la información actual/actualizada y la nueva información reemplazará la información original.
- El sensor se puede reubicar y registrar de nuevo siempre y cuando que la nueva ubicación esté dentro de 1 milla del área de estudio. El registro del sensor con la información actualizada substituirá la información previamente registrada. Póngase en contacto con el programa AQ-SPEC del SCAQMD antes de llevar a cabo una reubicación.
- Si no puede encontrar su sensor en el mapa de PurpleAir, es posible que su sensor haya estado inactivo durante un periodo de tiempo prolongado. En el mapa de PurpleAir, busque el panel en la parte superior izquierda de la página. Vaya a "Last Active" y seleccione "All Time". Su sensor debería aparecer en el mapa como un icono ovalado gris, lo que indica que no tiene conexión y no está transmitiendo datos. Es posible que sea necesario reconfigurar la red Wi-Fi de su sensor y/o comprobar que el sensor esté recibiendo alimentación eléctrica. Si todavía no puede ver su sensor en el mapa, es posible que su sensor no se haya registrado correctamente. Registre su sensor de nuevo simplemente repitiendo el proceso de registro de PurpleAir con la información correcta.
- Si su sensor deja de recopilar datos en el mapa de PurpleAir, reinicielo desenchufando la unidad, esperando 10 segundos y volviéndolo a enchufar.

Soporte técnico

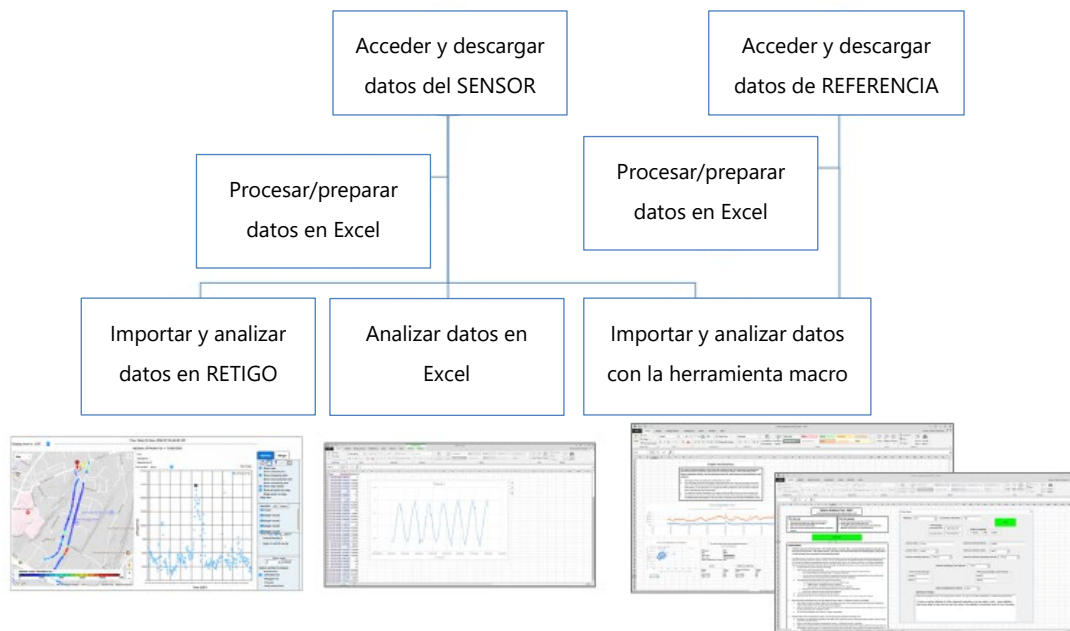
Correo electrónico: info.aq-spec@aqmd.gov

Tel.: +1 (909) 396-2713

Guía de descarga y procesamiento de datos del sensor PurpleAir PA-II

Acceso y análisis de los datos del sensor PurpleAir

El siguiente diagrama ilustra los pasos necesarios para preparar los datos para su análisis utilizando diversas herramientas disponibles. Para comprender qué pasos son necesarios según sus objetivos, comience por el final del diagrama con su herramienta de análisis preferida y siga hacia arriba para obtener una visión general del proceso que deberá seguir. Las páginas siguientes proporcionan instrucciones específicas para realizar cada uno de estos pasos.

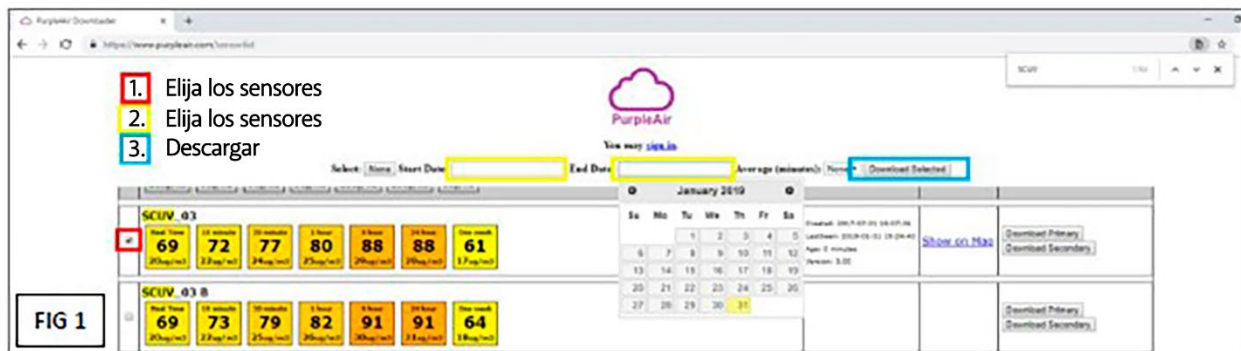


Descarga de datos

Esta sección contiene instrucciones para acceder y descargar datos de la calidad del aire.

Datos del sensor PurpleAir

1. Los datos de cualquier sensor designado como público están disponibles en: <https://map.purpleair.com/air-quality-standards-us-epa-aqi>
2. Marque la casilla junto al sensor o los sensores que desee (sugerencia: puede utilizar "ctrl-f" para encontrar el sensor más rápidamente)
3. Introduzca el intervalo de fechas (puede sobreestimar el intervalo, el programa descargará automáticamente todos los datos disponibles dentro de su intervalo de fechas)
4. Haga clic en "Descargar seleccionados", como se muestra en la FIG 1.



Notas importantes:

- Cada PurpleAir tiene dos sensores. El segundo sensor tiene el mismo nombre con un "_B" añadido al final. El propósito del segundo sensor es ayudar a identificar cuándo hay un problema con uno de los sensores (p. ej., cuando no coinciden). Para simplificar, recomendamos descargar solo los archivos del primer sensor de cada dispositivo. No obstante, puede consultar los datos del segundo sensor, especialmente si le preocupa el funcionamiento del sensor principal o si desea obtener más información sobre la precisión con la que suelen coincidir ambos sensores.

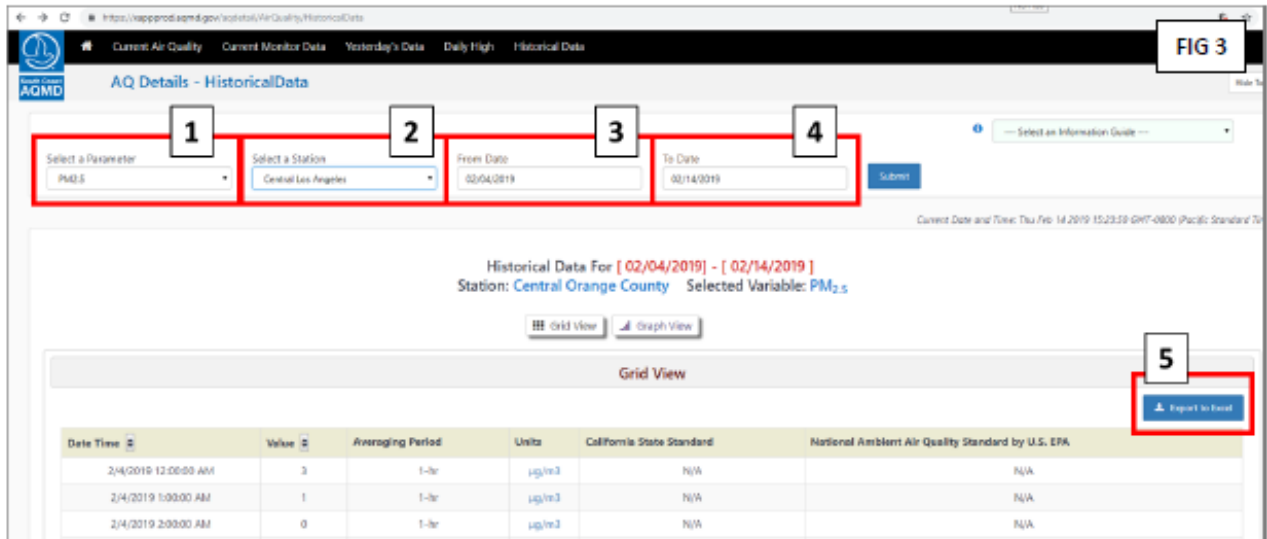


- Cuando descargue los archivos de un sensor individual, se descargarán automáticamente dos archivos, designados como "primario" o "secundario". Le recomendamos que utilice

el archivo "primario" para su análisis, ya que contiene los datos de $PM_{2.5}$ que probablemente le interesen más (convertidos en concentraciones de masa). El archivo "secundario" incluye los datos sin procesar de la cantidad de $PM_{2.5}$ o el número de partículas detectadas en un momento dado para un tamaño determinado.

Datos de referencia

1. Los datos de referencia de los sitios de monitoreo regulatorio generalmente están disponibles para su descarga. Dos lugares donde pueden encontrarse estos datos son las bases de datos mantenidas por el South Coast Air Quality Management District y por la Junta de Recursos del Aire
2. SCAQMD: <https://xappprod.aqmd.gov/aqdetail/AirQuality/HistoricalData>



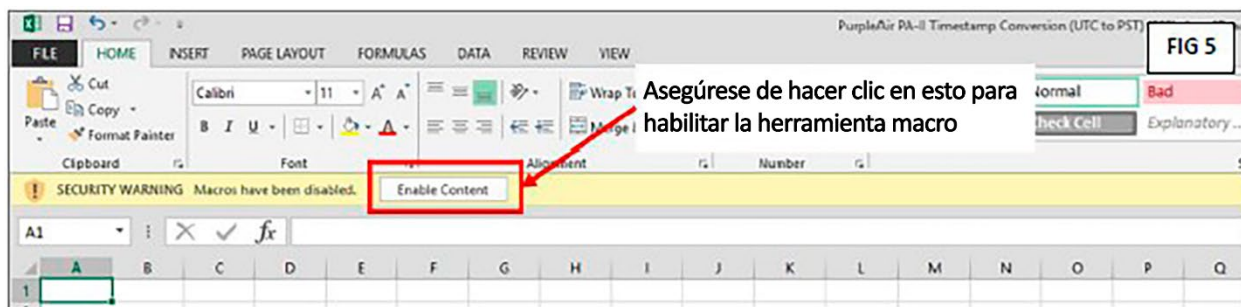
3. ARB: <https://www.arb.ca.gov/aqmis2/aqdselect.php>



Análisis de los datos del sensor PurpleAir en Excel

Esta sección contiene consejos para analizar los datos del sensor PurpleAir en Excel; entre ellos, una forma de ajustar la marca de tiempo utilizando una herramienta macro (p. ej., de Tiempo Universal Coordinado o UTC a Hora Estándar del Pacífico o PST), una guía sobre qué columnas se recomienda utilizar para el análisis y algunos enlaces a tutoriales de Excel.

1. Descargue la macro de conversión de marcas de tiempo del PurpleAir PA-II. Debe estar adjunta al mismo correo electrónico que esta guía y el archivo se titula: "PurpleAir PA-II Timestamp Conversion (UTC to PST).xism"
2. Ábralo en su computadora y haga clic en "Habilitar contenido" si aparece el aviso de seguridad (FIG 5)



1. Manteniendo abierto el archivo de la macro en segundo plano, abra el archivo de datos de su sensor (es decir, tendrá dos archivos Excel). Debe verse como el "Archivo original descargado" de la siguiente figura (FIG 6)
2. Presione "ctrl-t" y debería ver una nueva columna añadida con la marca de tiempo en PST, esta nueva columna se puede ver en la segunda captura de pantalla de Excel a continuación
3. La figura siguiente también resalta qué columnas de datos recomienda el fabricante que utilice para su análisis (se ha aplicado un factor de corrección a los datos de las columnas D, E y F por parte del fabricante para ayudar a minimizar los impactos de los factores medioambientales, como la temperatura y la humedad, en el sensor, a estos datos se les denomina datos "ajustados" en la FIG 6)
4. Con estos datos, ya puede utilizar Excel para crear gráficos o calcular estadísticas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	created_at	entry_id	PM10.0_CF_ATM ug/m3	PM2.5_CF_ATM ug/m3	PM10.0_CF_ATM ug/m3	UptimeMinutes	RIS4_dBm	Temperature_F	Humidity_%	PM2.5_CF_1 ug/m3				
2	2017-12-15 17:23:07 UTC	50	21	33	33	0	-75	80	18	33				
3	2017-12-15 17:26:18 UTC	51	13.05	20.35	27.41	1	-76	80	18	20.35				
4	2017-12-15 17:25:47 UTC	52	13.16	19.63	23.42	3	-76	80	18	19.63				
5	2017-12-15 17:27:07 UTC	53	13.05	19.02	24.81	4	-76	80	17	19.02				
6	2017-12-15 17:28:27 UTC	54	13.5	20.05	22.59	5	-76	80	17	20.05				

Con la herramienta macro de conversión de marcas de tiempo PA abierta y con el "Contenido habilitado", **pulse "ctrl-t"**

Ahora debería ver resultados (o columnas) que coincidan con los de abajo...

Archivo con tiempo corregido

created_at	timestamp (PST)	entry_id	PM10_CF_ATM_ug/m3	PM2.5_CF_ATM_ug/m3	PM10_0_CF_ATM_ug/m3	StationMinutes	ASST_Lbr	Temperature_F	Humidity_%	PM2.5_CF_1_ug/m3
2017-12-15 17:23:07 UTC	2017-12-15 09:23	50	21	55	33	0	-7	80	18	33
2017-12-15 17:24:28 UTC	2017-12-15 09:24	51	13.05	23.55	27.41	1	-7	80	18	20.55
2017-12-15 17:25:47 UTC	2017-12-15 09:26	52	13.16	23.65	23.42	3	-7	80	18	29.63
2017-12-15 17:27:07 UTC	2017-12-15 09:27	53	13.05	19.02	24.83	4	-7	80	17	19.02
2017-12-15 17:28:27 UTC	2017-12-15 09:28	54	13.5	23.05	22.28	5	-7	80	17	20.05

FIG 6

Fecha y hora en PST

Datos de PM ajustados

Datos de temperatura y humedad del sensor

Notas importantes:

- Las marcas de tiempo se han convertido todas a PST u hora estándar del Pacífico (UTC/GMT menos 8 horas); esto hará que las comparaciones con los instrumentos de referencia sean sencillas, ya que los instrumentos de referencia en los lugares de monitoreo regulatorio siempre registran los datos en la hora estándar local. Además, tener los datos en hora local facilitará la búsqueda de patrones con respecto a actividades como la hora punta de la mañana o las notas que haya podido tomar. No obstante, esto no tiene en cuenta el horario de verano. En California, el PST (UTC menos 8 horas) se observa desde principios de noviembre hasta mediados de marzo, mientras que el PDT u horario de verano del Pacífico (UTC menos 7 horas) se observa durante el resto del año. Por lo tanto, debe tener en cuenta que es posible que tenga que añadir una hora a la nueva marca de tiempo si está analizando datos recogidos durante PDT.
- Para añadir una hora a su marca de tiempo puede, en una nueva columna, introducir simplemente la fórmula que se muestra a continuación. (FIG 7)
- Si está analizando datos de un sensor instalado en el interior, el fabricante recomienda que utilice los datos de la columna K, "PM2.5_CF_1_ug/m3", este conjunto de datos utiliza un factor de corrección diferente, aplicado por el fabricante, que de hecho sirve para mitigar los efectos de los valores típicos de temperatura y humedad en interiores.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Timestamp (PST)	entry_id	PM10_CF_ATM_ug/m3	PM2.5_CF_ATM_ug/m3	PM10.0_CF_ATM_ug/m3	UptimeMinutes	RISL_dbm	Temperature_F	Humidity_%	PM2.5_CF_1_ug/m3		Timestamp (PST)	
2	2017-12-15 17:23:07 UTC	2017-12-15 09:23	50	21	33	33	0	-75	80	18			
3	2017-12-15 17:24:28 UTC	2017-12-15 09:24	51	13.85	38.35	37.41	1	-76	80	18	20.35	2017-12-15 10:23	
4	2017-12-15 17:25:47 UTC	2017-12-15 09:25	52	13.16	19.62	23.42	3	-78	80	18	19.65	=B4+1/24	
5	2017-12-15 17:27:07 UTC	2017-12-15 09:27	53	13.85	19.62	24.81	4	-78	80	17	19.02		

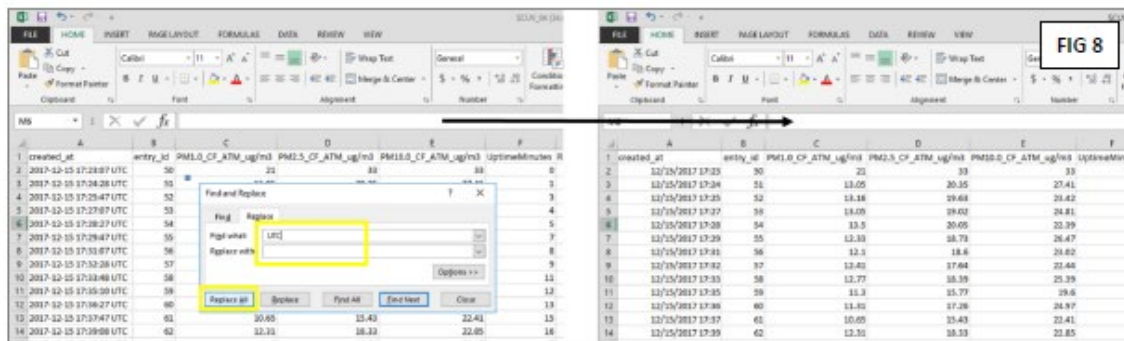
- Tutoriales de Excel:
 - Introducción a Excel: <https://support.microsoft.com/en-us/office/introduction-to-excel-starter-601794a9-b73d-4d04-b2d4-eed4c40f98be>
 - Crear un gráfico en Excel: <https://support.microsoft.com/en-us/office/create-a-chart-from-start-to-finish-0baf399e-dd61-4e18-8a73-b3fd5d5680c2>
 - Tipos de gráficos en Excel: <https://support.microsoft.com/en-us/article/available-chart-types-in-office-a6187218-807e-4103-9e0a-27cdb19afb90>
 - Cálculo de estadísticas: <https://support.microsoft.com/en-gb/office/calculate-the-median-of-a-group-of-numbers-2e3ec1aa-5046-4b4b-bfc4-4266ecf39bf9>

Análisis de los datos del sensor PurpleAir utilizando la herramienta RETIGO de la EPA de EE. UU.

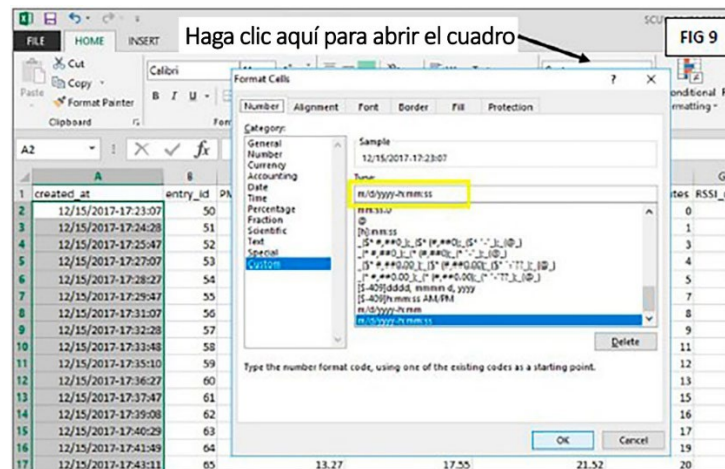
Esta sección contiene instrucciones para formatear y cargar los datos del sensor PurpleAir en la herramienta RETIGO (Visualizador de datos geoespaciales en tiempo real) de la EPA de EE. UU. Se trata de una herramienta gratuita, basada en la web, destinada a ayudar con la visualización y el análisis de datos. Esta herramienta permite a los usuarios trazar los datos en un mapa, comparar diferentes conjuntos de datos y analizar los datos temporal y espacialmente. Desde la página principal se puede acceder a la propia herramienta, así como a una serie de valiosos tutoriales.

Página principal de RETIGO: <https://www.epa.gov/hesc/real-time-geospatial-data-viewer-retigo>

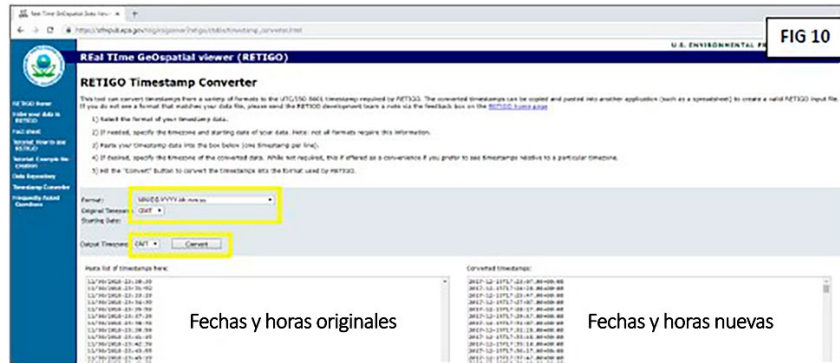
1. Abra el archivo original de datos del sensor PurpleAir
2. Descargue y abra la plantilla de PA-II PurpleAir a RETIGO. Debe estar adjunta al mismo correo electrónico que esta guía y el archivo se titula: "PurpleAir PA-II to RETIGO Template.csv"
3. Elimine el identificador UTC de la marca de tiempo utilizando "ctrl-f" y, a continuación, elija la pestaña "Reemplazar" (FIG 8)



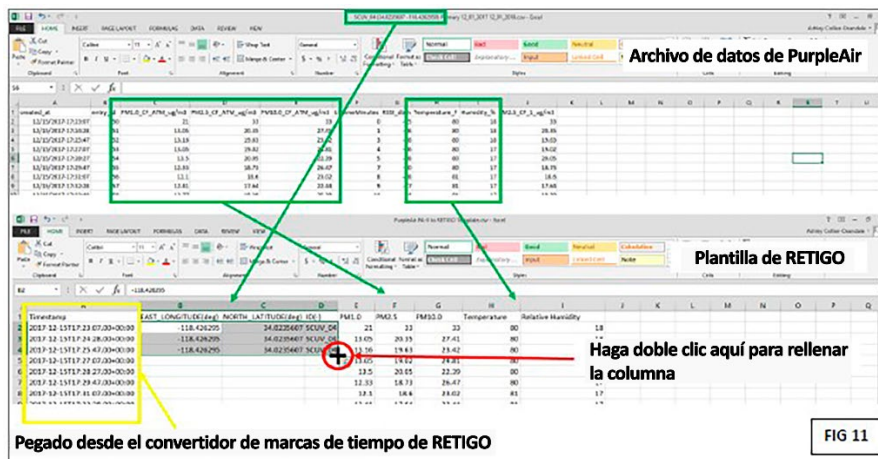
- a. Escriba "UTC" en la casilla "Buscar" y deje vacía la casilla "Reemplazar con". Haga clic en "Reemplazar todo"
 - b. El identificador UTC debería desaparecer y Excel debería reconocer esta columna como valores de fecha y hora
4. Resalte la columna de la marca de tiempo y ajuste el formato a: "m/d/yyyy-mm:hh:ss" (FIG 9)



5. Copie la columna de fecha y hora y péguela en el convertidor de marcas de tiempo en línea de RETIGO (esto convertirá la marca de tiempo al formato que requiere la herramienta RETIGO) (FIG 10)
6. Pegue los datos en el cuadro de la izquierda, seleccione el formato original apropiado y la zona horaria, que debe ser GMT (igual que UTC); para la marca de tiempo de salida puede mantener UTC/GMT o seleccionar una hora local (p. ej., PST)
7. Haga clic en "Convertir".



8. Copie y pegue las nuevas fechas y horas en la columna "Marca de tiempo" de la Plantilla PurpleAir PA-II de RETIGO
9. Copie y pegue las columnas de datos que desee analizar del archivo de datos original
10. Introduzca la longitud, la latitud y el ID del sensor en la plantilla (todos ellos se pueden encontrar en el nombre del archivo desde el archivo original descargado). Copie y pegue estos valores en las tres filas superiores y, a continuación, rellene automáticamente el resto de los valores resaltando la sección y haciendo doble clic en el pequeño signo más negro que aparece al pasar el ratón por encima de la esquina inferior derecha
11. Guarde el archivo como CSV y estará listo para cargarlo en la herramienta RETIGO, aquí: https://ofmpub.epa.gov/rsig/rsigserver?retigo/stable/retigo_load.html



12. Le recomendamos *encarecidamente* que eche un vistazo a los tutoriales en línea, ya que le ayudarán a sacar el máximo partido a esta herramienta: <https://www.epa.gov/hesc/real-time-geospatial-retigo-tutorials#online>
13. Si desea trazar datos de varios sitios en el mapa, simplemente prepare cada conjunto de datos de acuerdo con las instrucciones anteriores y, a continuación, copie y pegue los datos de cada sitio en una plantilla (añadiendo cada sitio nuevo al final de los datos existentes). Siempre que la ubicación GPS sea correcta para cada punto de datos, cada sitio se representará en la ubicación correcta. No hay problema si hay fechas/horas duplicadas o desordenadas (debido a los nuevos sitios que se añaden al archivo de datos). A continuación se muestra un ejemplo:

**Nota: Se necesitan diferentes valores de ID(-) para que la herramienta RETIGO reconozca que los datos proceden de diferentes sitios y no del mismo sensor utilizado de forma móvil.*

FIG 12

	A	B	C	D	E	F	G
1	Timestamp(UTC)	EAST_LONGITUDE(deg)	NORTH_LATITUDE(deg)	ID(-)	PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
2	2017-12-15T17:23:07.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		33	
3	2017-12-15T17:24:28.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		20.35	
4	2017-12-15T17:25:47.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		19.63	
5	2017-12-15T17:27:07.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		19.02	
6	2017-12-15T17:28:27.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		20.05	
7	2017-12-15T17:29:47.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		18.73	
8	2017-12-15T17:31:07.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		18.6	
9	2017-12-15T17:32:28.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		17.64	
10	2017-12-15T17:33:48.00+00:00:00	-118.426295	34.0235607	SCUV_04		18.39	
11	2017-12-15T17:23:07.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		18.33	
12	2017-12-15T17:24:28.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		16.64	
13	2017-12-15T17:25:47.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		16.44	
14	2017-12-15T17:27:07.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		17.55	
15	2017-12-15T17:28:27.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		17.15	
16	2017-12-15T17:29:47.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		17.97	
17	2017-12-15T17:31:07.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		16.45	
18	2017-12-15T17:32:28.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		16.03	
19	2017-12-15T17:33:48.00+00:00:00	-118.430332	34.025367	SCUV_08		15.85	
20							
21							

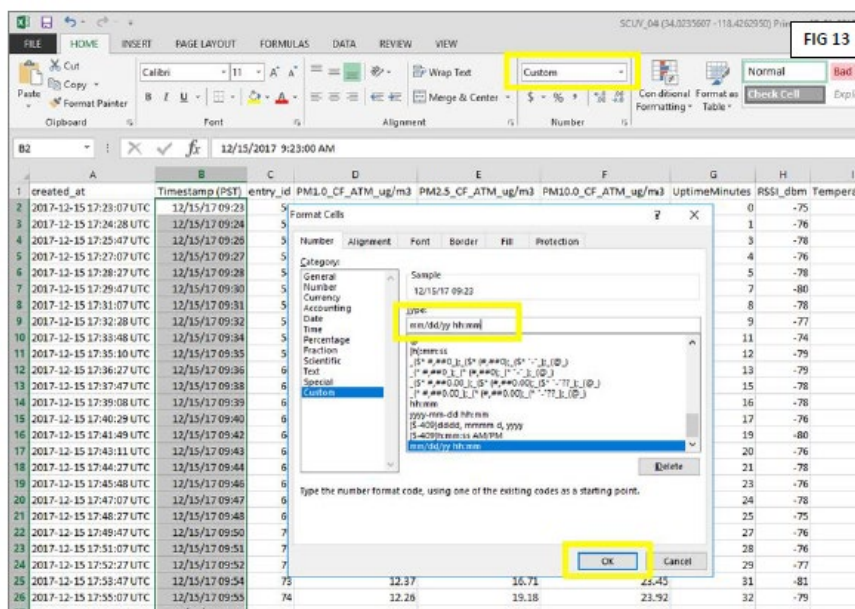
Comparación de datos del sensor y datos de referencia utilizando la “herramienta de análisis macro basada en Excel para datos de sensores de aire” de la EPA de EE. UU.

En esta sección se describen los pasos para preparar los datos del sensor PurpleAir y los datos de referencia para su uso con la herramienta de análisis macro de la EPA de EE. UU. En la página principal hay instrucciones adicionales para utilizar la herramienta e interpretar los resultados.

Página principal de la herramienta de análisis macro: <https://www.epa.gov/air-research/instruction-guide-and-macro-analysis-tool-evaluating-low-cost-air-sensors-collocation>

(desarrollado por Terri Conner, Andrea Clements, Ronald Williams, Amanda Kaufman, et al.)

1. Comience completando los pasos que se enumeran en la sección: Análisis de los datos del sensor PurpleAir en Excel (la marca de tiempo de los datos del sensor debe estar en la misma zona horaria que los datos de referencia, que suele ser la hora estándar local)
2. Descargue/abra la herramienta de análisis macro disponible en el enlace anterior; según sea necesario, seleccione “Habilitar edición” y “Habilitar contenido”
3. Revise las instrucciones proporcionadas en las hojas “Configuración”, “Formato de datos” y “Coincidencia de tiempo AQS”. También le recomendamos encarecidamente que revise la “Guía de instrucciones: Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocación con monitores de referencia federales”, proporcionada por la EPA de EE. UU. en la página principal de la herramienta, ya que le proporcionará una explicación clara del análisis que está realizando y de cómo interpretar los resultados
4. A continuación, prepare y transfiera sus datos a la herramienta de análisis macro
5. Resalte la columna de fecha/hora (para PST) en el archivo de datos del sensor y cambie el formato a “mm/dd/yy hh:mm”



6. Haga lo mismo con la fecha/hora de los datos de referencia
7. En la pestaña "Sensor", haga clic con el botón derecho del ratón en el triángulo de la esquina superior izquierda de la hoja y seleccione "Borrar contenido"

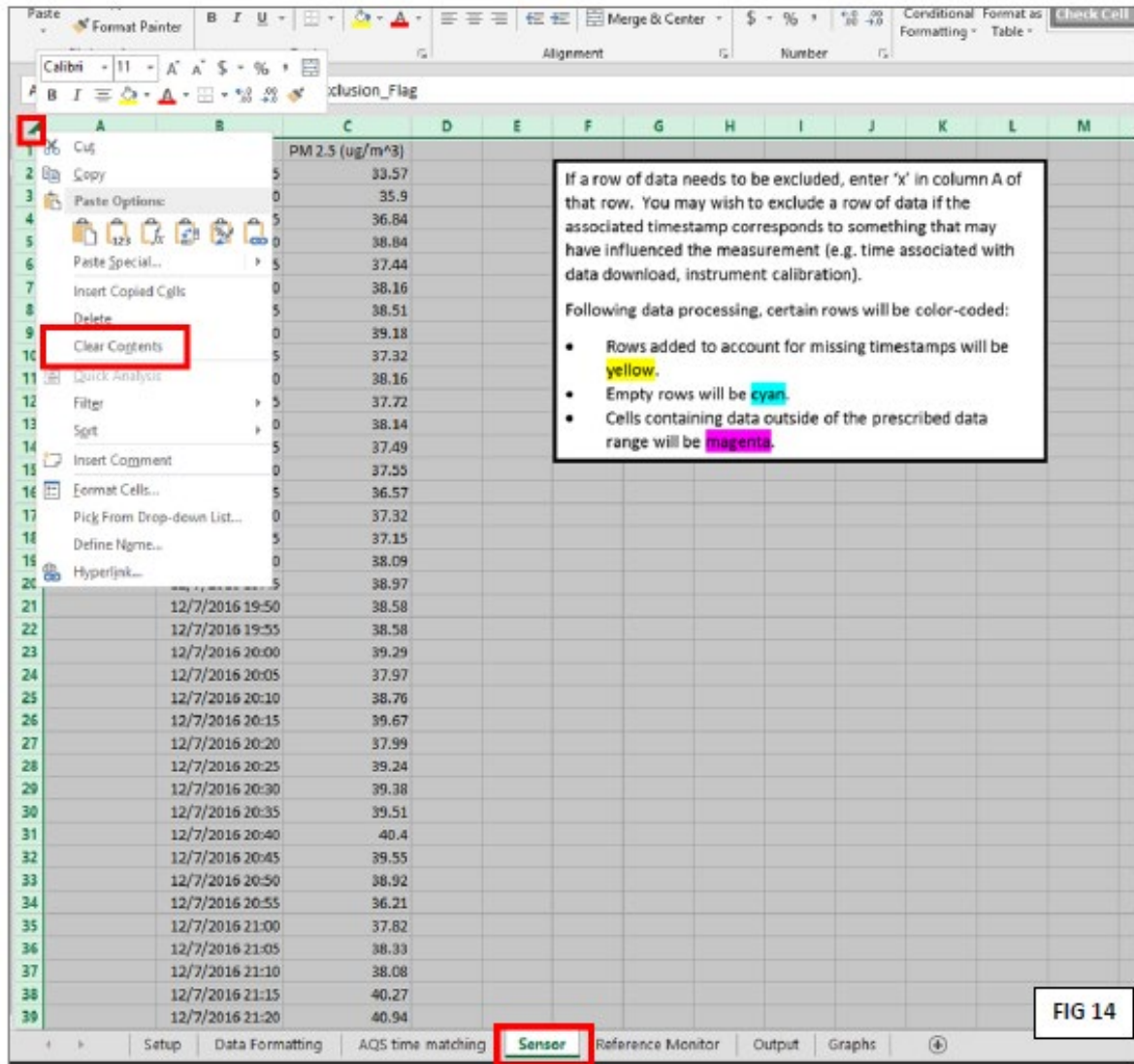
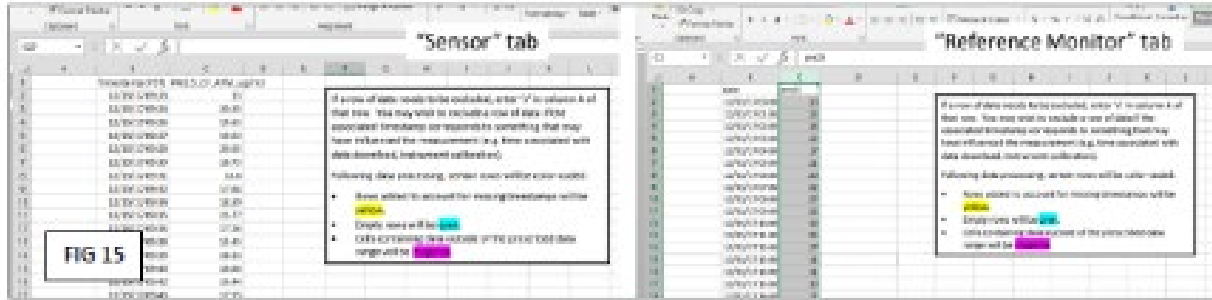


FIG 14

8. Repita este proceso en la pestaña "Monitor de referencia" (ahora ambas deberían estar en blanco)
9. Copie y pegue las columnas de fecha/hora y contaminantes de interés en las hojas "Sensor" y "Monitor de referencia", con la fecha/hora en la columna B y los datos de contaminantes en la columna C



10. Si ha leído las instrucciones incluidas con la herramienta, ya está listo para abrir el "Panel de control" en la pestaña "Configuración", introducir las opciones adecuadas y ejecutar los análisis

Preguntas frecuentes sobre el sensor PurpleAir PA-II

P: ¿Qué contaminante mide el sensor PurpleAir PA-II?

R: El PurpleAir PA-II mide el material particulado (PM) PM_{1.0}, PM_{2.5} y PM₁₀, así como la temperatura y la humedad. Aunque el mapa de PurpleAir solo muestra las lecturas de PM_{2.5}, los datos de PM_{1.0} y PM₁₀ se registran y se pueden descargar con la herramienta de descarga de PurpleAir.

P: ¿Miden estos sensores partículas de menos de 0.5 µm (micrómetros)?

R: Sí, pero la sensibilidad y la eficiencia de recuento se reducen entre 0.3 y 0.5 µm.

P: ¿Se conecta el sensor por Wi-Fi?

R: Sí.

P: ¿Tengo que volver a configurar los ajustes de Wi-Fi de mi sensor si este se queda sin energía durante un tiempo?

R: No, el sensor permanece configurado con la información de Wi-Fi configurada. Siempre que la información de Wi-Fi (nombre SSID y contraseña) siga siendo la misma, el sensor se volverá a conectar automáticamente una vez que se encienda.

P: Si mi sensor pierde la conexión Wi-Fi, ¿se producirá una pérdida de datos?

R: Si su sensor pierde la conexión Wi-Fi, los datos recopilados y cargados previamente en PurpleAir seguirán estando disponibles. Sin embargo, el sensor no recopilará datos mientras la conexión Wi-Fi esté inactiva, lo que provocará una pérdida de datos.

P: ¿Puedo modificar la información con la que registré mi sensor?

R: Sí. El proceso de registro se puede repetir con la información actualizada y se sustituirá el registro original.

P: ¿Puedo reubicar el sensor después de que se haya conectado y registrado?

R: Sí, el sensor se puede reubicar y registrar de nuevo siempre que la nueva ubicación se encuentre a menos de 1 milla del área de estudio. El registro del sensor con la información actualizada sustituirá a la información registrada anteriormente. Póngase en contacto con el programa AQ-SPEC del South Coast AQMD [correo electrónico: info.aq-spec@aqmd.gov o tel.: +1 (909) 396 - 2173] antes de llevar a cabo una reubicación.

P: ¿Por qué no puedo encontrar mi sensor en el mapa de PurpleAir?

R: Es posible que su sensor haya estado inactivo durante un periodo de tiempo prolongado. En el mapa de PurpleAir, busque el panel situado en la parte superior izquierda de la página. Vaya a "Última actividad" y seleccione "Todo el tiempo". Su sensor debería aparecer ahora en el mapa como un icono ovalado gris, lo que indica que actualmente no está transmitiendo datos. Es posible que sea necesario reconfigurar la conexión Wi-Fi de su sensor y/o suministrarle energía.

Si sigue sin ver su sensor en el mapa, puede ser que no esté registrado o que se haya registrado incorrectamente. Vuelva a registrar su sensor repitiendo el proceso de registro de PurpleAir con la información corregida.

P: ¿Dónde puedo encontrar los sensores interiores en el mapa de PurpleAir?

R: Los sensores interiores no se muestran en el mapa de PurpleAir según su ubicación, sino que se muestran en forma de lista alfabética en el panel izquierdo de la página, debajo de los filtros de visualización. Utilice la barra de desplazamiento para navegar por la lista y encontrar el sensor que desee.

P: ¿Por qué hay dos canales para cada sensor?

R: El sensor PurpleAir PA-II tiene dos sensores sin procesar idénticos. Cada sensor sin procesar se designa como su propio canal (es decir, canal A, canal B).

P: ¿Cómo puedo ver la información y los datos de mi sensor? ¿A qué corresponde o qué significa la información de cada sensor en el mapa PurpleAir?

R: Para ver los datos de su sensor, siga estos pasos (consulte la Figura 1):

- Vaya al [mapa de PurpleAir](#)
- Busque su sensor registrado (puede ampliar el mapa o escribir la ubicación, la dirección o las coordenadas del sensor en la barra de búsqueda situada en la esquina superior izquierda de la página)
- Haga clic en su sensor (se abrirá un panel de información)

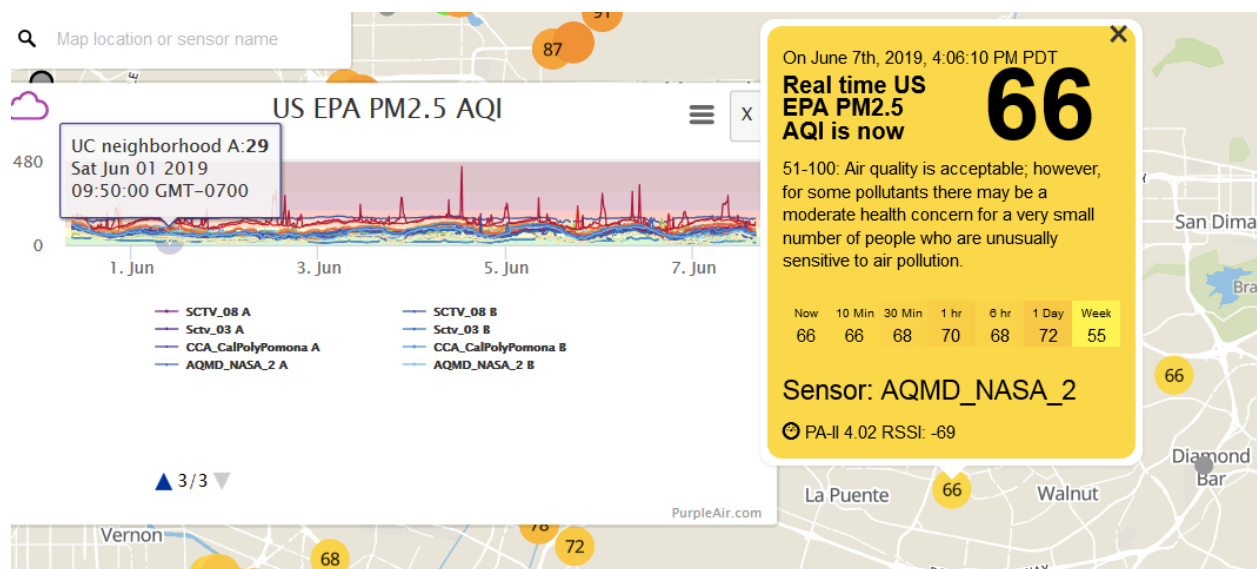


Figura 1. Ventana emergente del mapa de PurpleAir con información sobre los datos de los sensores (último acceso en junio de 2019)

- La información del panel es la siguiente:
 1. El nombre del sensor (p. ej., AQMD_NASA_2)
 2. El número AQI a corto plazo (p. ej., 68): El número AQI determina en qué rango categórico se encuentra la calidad del aire, lo que indica cómo de limpio o contaminado está el aire (cuanto más bajo sea el número AQI, más limpio será el aire).
 3. El sensor informa las lecturas promedio actuales, de 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 6 horas, 24 horas y una semana.

4. El gráfico muestra una serie temporal de los valores AQI promedio de 1 hora para el sensor seleccionado en el mapa y para los sensores cercanos. El valor AQI aparece en negrita al pasar el ratón por encima e indica de qué canal (A o B) proceden los datos.

P: Si hay una diferencia en los valores entre los canales, ¿cómo sabemos cuál es el correcto?

R: Observe lo que informan los sensores adyacentes y compare. Si no puede llegar a una conclusión, póngase en contacto con el programa AQ-SPEC del South Coast AQMD [correo electrónico: info.aq-spec@aqmd.gov o tel.: +1 (909) 396 – 2173] o con el desarrollador del sensor.

P: ¿El promedio de 24 horas se calcula de medianoche a medianoche o es un promedio móvil?

R: Los promedios de 24 horas son promedios móviles de las últimas 24 horas. No tienen intervalos de tiempo fijos, como de medianoche a medianoche.

P: ¿Cómo descargo los datos de mi sensor?

R: Para descargar los datos de su sensor y de todos los sensores públicos disponibles:

- Visite PurpleAir Downloader en la página del [mapa de PurpleAir](#)
- Introduzca la fecha de inicio y la fecha de finalización del intervalo de tiempo de datos que desee
- Desplácese hacia abajo para encontrar el sensor o los sensores de los que desea descargar los datos (los sensores se enumeran por su nombre en orden alfabético)
- Seleccione las dos opciones disponibles para cada sensor
 - Cada sensor tendrá dos opciones de descarga, cada una corresponde a los dos sensores sin procesar idénticos que hay dentro de su unidad sensora (designados como Canal A y Canal B)
 - Las dos opciones tendrán nombres similares, una con el nombre del sensor y otra con el nombre del sensor seguido de una "B" inmediatamente debajo de la primera opción
- Una vez que haya seleccionado los sensores, haga clic en Descargar seleccionados en la parte superior de la página, junto a las selecciones del periodo de tiempo de los datos
- Los datos se descargarán como archivos .csv, un archivo por cada Canal A y Canal B de cada sensor seleccionado

P: ¿Cuál es la diferencia entre los datos primarios y secundarios de este sensor?

R: Los archivos de salida de datos primarios incluyen la información sobre la concentración de masa de partículas. Los archivos de salida de datos secundarios incluyen la información sobre la concentración de número de partículas.

P: ¿Cómo podemos compartir los datos de nuestro sensor con otras personas?

R: Puede compartir los datos de su sensor de tres maneras:

1. Dirija a las personas a su sensor en el mapa de PurpleAir
2. Dirija a las personas al sitio web PurpleAir Downloader para que descarguen los datos de su sensor como un archivo
3. Envíeles directamente el archivo de datos ya descargado de su sensor

P: ¿Todos los sensores PA-II de EE. UU. tienen hojas de registro que se registran y recopilan?

R: Este proceso forma parte del enfoque de la subvención STAR de la EPA en el South Coast AQMD. Otros usuarios y programas pueden tener enfoques diferentes.

P: ¿Cómo se utiliza la hoja de registro?

R: El objetivo de la hoja de registro es registrar y llevar un seguimiento de los datos y las observaciones cada vez que se compruebe el sensor. Se sugiere a los participantes que registren la fecha, la hora, el aire y las observaciones/eventos relacionados con la calidad del aire actual (p. ej., la presencia o ausencia de olores, problemas de visibilidad o actividades relacionadas con las emisiones).

Se puede incluir cualquier actividad, observación o evento que se considere que ha contribuido a las mediciones registradas por el sensor. Esta sección es especialmente importante cuando hay lecturas extremas en los datos del sensor. Por ejemplo, si los participantes observan lecturas del sensor cinco veces superiores a las lecturas de un día normal, deben anotar los eventos que creen que pueden haber contribuido a esas lecturas tan altas. Algunos ejemplos son anotar frases como: "el vecino está haciendo una barbacoa", "está lloviendo mucho" o "se están realizando obras en la carretera".

P: ¿Con qué frecuencia debo registrar las mediciones en la hoja de registro?

R: No hay una frecuencia de registro de datos obligatoria. Cada participante tiene la libertad de dictar su propia frecuencia de registro.

Apéndice D. Guía de análisis de datos

Como parte de la subvención STAR, los responsables del proyecto del South Coast AQMD estudiaron el uso de diferentes tipos de visualizaciones y enfoques para compartir datos. Además del desarrollo del [paquete AirSensor y la aplicación web DataViewer](#), se crearon otros recursos para facilitar la interacción del público con los datos, como la Guía de análisis de datos que se muestra en este apéndice y que está disponible aquí (<http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/star-grant/air-quality-sensor-data-analysis-guide.pdf?sfvrsn=6>).

Tenga en cuenta que los enlaces proporcionados en este apéndice no permiten hacer clic.

Guía de análisis de datos de sensores de bajo costo

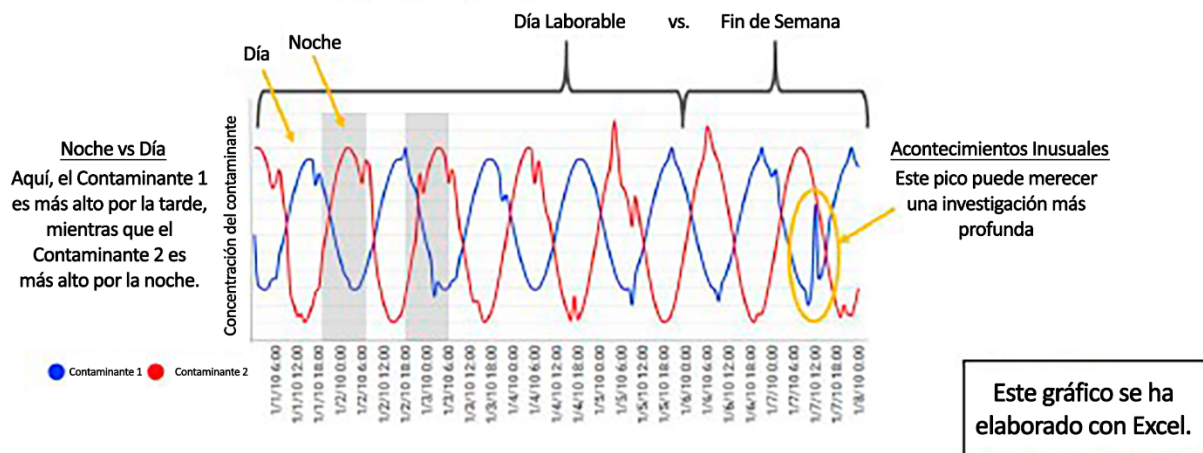
Preguntas orientativas

Los sensores de bajo costo recopilan grandes cantidades de datos. Algunos sensores distribuidos a través del programa de subvención STAR de la EPA de EE. UU. llevan más de un año funcionando de forma continua, registrando datos cada minuto (¡eso son más de 500,000 filas de datos!). Por este motivo, las herramientas y los softwares de análisis de datos pueden resultar muy útiles. En esta guía proporcionamos algunas instrucciones breves para ayudar a los científicos comunitarios a interactuar con los datos que están recopilando, así como algunas preguntas para guiar su análisis.

¿Cómo varían los niveles de contaminantes a lo largo del tiempo?

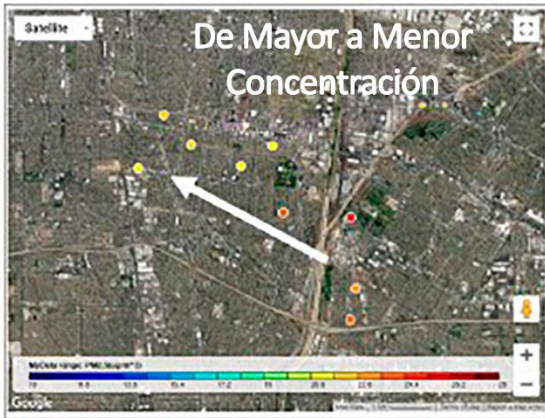
- ¿Ve algún patrón en los datos de un día a otro?
- ¿Ve alguna diferencia obvia entre los días laborables y los fines de semana?
- También puede intentar comparar diferentes periodos, por ejemplo: la hora del día, las horas punta de la mañana y de la tarde, o incluso las estaciones del año.

Aquí, el Contaminante 2 alcanza su máximo nivel a primera hora de la mañana (6:00 – 9:00am), pero solo entre semana, lo que sugiere que puede estar relacionado con las actividades de la hora punta de la mañana.

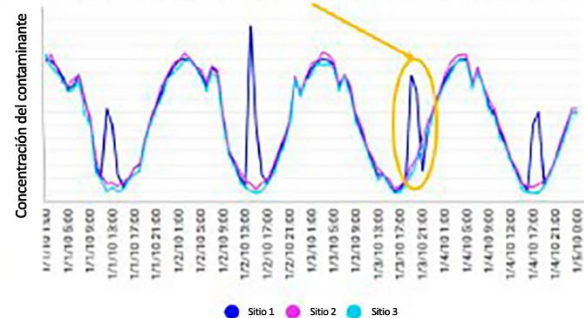


¿Ve alguna tendencia espacial?

- Si dispone de datos de varios sensores, ¿cómo se comparan los sitios? ¿Hay alguno que sea constantemente más alto o más bajo?
- ¿Hay algún sitio que experimente picos o elevaciones más frecuentes en los niveles de contaminación?



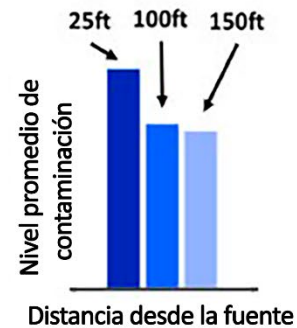
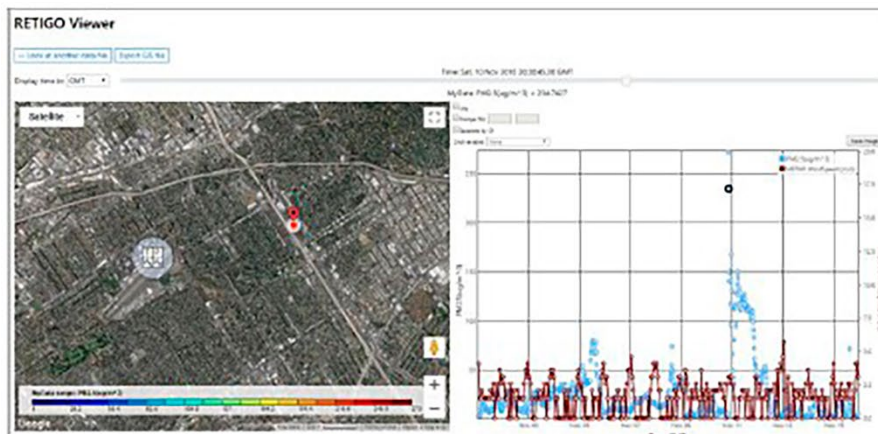
La mayoría de los sitios son similares. Sin embargo, se observan aumentos periódicos en la concentración de contaminantes del Sitio 1



En los dos gráficos anteriores, se utilizó RETIGO para crear el mapa y Excel para hacer el gráfico de series temporales.

¿Existen impactos asociados a fuentes potenciales?

- ¿Los niveles más altos de contaminación parecen coincidir con determinadas actividades (p. ej., horas de mucho tráfico)?
- ¿Ve niveles elevados en un sitio más cercano a una fuente potencial de contaminación que en un sitio más lejano? Otra forma de verlo es: ¿cómo varían los datos a diferentes distancias de la fuente?
- ¿Existe alguna relación entre la velocidad o la dirección del viento y los niveles de contaminantes?



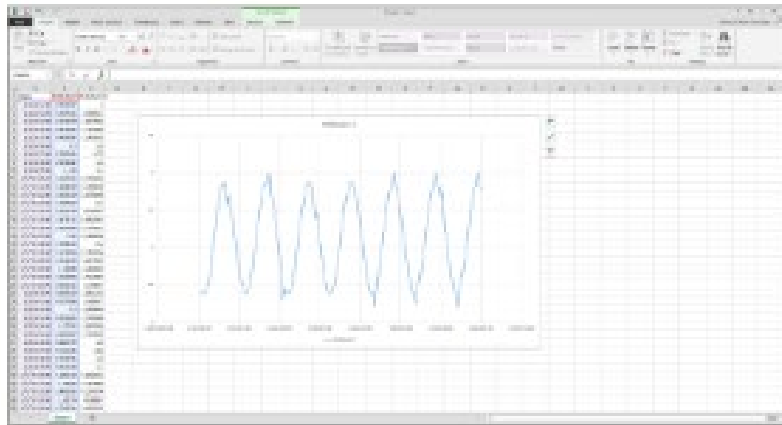
En los dos gráficos anteriores, se utilizó RETIGO para crear el mapa y la serie temporal, y Excel para elaborar el gráfico de barras. En la figura de RETIGO, se añadió la velocidad del viento con el fin de comprender en qué condiciones se producen aumentos de PM_{2.5}.

Recursos disponibles

Excel

- Excel ofrece la mayor libertad en cuanto a la forma de representar los datos y las estadísticas que se pueden calcular; sin embargo, su uso puede resultar complicado para quienes tienen poca experiencia con el análisis de datos.
- Existen muchos recursos y tutoriales en línea que pueden ayudar a utilizar Excel.

Captura de pantalla de Excel

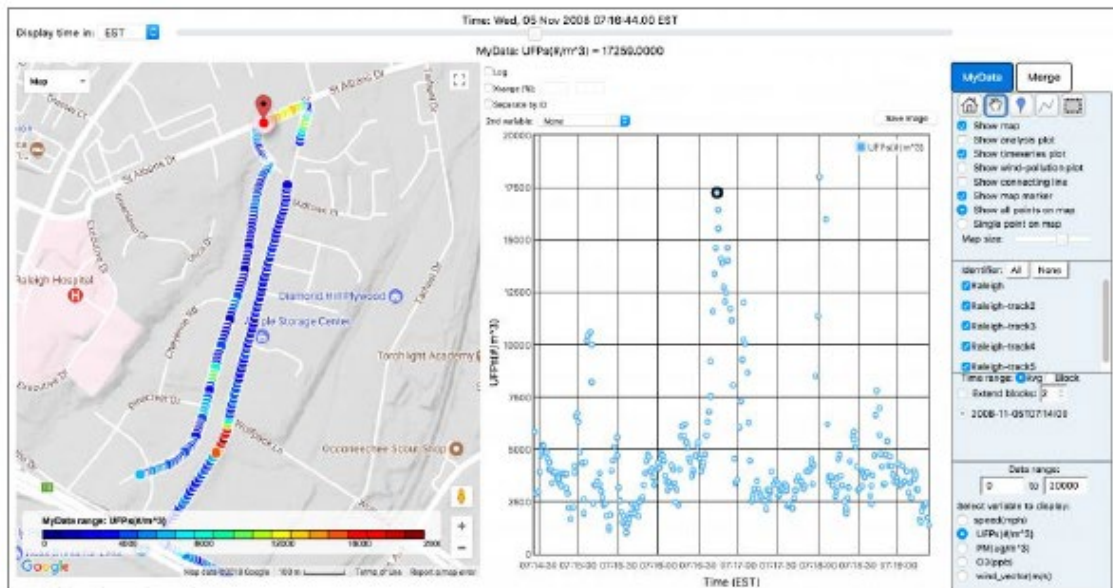


Herramienta RETIGO (Real Time Geospatial Data Viewer) de la EPA de EE. UU.

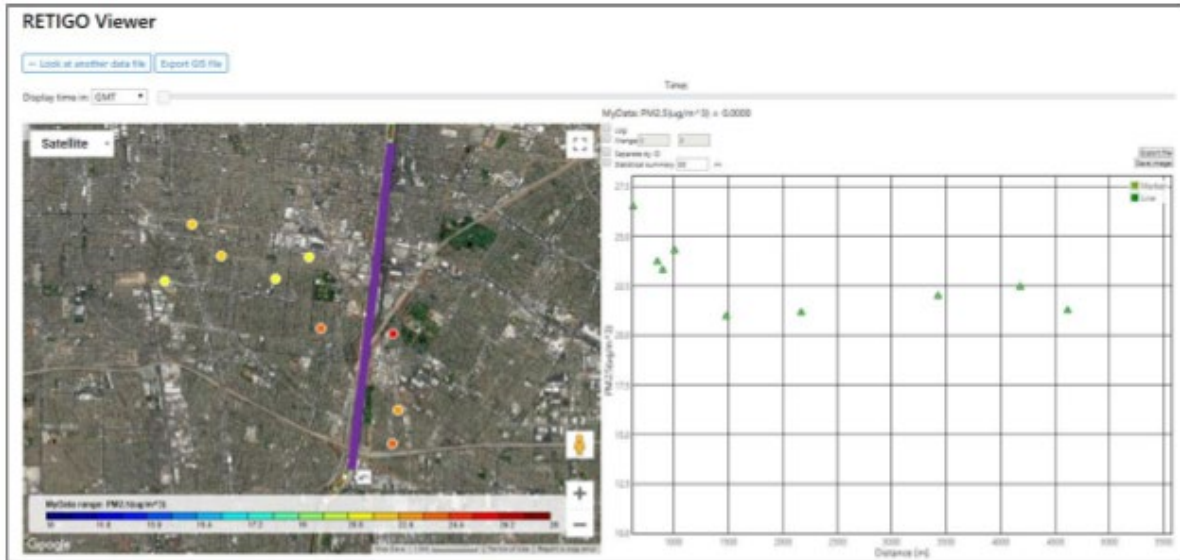
Contacto si necesita ayuda: retigo@epa.gov

- Se trata de una herramienta gratuita basada en la web que permite a los usuarios cargar sus datos sobre la calidad del aire y explorarlos en mapas y gráficos.
- Esta herramienta tiene una interfaz fácil de usar que resulta útil para analizar datos y también puede generar imágenes.
- Además, la herramienta ayuda a los usuarios a ver cómo cambian los niveles de contaminación con respecto a un punto, línea o área concretos que pueden definir. Los usuarios también pueden añadir datos de sitios de monitoreo de referencia o datos de velocidad/dirección del viento, que pueden comparar cualitativamente con los datos de su sensor.
- Al cargar datos, los usuarios tienen la opción de compartir su conjunto de datos; esto significa que un solo miembro de un grupo comunitario podría cargar los datos de todos los sensores de su red y adjuntar palabras clave (lo que facilita la búsqueda de los conjuntos de datos), de modo que cualquier miembro de la comunidad podría acceder más fácilmente a los datos y ayudar con el análisis.
- La herramienta no procesa los datos de los sensores para compararlos con los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (p. ej., calculando el promedio de PM en intervalos de 24 horas).
- Más información sobre RETIGO: <https://www.epa.gov/hesc/real-time-geospatial-data-viewer-retigo>

Captura de pantalla de RETIGO (fuente: EPA de EE. UU., ejemplo de datos móviles)

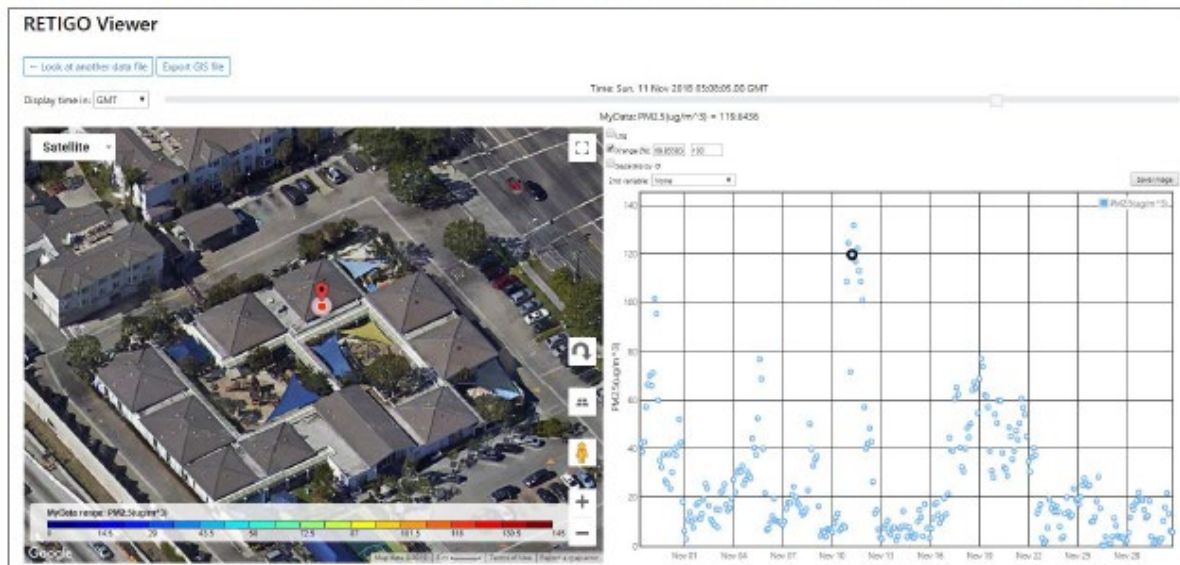


Captura de pantalla de RETIGO (fuente: AQ-SPEC, ejemplo de datos de una red de sensores con un análisis añadido a la derecha que ilustra los niveles de contaminantes en relación con la carretera resaltada en color morado; en este ejemplo, los niveles de contaminantes parecen ser más altos cerca de la carretera)



Captura de pantalla de RETIGO (fuente: AQ-SPEC, ejemplo de datos de sensores de un solo sitio con una serie temporal interactiva a la derecha)

RETIGO Screenshot (source: AQ-SPEC, example of sensor data from a single site with an interactive time series to the right)

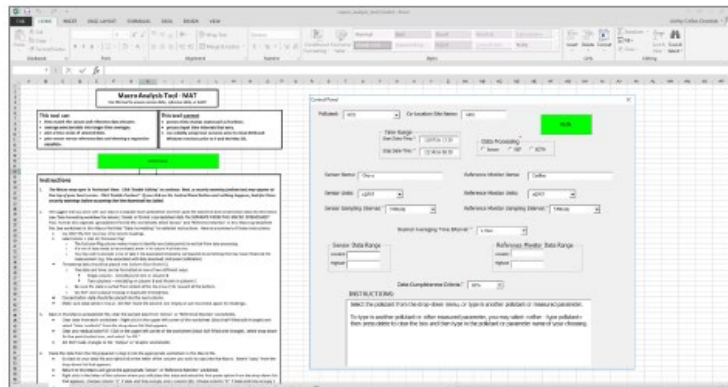


“Herramienta de análisis macro basada en Excel para datos de sensores de aire” de la EPA de EE. UU.

(desarrollado por Terri Conner, Andrea Clements, Ronald Williams, Amanda Kaufman, et al.)

- Esta herramienta se desarrolló para ayudar a los usuarios de sensores a comparar los datos de sus sensores de bajo costo con los datos de instrumentos de referencia más fiables, lo que resulta útil para comprender el rendimiento de un sensor.
- Para utilizar esta herramienta, el usuario proporciona los datos de su sensor, así como los datos de referencia, y luego el programa calcula el promedio temporal de los datos, compara los dos conjuntos de datos en el tiempo y ejecuta un análisis de regresión simple.
- El resultado final de este programa es un gráfico de series temporales de los datos del sensor y de referencia, además de un gráfico de dispersión que representa el análisis de regresión. El programa también comparte estadísticas cuantitativas que indican en qué medida los datos del sensor coinciden con los datos de referencia.
- Más información sobre la herramienta macro: <https://www.epa.gov/air-research/instruction-guide-and-macro-analysis-tool-evaluating-low-cost-air-sensors-collocation>

Captura de pantalla de la herramienta macro (Fuente: AQ-SPEC)



Captura de pantalla del resultado de la herramienta macro (Fuente: AQ-SPEC, resultado generado utilizando datos predeterminados)



Algunas notas breves sobre la calidad de los datos

- Los sensores de bajo costo siguen siendo una tecnología emergente, lo que significa que pueden no ser tan fiables o precisos como los instrumentos y métodos de monitoreo convencionales.
- Siempre es bueno considerar si los datos de su sensor son “realistas”. Por ejemplo, los datos que permanecen en el mismo nivel durante mucho tiempo probablemente indiquen un problema con el sensor. Del mismo modo, los niveles muy altos o incluso muy bajos de contaminación indicados por un sensor pueden reflejar las tendencias locales de la calidad del aire, pero también es posible que el sensor no funcione correctamente.
- Por el momento, no es adecuado comparar los datos de los sensores de bajo costo con los estándares regulatorios basados en la salud, debido a los problemas de precisión y fiabilidad mencionados anteriormente. Los datos utilizados para determinar si se cumplen o no los estándares regulatorios no solo se recopilan con instrumentos de mayor costo y calidad, sino que estos instrumentos deben colocarse según criterios muy intencionados y específicos, se someten a un mantenimiento estricto y rutinario, y los datos se evalúan según protocolos específicos para garantizar que las decisiones importantes sobre salud pública solo se tomen utilizando los datos mejores y más fiables. Teniendo en cuenta los retos que plantean actualmente los sensores de bajo costo, cabe la posibilidad de que los datos de los sensores sugieran que existen altos niveles de contaminación cuando en realidad no es así. Sin embargo, también ocurre lo contrario, es posible que los sensores pasen por alto problemas importantes relacionados con la calidad del aire. Por esta razón, es fundamental que los sensores de bajo costo se utilicen junto con instrumentos de mayor calidad con fines de verificación y validación.
- Otra cosa a tener en cuenta es que los fabricantes de los sensores suelen calibrar sus sensores o aplicar factores de corrección para mejorar su precisión. En algunos casos, el usuario puede ajustar los modelos de calibración si lo desea. También es posible que los usuarios calculen y apliquen sus propios factores de corrección, si están interesados en mejorar la precisión de los sensores que utilizan.
- A pesar de estas limitaciones aparentes, todavía hay mucho que podemos aprender de los sensores de bajo costo. Por ejemplo, comparar los niveles en una red de sensores puede ayudar a destacar “puntos críticos” que antes podían pasar desapercibidos, comparar las tendencias entre sensores también puede poner de relieve anomalías potencialmente causadas por fuentes locales, y una mejor comprensión de la calidad del aire local puede proporcionarnos información que podría ayudarnos a reducir nuestra exposición.

Puede encontrar más información sobre la calibración de sensores en los siguientes recursos:

La guía sobre sensores de aire es un excelente recurso en general e incluye información específica sobre la calibración en el Apéndice C. (Disponible aquí: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=519616&Lab=NERL)

La guía “Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocación con monitores del método de referencia federal”, que acompaña a la herramienta macro descrita anteriormente, también proporciona información muy útil. (Disponible aquí: <https://www.epa.gov/air-research/instruction-guide-and-macro-analysis-tool-evaluating-low-cost-air-sensors-collocation>)

El siguiente artículo ofrece un debate interesante y más avanzado sobre el uso de algoritmos complejos en la calibración de sensores: Sensores de calidad del aire y algoritmos de ajuste de datos: ¿Cuándo deja de ser una medición? Gayle S. W. Hagler, Ronald Williams, Vasileios Papapostolou y Andrea Polidori, *Environmental Science & Technology*. 2018, 52 (10), 5530-5531, doi: 10.1021/acs.est.8b01826.

Apéndice E. Ejemplo de infografía

¿Qué podemos aprender de estos sensores PurpleAir sobre la calidad del aire exterior?

UN VISTAZO RÁPIDO A LOS SENSORES PURPLEAIR DE LOS APARTAMENTOS UNIVERSITY VILLAGE

Este análisis utiliza todos los datos disponibles de los sensores exteriores recopilados entre diciembre de 2017 y diciembre de 2018. Tenga en cuenta que los resultados presentados aquí, así como las interpretaciones de los datos, son preliminares.

UN AÑO DE DATOS

- Niveles similares de PM_{2.5} en todos los sensores y datos de referencia
- Más oscuro = sensores superpuestos
- Más claro = sensor individual

TENDENCIAS DIARIAS DE PM_{2.5}

El pico de los días laborables se debe probablemente a la hora punta de la mañana

En general, la contaminación se acumula por la noche y a primera hora de la mañana debido a la estabilidad de la atmósfera

A continuación, la mezcla atmosférica durante el día da lugar a los niveles más bajos de contaminación a última hora de la tarde

PM_{2.5} ELEVADO EN OTOÑO/INVIERNO

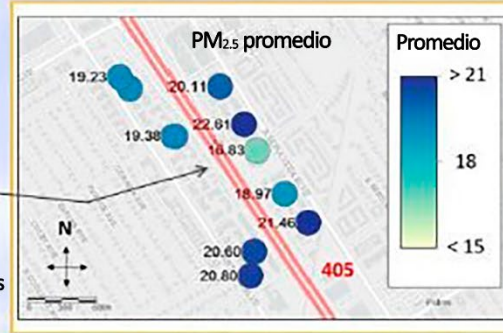
Inversiones: condiciones estables, causadas por una capa de aire cálido sobre otra fría, que pueden durar días y atrapar las emisiones

Los datos de los sensores reflejan las tendencias esperadas. Si los sensores pueden mostrarnos cuándo la calidad del aire se comporta como se espera, ¿pueden también identificar anomalías y aportar información adicional en los sitios?

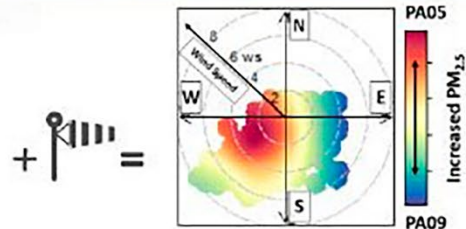
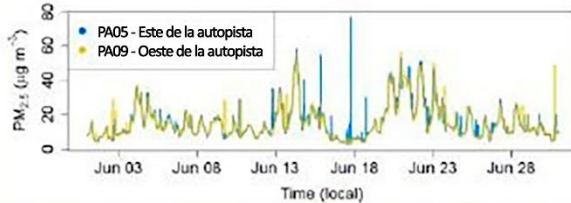
¿Qué podemos aprender de estos sensores PurpleAir sobre la calidad del aire exterior?
UN VISTAZO RÁPIDO A LOS SENSORES PURPLEAIR DE LOS APARTAMENTOS UNIVERSITY VILLAGE

DIFERENCIAS ESPACIALES

- No hay diferencias claras en los promedios asociadas a la autopista (posiblemente debido a las limitaciones de los sensores, CONSULTAR MÁS ABAJO)
- PM promedio más bajo en los sitios protegidos por muros y vegetación en comparación con las azoteas (p. ej., guarderías)



Quando hay diferencias entre los sitios, ¿qué las provoca?

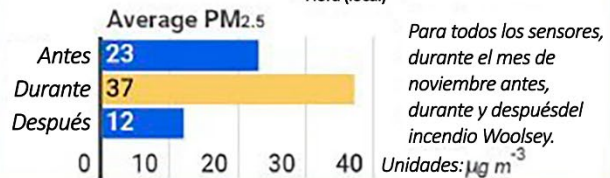


- Los gráficos polares nos indican de dónde pueden venir las emisiones añadiendo datos sobre la velocidad y la dirección del viento
- En este caso, los picos en el este provienen del oeste, y viceversa
- Posibles fuentes: tráfico (emisiones y/o polvo de la carretera), cocina, barbacoas al aire libre o jardinería

EVENTOS DE EMISIONES ÚNICOS

- Se observó un aumento de PM_{2.5} mientras el incendio estaba activo

Si bien es importante tener en cuenta las limitaciones de los sensores PurpleAir y su naturaleza como herramienta de bajo costo, estos pueden proporcionar información indicativa sobre la calidad del aire local y sus tendencias.



Realizado como parte de la subvención STAR de la EPA de EE. UU.: "Involucrar, educar y empoderar a las comunidades de California en el uso y las aplicaciones de sensores de monitoreo del aire de bajo costo"

No dude en ponerse en contacto con nosotros si tiene alguna pregunta:
 Teléfono: +1 (909) 396-2713
 Correo electrónico: info.aq-spec@aqmd.gov

Apéndice F. Plantilla de guía de instalación (para otros sensores)

SUGERENCIA: Mantenga el texto lo más breve posible y utilice viñetas en lugar de párrafos. Por ejemplo, añada una foto o un diagrama etiquetado para cada paso de las instrucciones (desde el montaje y la alimentación del sensor hasta la conexión del dispositivo a la red Wi-Fi, si procede).

Nombre del sensor:

Contaminante(s) medido(s):

[añada una foto etiquetada de todas las piezas y accesorios]

Paso 1 – Encontrar una ubicación e instalar *(modifique y añada texto según sea necesario)*

- Busque un lugar con sombra, normalmente una parte de la casa orientada al norte, lejos de árboles altos u otros obstáculos, como casas o edificios cercanos. Nota: La ubicación deberá tener una toma de corriente y señal Wi-Fi cerca.
- Monte el sensor lejos de fuentes locales de contaminación (aparatos de aire acondicionado, rejillas de ventilación, barbacoas), a menos que el objetivo del proyecto sea medir una fuente cercana, en cuyo caso monte el sensor con línea de visión hacia esa fuente.
- Monte el sensor utilizando bridas (en baranda) o un tornillo (debajo del borde del techo). Lo ideal es que el sensor esté al menos a unos pies de distancia de la pared más cercana de la casa o el edificio. Nota: La fuente de alimentación debe instalarse en un lugar donde no pueda quedar sumergida en agua. Asegúrese de que el cable esté bien sujeto para evitar el riesgo de tropiezos.

Paso 2 – Encender y configurar el sensor *(complete esta sección)*

- Proporcione instrucciones paso a paso con fotos etiquetadas para encender el sensor
- Proporcione instrucciones paso a paso para cualquier requisito adicional (p. ej., conectarse a una red Wi-Fi y registrar el sensor); consulte la Guía de instalación de PurpleAir a modo de ejemplo

Paso 3 – Verificar que el sensor esté recopilando datos *(complete esta sección)*

- Proporcione instrucciones paso a paso con fotos etiquetadas para que el usuario pueda comprobar si su sensor está recopilando datos correctamente

Información útil:

Enumere aquí la ayuda para la resolución de problemas comunes con el sensor (consulte la Guía de instalación de PurpleAir como ejemplo)

Apéndice G. Plantilla de una página del proyecto

Esta plantilla le ayudará a elaborar un recurso que podrá utilizar para reclutar participantes y socios para el proyecto, o para comunicar sus actividades a las agencias reguladoras locales.

Título del proyecto;

Socios del proyecto: (enumere aquí)

Resumen del proyecto

(Breve párrafo de 3-4 frases sobre (1) lo que está haciendo y por qué, incluyendo los objetivos del proyecto, un calendario aproximado y la ubicación/comunidad aproximada, (2) indique qué sensores está utilizando, (3) describa su plan provisional para los datos o explique brevemente cómo se utilizarán los mismos)

Especificaciones técnicas del sensor

(Proporcione una lista con viñetas con el tamaño/peso de cada sensor, el consumo de energía y otros requisitos, como la necesidad de Wi-Fi; incluya también cualquier requisito adicional relacionado con la ubicación o el uso de los sensores, o cualquier otra cosa que los participantes del proyecto o los anfitriones de los sensores deban saber)

*Añada una foto del sensor o los sensores

Información de contacto

(Incluya la información de contacto adecuada para obtener más información sobre el proyecto o si fuera necesario solucionar problemas con los sensores)

*Información adicional opcional: si este formulario se utiliza para reclutar usuarios de sensores, asegúrese de incluir todas las acciones a las que se comprometen por su parte, así como cualquier compensación que vayan a recibir por participar.

Apéndice H. Formulario de notas de registro en blanco

Formulario de notas de registro para científicos comunitarios

Utilice este formulario para anotar fácilmente sus observaciones sobre la calidad del aire.

1. Fecha y hora: _____ Ubicación: _____
2. ¿Qué le parece la calidad del aire? (marque con un círculo una de las siguientes opciones)

Peligrosa	Muy insalubre	Insalubre	Moderada	Buena
-----------	---------------	-----------	----------	-------
3. Describa la calidad del aire. Qué...
 Ve (p. ej., cielo azul, neblina, etc.): _____

 Huele (p. ej., aire fresco, humo, etc.): _____

 Escucha (p. ej., sonidos extraños, como maquinaria): _____
4. Si se trata de un evento relacionado con la calidad del aire, ¿ve alguna fuente o causa potencial? Sí No
 Si es así, explique: _____
5. ¿Alguna otra observación?

Formulario de notas de registro para científicos comunitarios

Utilice este formulario para anotar fácilmente sus observaciones sobre la calidad del aire.

1. Fecha y hora: _____ Ubicación: _____
2. ¿Qué le parece la calidad del aire? (marque con un círculo una de las siguientes opciones)

Peligrosa	Muy insalubre	Insalubre	Moderada	Buena
-----------	---------------	-----------	----------	-------
3. Describa la calidad del aire. Qué...
 Ve (p. ej., cielo azul, neblina, etc.): _____

 Huele (p. ej., aire fresco, humo, etc.): _____

 Escucha (p. ej., sonidos extraños, como maquinaria): _____
4. Si se trata de un evento relacionado con la calidad del aire, ¿ve alguna fuente o causa potencial? Sí No
 Si es así, explique: _____
5. ¿Alguna otra observación?

Apéndice I. Ejemplo de exención de responsabilidad

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

LEA ATENTAMENTE: ESTO AFECTA A SUS DERECHOS LEGALES

A cambio de participar en la actividad de alojar un monitor de partículas del aire en mi hogar, organizada por [responsables del proyecto y/u organizaciones principales], yo, _____ [incluya el nombre y otra información importante de identificación (p. ej., el nombre de la empresa, si procede)], acepto en mi nombre y (si procede) en nombre de los miembros de mi familia, lo siguiente:

1. ACUERDO DE SEGUIR LAS INSTRUCCIONES. Acepto seguir cualquier instrucción o indicación escrita u oral proporcionada por el representante de [título del proyecto u organizaciones principales] con respecto a la colocación, el funcionamiento y el mantenimiento del monitor de partículas del aire que se instalará en mi hogar. Acepto devolver el [dispositivo sensor], si así se solicita, a [título del proyecto u organizaciones principales] al finalizar el periodo de la actividad.
2. ASUNCIÓN DE RIESGOS Y EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD. Reconozco que puede haber ciertos riesgos imprevistos asociados con la actividad descrita anteriormente y asumo plena responsabilidad por las lesiones personales que pueda sufrir yo y (si procede) los miembros de mi familia. Además, eximo y libero de responsabilidad a [responsables del proyecto y/u organizaciones principales] por cualquier lesión, pérdida o daño que se derive del uso que yo o mi familia hagamos del [dispositivo sensor], independientemente de que sea causado por mi propia conducta, la de mi familia o la de [responsables del proyecto y/u organizaciones principales].
3. INDEMNIZACIÓN. Acepto indemnizar y defender a [responsables del proyecto y/u organizaciones principales] frente a todas las reclamaciones, causas de acción, daños, sentencias, costos o gastos, incluidos los honorarios de abogados y otros costos de litigio, que puedan derivarse de cualquier modo del uso que yo o mi familia hagamos del [dispositivo sensor].
4. LEY APLICABLE. Cualquier reclamación legal o equitativa que pueda surgir de la participación en lo anterior se resolverá conforme a la legislación de California.

5. SIN COACCIÓN. Acepto y reconozco que no estoy bajo ninguna presión ni coacción para firmar este Acuerdo y que se me ha dado una oportunidad razonable para revisarlo antes de firmarlo. Asimismo, acepto y reconozco que tengo la libertad de que un asesor legal de mi elección revise este Acuerdo si así lo deseo. También acepto y reconozco que [responsables del proyecto y/u organizaciones principales] no me pagarán ni yo les pagaré nada a ellos por participar en esta actividad.
6. ACUERDO EN CONDICIONES DE IGUALDAD. Este acuerdo y cada uno de sus términos son el resultado de una negociación en condiciones de igualdad entre las Partes. En caso de que se encuentre alguna ambigüedad en la interpretación de este Acuerdo, o de cualquiera de sus disposiciones, las Partes, y cada una de ellas, rechazan explícitamente la aplicación de cualquier norma de interpretación legal o equitativa que pudiera llevar a una interpretación “a favor” o “en contra” de una parte en particular, basada en su condición de redactor de un término, lenguaje o disposición específicos que den lugar a dicha ambigüedad.
7. APLICABILIDAD. La invalidez o inaplicabilidad de cualquier disposición del presente Acuerdo, ya sea por sí sola o aplicada a un hecho o circunstancia concretos, no afectará a la validez o aplicabilidad de cualquier otra disposición de este Acuerdo o de cualquier otra aplicación de dicha disposición, según sea el caso, y dicha disposición inválida o inaplicable se considerará que no forma parte del presente Acuerdo.
8. CONTACTO DE EMERGENCIA. En caso de emergencia, llame a [contacto del proyecto y número de teléfono].
9. Acepto utilizar la información derivada del uso del dispositivo de monitoreo de la calidad del aire de forma responsable y no esperaré ni solicitaré que [incluya cualquier organización principal o asociada, según corresponda] tomen medidas en respuesta a la información que pueda revelarse. Entiendo que existen organismos gubernamentales y empresas privadas que pueden responder a cualquier preocupación que yo pueda tener basada en la información.

HE LEÍDO ESTE DOCUMENTO Y LO ENTIENDO. ADEMÁS, ENTIENDO QUE AL FIRMAR ESTA EXENCIÓN RENUNCIO VOLUNTARIAMENTE A CIERTOS DERECHOS LEGALES.

Firma: _____

Fecha: _____

Nombre en letra de imprenta: _____

Testigo: _____

Fecha: _____

Apéndice J. Contactos de las agencias reguladoras locales (lista de ejemplos)

La siguiente lista es un ejemplo basado en la información de contacto de octubre de 2020. Una búsqueda en Internet puede ayudarle a localizar la página de “Contacto” de su agencia reguladora local (o información equivalente) para comenzar. Para encontrar el nombre de su junta o agencia local de calidad del aire/recursos naturales, puede consultar la Asociación de Agencias de Control de la Contaminación del Aire (<https://cleanairact.org/>) o la Asociación Nacional de Agencias de Aire Limpio (<http://www.4cleanair.org/>).

Agencia	Teléfono	Correo electrónico
Bay Area AQMD Incluye los condados de Alameda, Contra Costa, Marin, Napa, San Francisco, San Mateo y Santa Clara, así como la parte occidental del condado de Solano y la parte sur del condado de Sonoma	(415) 749-5000 1.800.HELP AIR	No hay correo electrónico registrado Para servicios técnicos: póngase en contacto con el Programa de Meteorología y Mediciones al 415.749.4985
California Air Resources Board Incluye el estado de California	(800) 242-4450	helpline@arb.ca.gov
CalEPA Incluye el estado de California	(916) 323-2514	cepacomm@calepa.ca.gov
EPA Region 9 Incluye Arizona, California, Hawái, Nevada, las islas del Pacífico y 148 tribus	(866)-EPA-WEST (866)-372-9378	r9.info@epa.gov
Imperial County APCD Incluye todo el condado de Imperial	(442) 265-1800	
San Diego County APCD Incluye todo el condado de San Diego	(858) 586-2600	airinfo@sdcounty.ca.gov
San Joaquin Valley APCD Incluye todo el condado de Fresno, Kings, Madera, Merced, San Joaquin, Stanislaus, Tulare y las partes de la cuenca atmosférica del valle del condado de Kern	(559) 230-6000	sjvapcd@valleyair.org

Agencia	Teléfono	Correo electrónico
<p>San Luis Obispo County APCD Incluye todo el condado de San Luis Obispo</p>	<p>(805) 781-5912</p>	<p>info@slocleanair.org</p>
<p>Santa Barbara County APCD Incluye todo el condado de Santa Barbara</p>	<p>(805) 961-8800</p>	<p>apcd@sbcapcd.org</p>
<p>South Coast AQMD Incluye el condado de Los Angeles, excepto las áreas cubiertas por el Antelope Valley AQMD, el condado de Orange y la parte occidental de los condados de San Bernardino y Riverside</p>	<p>(909) 396-2713</p>	<p>info.aq-spec@aqmd.gov</p>

Apéndice K. Ejemplos de rendimiento de los sensores

La siguiente tabla ofrece un análisis detallado de las consideraciones específicas de cada aplicación en relación con el rendimiento de los sensores y varios ejemplos de concentraciones de contaminantes relevantes basados en estudios anteriores. Tenga en cuenta que estos ejemplos deben considerarse solo como una referencia inicial y que lo que observe durante su proyecto puede variar.

Referencias para la Tabla K-1:

- 1 Hasheminassab, S., Pakbin, P., Delfino, R. J., Schauer, J. J., & Sioutas, C. (2014). Diurnal and seasonal trends in the apparent density of ambient fine and coarse particles in Los Angeles. *Environmental pollution*, 187, 1-9.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113006489>
- 2 Asimakopoulos, D. N., Flocas, H. A., Maggos, T., & Vasilakos, C. (2012). The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM10, PM2.5, PM2.5-10). *Science of the Total Environment*, 419, 124-135.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711015300>
- 3 Vingarzan, R. (2004). A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric environment*, 38(21), 3431-3442.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004002808>
- 4 Paoletti, E., De Marco, A., Beddows, D. C., Harrison, R. M., & Manning, W. J. (2014). Ozone levels in European and USA cities are increasing more than at rural sites, while peak values are decreasing. *Environmental Pollution*, 192, 295-299.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749114002073>
- 5 Sillman, S. (1999). The relation between ozone, NOx and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmospheric Environment*, 33(12), 1821-1845.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231098003458>
- 6 Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, NOAA Global Monitoring Laboratory,
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>
- 7 Trends in Atmospheric Methane, NOAA Global Monitoring Laboratory,
https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/
- 8 Pinto, J. P., Lefohn, A. S., & Shadwick, D. S. (2004). Spatial variability of PM2.5 in urban areas in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(4), 440-449.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2004.10470919>
- 9 Lyman, S., & Tran, T. (2015). Inversion structure and winter ozone distribution in the Uintah Basin, Utah, USA. *Atmospheric Environment*, 123, 156-165.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015304842>
- 10 He, C., Morawska, L., Hitchins, J., & Gilbert, D. (2004). Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric*

- environment*, 38(21), 3405-3415.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223100400250X>
- 11 Fazli, T., & Stephens, B. (2018). Development of a nationally representative set of combined building energy and indoor air quality models for US residences. *Building and Environment*, 136, 198-212.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318301823#appsec1>
- 12 Pickett, A. R., & Bell, M. L. (2011). Assessment of indoor air pollution in homes with infants. *International journal of environmental research and public health*, 8(12), 4502-4520.
<https://www.mdpi.com/1660-4601/8/12/4502/htm>
- 13 Indoor Air Quality (IAQ), US EPA, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/how-much-ventilation-do-i-need-my-home-improve-indoor-air-quality>
- 14 Guo, H., Morawska, L., He, C., & Gilbert, D. (2008). Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom. *Atmospheric Environment*, 42(4), 757-768.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007008758>
- 15 Thoma, E. D., Brantley, H. L., Oliver, K. D., Whitaker, D. A., Mukerjee, S., Mitchell, B., & Gross-Davis, C. A. (2016). South Philadelphia passive sampler and sensor study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(10), 959-970.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2016.1184724>
- 16 Brantley, H. L., Hagler, G. S. W., Kimbrough, E. S., Williams, R. W., Mukerjee, S., & Neas, L. M. (2014). Mobile air monitoring data-processing strategies and effects on spatial air pollution trends. *Atmospheric measurement techniques*, 7(7), 2169-2183. <https://www.atmos-meas-tech.net/7/2169/2014/amt-7-2169-2014.pdf>
- 17 Apte, J. S., Messier, K. P., Gani, S., Brauer, M., Kirchstetter, T. W., Lunden, M. M., & Hamburg, S. P. (2017). High-resolution air pollution mapping with Google street view cars: exploiting big data. *Environmental science & technology*, 51(12), 6999-7008.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.7b00891>
- 18 Lim, S., Kim, J., Kim, T., Lee, K., Yang, W., Jun, S., & Yu, S. (2012). Personal exposures to PM_{2.5} and their relationships with microenvironmental concentrations. *Atmospheric environment*, 47, 407-412. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011011228>

Tabla K-1. Consideraciones sobre las métricas de medición para diferentes tipos de aplicaciones.

Aplicación	LDL (límite de detección inferior) y rangos efectivos	Exactitud y precisión	Tiempo de respuesta
Exterior, ambiente	<p>Al seleccionar un sensor para mediciones ambientales en exteriores, es importante comprender el rango de contaminantes esperado. Para esta aplicación, es probable que el rango de contaminantes esperado sea pequeño, en comparación con las variaciones que podrían producirse en interiores o cerca de una fuente. Además, es probable que se produzcan variaciones en los niveles de contaminantes a escala diaria y estacional. Por ejemplo, estudios realizados en zonas urbanas y suburbanas han revelado que los niveles de PM_{2.5} tienden a variar entre ~10 y 25 µg/m³ diarios [1,2]. El rango previsto dependerá en gran medida de su ubicación. El ozono suele fluctuar entre niveles de fondo de ~20 ppb a 60 ppb [3]. Sin embargo, se pueden observar picos de hasta 100 ppb y superiores [3,4]. Es probable que los niveles mínimos de ozono sean muy inferiores a 20 ppb en las zonas urbanas como resultado de la química atmosférica [5]. En el caso de algunos contaminantes, también hay que tener en cuenta el nivel de fondo global. Las concentraciones</p>	<p>Tenga en cuenta el nivel de diferencia en las concentraciones de contaminantes que le gustaría poder detectar con seguridad para orientar su revisión de la exactitud y precisión de los posibles sensores. Un estudio que comparaba las diferencias del percentil 90 en las concentraciones absolutas de PM_{2.5} en diferentes ciudades encontró diferencias que oscilaban entre 14 y 108 µg/m³ entre los distintos lugares [8]. En un estudio se observó un ejemplo más extremo de variabilidad espacial del ozono, en el que las diferencias en el cuarto valor más alto del promedio diario máximo de 8 horas eran del orden de ~70 ppb en una distancia de ~50 km [9]. La variabilidad en las concentraciones de ozono es generalmente mucho menor que en este ejemplo, ya que el ozono es un contaminante distribuido regionalmente.</p>	<p>Las tendencias en la contaminación del aire ambiente tienden a producirse en periodos de tiempo más largos, como días o estaciones. Si está tratando de comprender estas tendencias y cómo varían a lo largo del tiempo o en diferentes lugares, considere la posibilidad de comparar las tendencias diarias, las tendencias entre semana/fin de semana y/o las tendencias estacionales. Para estas escalas de tiempo más amplias, es posible que pueda utilizar un sensor con tiempos de promedio más largos o una resolución temporal más baja (p. ej., un sensor que proporcione datos en una escala de tiempo de 15 minutos o por hora).</p>

Aplicación	LDL (límite de detección inferior) y rangos efectivos	Exactitud y precisión	Tiempo de respuesta
	<p>actuales de fondo a nivel global de CO₂ y metano (CH₄) son de aproximadamente 410 ppm y 1.8 ppm, respectivamente [6,7]. Utilice herramientas como las descritas en la Sección 3.2.2 para comprender los rangos típicos de los contaminantes en su área.</p>		
Calidad del aire interior	<p>Los contaminantes pueden acumularse más en un entorno interior que en uno exterior. Por lo tanto, es posible que observe rangos más amplios de concentraciones de contaminantes en interiores. La EPA de EE. UU. afirma que las concentraciones de contaminantes suelen ser al menos entre 2 y 5 veces más altas en interiores. Por ejemplo, un estudio que realizó mediciones mientras se cocinaba encontró picos de PM_{2.5} que oscilaban entre 13 y 745 µg/m³ [10]. Otro estudio reveló que los hogares con cocinas de gas solían tener niveles de NO₂ entre 1.2 y 3.2 veces superiores a los niveles exteriores [11]. Un tercer estudio reveló que los valores promedio por hora de CO y CO₂ oscilaban entre 0.37 y 1.9 ppm y entre 412 y 1194 ppm, respectivamente [12].</p>	<p>La exactitud y precisión necesarias para un proyecto de monitoreo de la calidad del aire interior dependerán del nivel de diferencia en los contaminantes que desee poder predecir con seguridad. Dada la gran variabilidad en los rangos de contaminantes y su acumulación en diferentes entornos interiores, las necesidades de exactitud y precisión variarán. Tenga en cuenta el contaminante de interés, las posibles fuentes en el entorno interior, la ventilación y el potencial de acumulación.</p>	<p>Los entornos interiores pueden provocar tanto la acumulación de contaminantes como una dispersión más lenta de estos. La tasa a la que se produce la dispersión suele depender de la ventilación. ASHRAE recomienda un mínimo de 0.35 renovaciones de aire por hora para entornos residenciales [13], pero la tasa de renovación del aire puede variar bastante en diferentes entornos interiores. Por ejemplo, un estudio sobre el impacto de diferentes escenarios de ventilación en la calidad del aire interior en las aulas encontró que las tasas de renovación del aire variaban entre 0.12 y 7.9 renovaciones por hora [14]. Es probable que los cambios en los niveles de contaminantes en interiores se produzcan más lentamente que en exteriores.</p>
Exterior, cerca de la fuente	<p>Al realizar mediciones cerca de la fuente, los cambios en la concentración de las emisiones de la fuente se sumarán a las</p>	<p>Considere la exactitud y la precisión que necesitaría para distinguir con seguridad entre las fluctuaciones diarias típicas y</p>	<p>El impacto de las emisiones de una fuente puede variar. Por ejemplo, una fuga continua puede dar lugar a un aumento</p>

Aplicación	LDL (límite de detección inferior) y rangos efectivos	Exactitud y precisión	Tiempo de respuesta
	<p>concentraciones típicas más alejadas de la misma. Estas concentraciones de fondo varían diariamente y según la estación. Por lo tanto, tenga en cuenta la capacidad del sensor para medir tanto el rango típico de contaminantes como las concentraciones más altas. En un estudio realizado en los límites de una refinería, los investigadores descubrieron que el benceno podía ser entre 20 y 100 veces superior a los niveles de fondo medidos [15]. El aumento de la concentración por otras fuentes puede ser mucho menor.</p>	<p>los eventos inusuales o los aumentos en los niveles de contaminantes de una fuente local de interés. Intente investigar estudios anteriores sobre el mismo tipo de fuente que le interesa para ayudarlo a anticipar cómo podrían ser los datos y qué concentraciones podría ver.</p>	<p>continuo de los niveles de contaminantes (por encima de lo habitual o esperado). Por otra parte, también pueden producirse eventos a corto plazo que den lugar a aumentos en escalas de tiempo mucho más pequeñas; esto es lo que se observó en el estudio de los límites de la refinería, con aumentos del orden de minutos [15]. Por lo tanto, los sensores con una respuesta más rápida y una mayor resolución temporal pueden ayudar a captar estos eventos a corto plazo (como datos por minuto o por debajo del minuto).</p>
<p>Exterior, móvil (monitoreo personal mientras camina/corre o en un vehículo)</p>	<p>Al igual que en los escenarios cercanos a la fuente, las mediciones pueden incluir tanto tendencias típicas (p. ej., diarias) como concentraciones más altas procedentes directamente de fuentes cercanas (p. ej., vehículos). Las mediciones pueden ser aún más dinámicas, ya que el dispositivo de medición está en movimiento, especialmente a velocidades más altas. En estos casos, es probable que los rangos de concentración cambien rápidamente. Entre los ejemplos de rangos de concentración de contaminantes registrados durante estudios en carretera se incluyen ~400 a</p>	<p>Para el monitoreo móvil, la exactitud y precisión necesarias dependen de la naturaleza del monitoreo y de los objetivos del proyecto. Considere las situaciones que desea comparar y las posibles diferencias de concentración que espera resolver. A modo de ejemplo, un estudio sobre el monitoreo de la exposición personal observó los siguientes valores promedio de PM_{2.5} para diversos microclimas (en µg/m³): residencial: 13.4; transporte: 18.6; exterior: 21.0; y restaurante: 188.5 [18]. Para otros tipos de monitoreo móvil, considere si le interesa caracterizar un área (p. ej., mapear una comunidad con</p>	<p>La capacidad de registrar datos con una alta resolución temporal es aún más importante en esta aplicación. Por ejemplo, en la sección "LDL y rangos efectivos", el aumento de las concentraciones máximas citadas para el CO y el NO₂ y la disminución hasta los valores de referencia se produjeron en ocasiones en menos de un minuto [16,17]. Recuerde que cuanto mayor sea la velocidad a la que se desplace, mayor será la distancia espacial entre las mediciones.</p>

Aplicación	LDL (límite de detección inferior) y rangos efectivos	Exactitud y precisión	Tiempo de respuesta
	10,000 ppb para el CO [16] y ~10 a 40 ppb para el NO ₂ [17].	mediciones repetidas desde un vehículo) o registrar la dinámica a corto plazo de la calidad del aire en la carretera (p. ej., durante un paseo en bicicleta).	

Apéndice M. Ejemplos de informes y recursos comunitarios

El sitio web de AQ-SPEC contiene enlaces a informes y recursos creados por socios y participantes de la comunidad: <http://www.aqmd.gov/aq-spec/special-projects/star-grant>. Algunas comunidades realizaron análisis de datos o desarrollaron recursos para apoyar el uso de los datos.

- **Informe: Tendencias de la calidad del aire de PM_{2.5} en Mark Keppel High School** [🔗](#). Este informe documentó el análisis para identificar las tendencias de la calidad del aire e implementar soluciones para minimizar los efectos dañinos para la salud debidos a la mala calidad del aire. Los datos de PM_{2.5} de marzo de 2018 a febrero de 2019 de cuatro sensores PurpleAir se convirtieron a su índice de calidad del aire (AQI) y se analizaron para determinar las tendencias por hora, día de la semana y mes. Una de las conclusiones fue la recomendación de que los estudiantes limitaran sus actividades al aire libre entre las 8 AM – 10 AM, especialmente los miércoles.
- **Informe: El aire que respira – University of California Los Angeles** [🔗](#). South Coast AQMD, investigadores de la UCLA y la Asociación de Residentes de University Apartments South colaboraron para documentar los resultados del proyecto de monitoreo del aire en University Village Apartments. Los apartamentos están situados junto a una importante autopista (I-405). Se instalaron doce sensores de PM en el exterior de la comunidad y 18 sensores en el interior. Entre los resultados se incluye que los residentes pueden proteger la calidad del aire interior utilizando el extractor de la cocina y abriendo las ventanas durante las actividades de cocina y limpieza, utilizando un purificador de aire y encendiendo el sistema de climatización.
- **Informe: Interpretación de los datos de calidad del aire de Nipomo Mesa – Condado de San Luis Obispo** [🔗](#). Un participante de la subvención STAR en San Luis Obispo realizó un análisis de datos para comprender mejor los datos recopilados con sensores de bajo costo y mejorar la interpretación de los datos cuando se producían episodios de polvo.
- <http://www.wawzat.com/>. Este sitio web fue desarrollado por un participante de la subvención STAR para proporcionar enlaces a información educativa, visualizaciones de datos y código Python desarrollado por el participante para apoyar el análisis de los datos de los sensores.

Un participante de la subvención STAR desarrolló una página web para su comunidad. Este sitio incluye enlaces a información educativa, visualizaciones de datos y código Python desarrollado por el propio participante para apoyar el análisis de los datos de los sensores.

Sitio web: <http://www.wawzat.com/>

Visualización animada de los datos del Holy Fire:

<https://www.youtube.com/watch?v=pybUqMPfjjc&feature=youtu.be>

Repositorio en GitHub con código Python: <https://github.com/wawzat?tab=repositories>

