

GUIA

PARA TOMAR
MUESTRAS
AMBIENTALES

MÓ
DU
LO 3



MÓDULO 3

GUÍA BÁSICA

**Muestreo de aire
para comunidades**



ELAW

Environmental Law Alliance Worldwide

Mercedes Lu, PhD, Rye Howard, DSc, MPH

Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW), Eugene, OR 97401

© 2022 por Alianza Mundial de Derecho Ambiental

Todos los Derechos Reservados

Agradecimientos

Esta Guía forma parte de la **Guía de Muestreo Ambiental Para Comunidades (ELAW)**, que tiene de cuatro módulos:

- **Módulo 1.** Introducción: Cómo Organizar El Muestreo Ambiental Comunitario
- **Módulo 2.** Muestreo de Agua – Guía Básica Para Comunidades
- **Módulo 3.** Muestreo de Aire – Guía Básica Para Comunidades
- **Módulo 4.** Muestreo de Suelo – Guía Básica Para Comunidades

Esta iniciativa ha sido posible gracias al apoyo de la **Fundación Philip Stoddard y Adele Smith Brown** y tiene el objetivo de ayudar a los ciudadanos y organizaciones de base interesadas en iniciativas comunitarias de monitoreo ambiental para defender el derecho a un ambiente saludable. Esta guía contiene información básica y no incluye aspectos analíticos del procesamiento de muestras en un laboratorio.

La Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW) apoya a defensores del ambiente y del interés público en sus esfuerzos por resguardar el derecho a un ambiente saludable. ELAW apoya a defensores del medio ambiente y a las comunidades que representan con información legal y científica para proteger el aire, el agua, el suelo y los ecosistemas en sus países.

Información adicional sobre ELAW y los otros tres módulos de la **Guía básica para el muestreo ambiental para comunidades** está disponible de forma gratuita en el sitio web de ELAW en: www.elaw.org.



ELAW

Environmental Law Alliance Worldwide

GUÍA PARA TOMAR MUESTRAS AMBIENTALES

MÓDULO 3

GUÍA BÁSICA **Muestreo de aire para comunidades**

Contenido

1. CONCEPTOS BÁSICOS	6
1.1. Contaminación del Aire y la Salud Humana	6
1.2. Conceptos Básicos Atmosféricos	6
<i>Composición del Aire</i>	6
1.3. Fuentes de Contaminación del Aire	7
2. TIPOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	9
3. TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE	12
3.1. Transporte de Contaminantes a Larga Distancia	12
3.2. Inversión Térmica	13
4. ¿LA CALIDAD DEL AIRE Y LAS REGULACIONES?	14
4.1. Contaminantes del Aire Primarios y Secundarios	14
4.2. Controlando y Evaluando la Contaminación del Aire	15
5. MÉTODOS DE MUESTREO DE AIRE DE BAJO COSTO PARA COMUNIDADES	16
5.1. Planificación	16
<i>Definir los Objetivos del Muestreo</i>	16
<i>Seleccionar los Parámetros</i>	17
<i>Definir los Puntos de Toma de Muestras</i>	17

5.2. Métodos de Toma de Muestras de Aire	18
<i>Muestreadores de Aire Pasivos</i>	18
<i>Muestreadores de Aire de Bajo Costo</i>	21
5.3. Equipos para Toma de Muestra en Tiempo Real	22
6. PLANEANDO EL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS	24
6.1. Consideraciones Generales	24
6.2. Tamaño de la Muestra y Duración del Muestreo	25
6.3. Cuándo Tomar Las Muestras	25
7. EJEMPLO DE FORMULARIO DE CADENA DE CUSTODIA	26
8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
8.1. Unidades de Análisis	29
8.2. Resultados Simples: Promedios y Series Temporales	30
8.3. Comparación y pruebas estadísticas	30
9. PRÓXIMOS PASOS EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	31
GLOSARIO	33
RECURSOS	38

1. Conceptos básicos:

1.1.

CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y LA SALUD HUMANA

La contaminación del aire interior y exterior son unas de las principales causas de muerte y enfermedad en el mundo. Los agentes químicos, físicos y/o biológicos pueden cambiar la calidad del aire. El smog sobre las ciudades, el polvo, el humo dentro del hogar, las partículas y otros contaminantes de fuentes industriales representan una gran amenaza para las personas, la vida silvestre y el ambiente a nivel mundial. La contaminación del aire aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares crónicas, cáncer, asma y neumonía. En 2016, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que aproximadamente 7 millones de personas mueren prematuramente debido a la contaminación del aire (4.2 millones por la contaminación del aire en exteriores y 3.8 millones por la contaminación del aire en interiores). Nueve de cada diez de estas muertes prematuras se producen en países de ingresos bajos y medios¹. Los ancianos, los niños y las personas con condiciones de salud preexistentes son más sensibles a los efectos de este tipo de contaminación. Por

lo tanto, el aire limpio es fundamental para la salud y el bienestar tanto de las personas como de los ecosistemas.

El aire tanto como el agua contaminadas, puede afectar a muchas personas en un área grande al mismo tiempo. Es importante que las comunidades sean conscientes y protejan la calidad del aire que respiran. La calidad del aire ha sido una preocupación durante siglos, pero los efectos tóxicos de los contaminantes del aire de algunas sustancias específicas no se identificaron hasta mediados del siglo XX, cuando ocurrieron varios eventos importantes de contaminación. El "smog" tóxico que cubrió la pequeña ciudad de Donora, Pennsylvania, EE. UU. durante cuatro días en octubre de 1948 causó problemas respiratorios a aproximadamente la mitad de los residentes de la ciudad y mató a 20 personas. Cuatro años más tarde, un episodio similar de smog en Londres, Inglaterra, mató a 4000 personas y afectando a cientos de miles más. Después de estos episodios, creció el interés en identificar y mitigar los contaminantes atmosféricos causantes de estos eventos.

1.2.

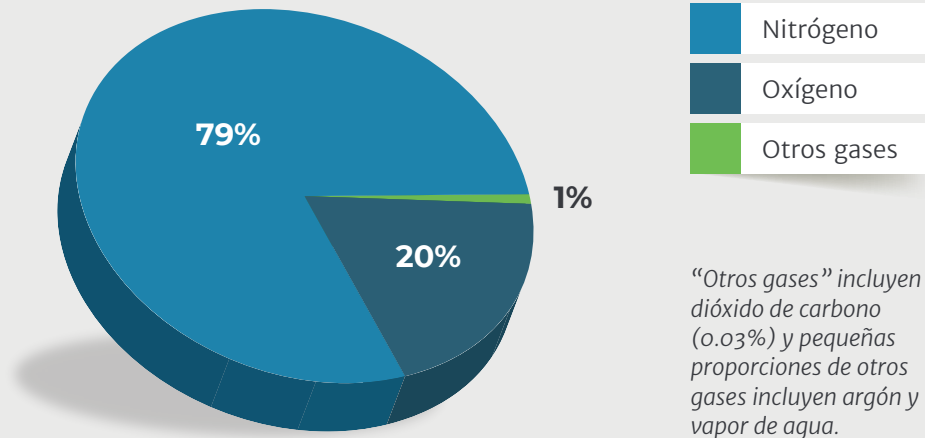
CONCEPTOS BÁSICOS ATMOSFÉRICOS

Composición del Aire

El aire es una mezcla de aproximadamente 79 por ciento de nitrógeno, 20 por ciento de oxígeno y 1 por ciento de otros gases como hidrógeno, dióxido de carbono, neón y otros en pequeñas cantidades.

1. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1





1.3.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Existen diversas fuentes de contaminación del aire en interiores y exteriores y estas tienen diferentes impactos respectivamente. Estos son algunos ejemplos:

Fuentes exteriores

- **Fuentes móviles a combustibles fósiles:** automóviles, autobuses, trenes, camiones, aviones y otros vehículos motorizados. Además de los contaminantes que resultan de la quema los combustibles fósiles, estos también contribuyen con partículas finas del desgaste de neumáticos, frenos, etc. y que son transportadas por el aire.
- **Fuentes estacionarias que consumen combustibles fósiles y fuentes industriales:** Las plantas generadoras de electricidad o calor a carbón, gas y diésel son importantes fuentes de contaminantes del aire. Las instalaciones industriales también pueden contribuir a la contaminación por el uso de combustibles fósiles, así como otros contaminantes de los procesos de manufactura de productos.
- **Fuentes del área:** Incendios forestales, áreas agrícolas, ciudades, chimeneas de leña, etc.
- **Fuentes naturales:** Incendios forestales, volcanes, partículas arrastradas por el viento, etc.

Fuentes interiores

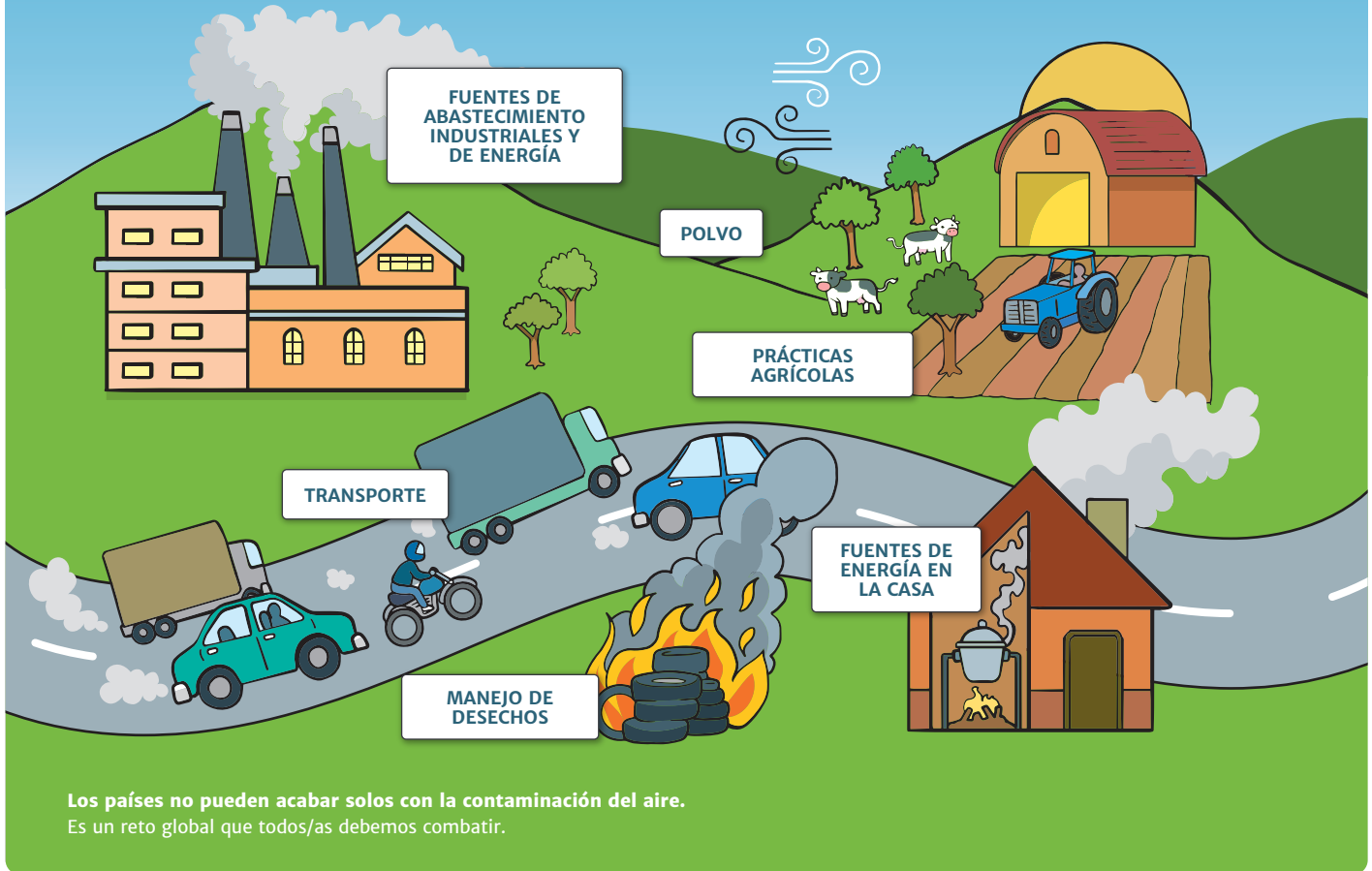
- Las cocinas a leña, otros tipos de biomasa, o a combustibles fósiles pueden producir altos niveles de contaminación del aire. Otras fuentes de calor también pueden producir contaminación del aire.

- Humo del tabaco.
- Moho y esporas de moho.
- Pelo y caspa de mascotas.
- El radón es un gas radioactivo carcinogénico que puede liberarse de algunas rocas en algunas zonas, y puede infiltrarse a las casas, especialmente cuando la ventilación es inadecuada.
- Pinturas, tintes, adhesivos, alfombras y otros materiales de uso común pueden emitir cantidades pequeñas de compuestos orgánicos volátiles en el aire de ambientes en interiores. Algunos edificios contienen asbesto o formaldehído.
- Muchos productos de uso común emiten pequeñas cantidades de diversas sustancias químicas en el aire, incluyendo algunos artefactos eléctricos, productos de limpieza, perfumes, etc.
- El moho emite grandes cantidades de esporas muy pequeñas en el aire.
- ... además de los mencionados, la contaminación del aire en interiores contiene la mayoría o todos los contaminantes del aire de exteriores, cuando estos ingresan en los inmuebles.



¿CUÁLES SON LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE?

Las fuentes de contaminación del aire afectan zonas rurales y urbanas y se deben a múltiples factores:



Los países no pueden acabar solos con la contaminación del aire.
Es un reto global que todos/as debemos combatir.

2. Tipos de Contaminación del Aire

Es importante reconocer que la contaminación del aire puede ser de diferentes tipos, cada uno de los cuales tiene efectos específicos para la salud y el medio ambiente. Al analizar la contaminación del aire es muy importante que sepamos

buscar los tipos correctos de contaminantes. Seguidamente describimos algunos de los principales contaminantes del aire.

- El término **"smog"** (derivado de "humo" y "niebla" en inglés) fue

ampliamente utilizado en el siglo XX para referirse a la contaminación visible del aire. Un nombre relacionado, "smog fotoquímico", nos ayuda a identificar uno de los principales contaminantes del aire: **Ozono**, u **O₃**, que se produce cuando ciertos otros contaminantes del aire reaccionan con la luz solar. El ozono troposférico sigue siendo uno de los contaminantes atmosféricos más importantes y peligrosos. El ozono causa muchos problemas respiratorios, incluyendo asma.

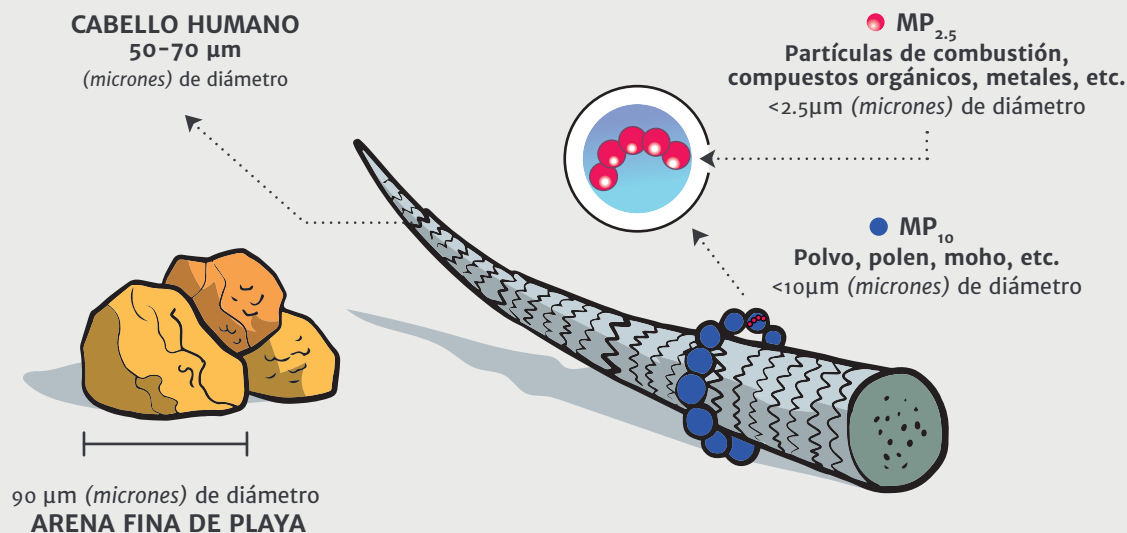
El ozono troposférico, que se encuentra cerca de la superficie de nuestro planeta, puede ser inhalado y es bastante peligroso, no debe confundirse con el ozono en lo alto de la estratosfera (capa de ozono, a una altura entre 19 y 30 kilómetros – 10 y 18.5 millas). El ozono estratosférico es el resultado de procesos naturales y ayuda a proteger la vida en la superficie de la intensa radiación ionizante del sol. Puede resultarle útil distinguir entre los dos tipos de ozono con el mnemotécnico, "bueno en lo alto, malo cerca."

- Cuando se queman combustibles fósiles, el nitrógeno presente se transforma en varios óxidos de nitrógeno ácidos, especialmente **dióxido de nitrógeno (NO₂)**. A veces, los óxidos de nitrógeno se denominan colectivamente "**NOx**." Las moléculas de NOx causan importantes problemas de salud, pero también son un importante precursor de la formación de ozono. Del mismo modo, el azufre liberado de los combustibles fósiles da como resultado varios óxidos ácidos de azufre, especialmente **dióxido de azufre (SO₂)**, que a veces se denominan colectivamente "**SOx**." Tanto el NOx como el SOx pueden causar graves impactos en la salud. Además, cuando

las lluvias arrastran NOx y SOx del aire a la tierra y las aguas, la "lluvia ácida" resultante puede ser devastadora para los bosques y los árboles. La lluvia ácida causó la destrucción generalizada de los bosques en los EE. UU. y Canadá a lo largo del siglo XX, hasta que las emisiones de NOx y SOx fueron puestas bajo control.

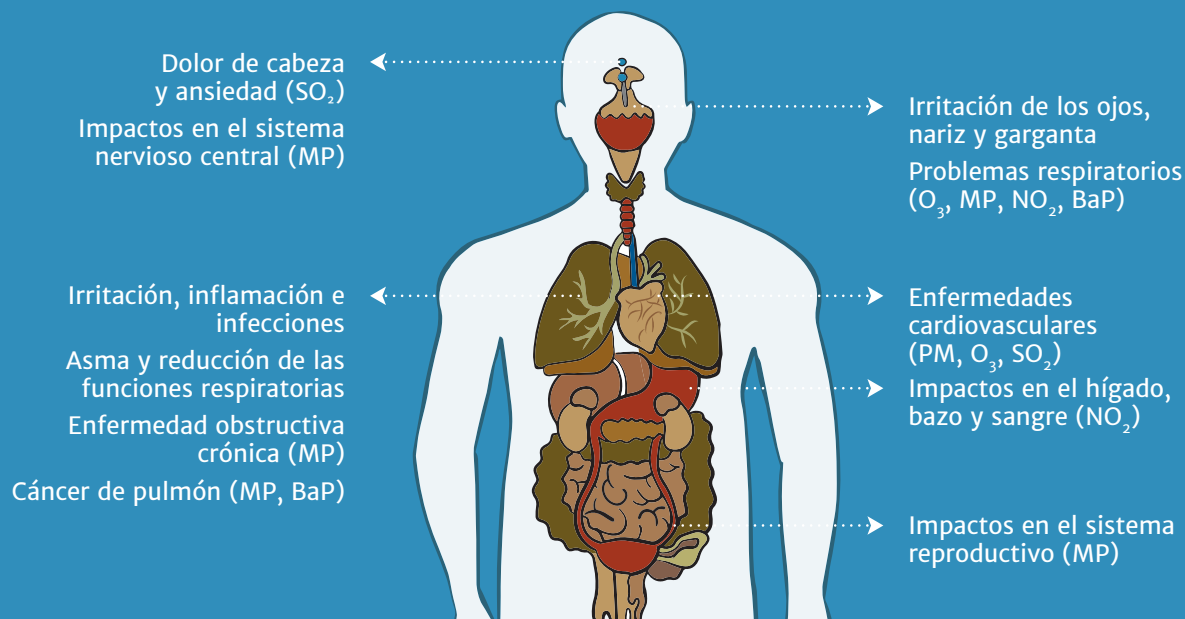
- Otro subproducto importante de la quema de combustibles fósiles es el **monóxido de carbono (CO)**, que se forma cuando no hay suficiente oxígeno para quemar completamente un combustible. El CO no debe confundirse con el **dióxido de carbono (CO₂)**, que es el resultado común de la quema de combustibles fósiles, y que es en gran parte responsable del calentamiento global. Cuando se inhala, el CO evita que el oxígeno viaje a través de la sangre y puede provocar la muerte.
- El humo que resulta de la quema de combustibles está compuesto de partículas pequeñas que juntas forman la contaminación del aire por **material particulado (MP)**. MP generalmente se separa en diferentes categorías por tamaño: MP total incluye todas las partículas, mientras que PM₁₀ se compone principalmente de partículas gruesas. El MP_{2.5}, o material particulado fino, es aún más pequeño y es más peligroso porque su pequeño tamaño al inhalarlo ingresa más profundamente en los pulmones. Los investigadores ahora están prestando gran atención al MP "ultrafino", o PM_{0.1}, que es tan pequeño que puede ingresar al torrente sanguíneo y está relacionada con varios problemas neurológicos y cardiovasculares, además de problemas respiratorios.





https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/pm2.5_scale_graphic-color_2.jpg

IMPACTOS EN LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



Nota: El Material Particulado con un diámetro de 2.5 μm o menos (MP_{2.5}). El material particulado con un diámetro de 10 μm o menos (MP₁₀), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), benzo [a] pireno (BaP) y dióxido de azufre (SO_2).

<https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>

3. Transporte de los Contaminantes del Aire

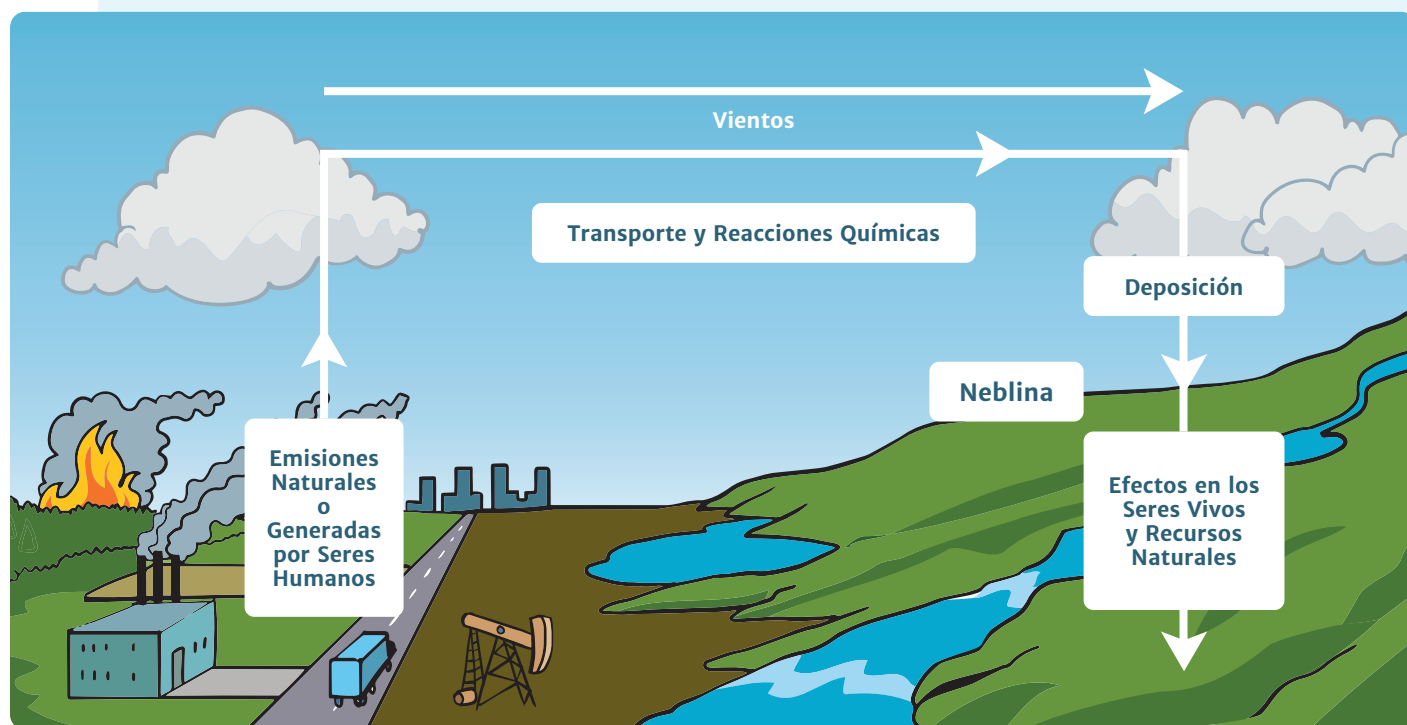
3.1.

TRANSPORTE DE CONTAMINANTES A LARGA DISTANCIA

La contaminación del aire con frecuencia se percibe como un problema local o regional; pero las masas de aire pueden transportar contaminantes por cientos de kilómetros, afectando el medio ambiente y la salud pública en regiones enteras a través de las fronteras entre estados o países, haciendo la regulación más difícil. Por ejemplo, mucho de la contaminación del aire en la región oriental de los EEUU viene de las emisiones de plantas de energía en la región central, a miles de km de distancia y son transportadas hacia el este por los vientos predominantes. Los contaminantes de la quema agrícola estacional a gran escala, las emisiones atmosféricas industriales y/o urbanas, los pesticidas, los organoclorados

y las sustancias altamente tóxicas persistentes como los bifenilos policlorados (PCBs) también pueden transportarse largas distancias influenciadas por las condiciones climáticas hacia los polos. Esto puede resultar en una gran exposición de las comunidades de latitudes del norte (Inuit, Faroese, etc.) como resultado de la contaminación emitida en regiones industriales del mundo.

La importancia de la contaminación atmosférica transfronteriza ha impulsado iniciativas y tratados como el Convenio de Contaminación Transfronteriza a Gran Distancia entre Europa, América del Norte y Eurasia para abordar el transporte atmosférico de contaminantes atmosféricos peligrosos.

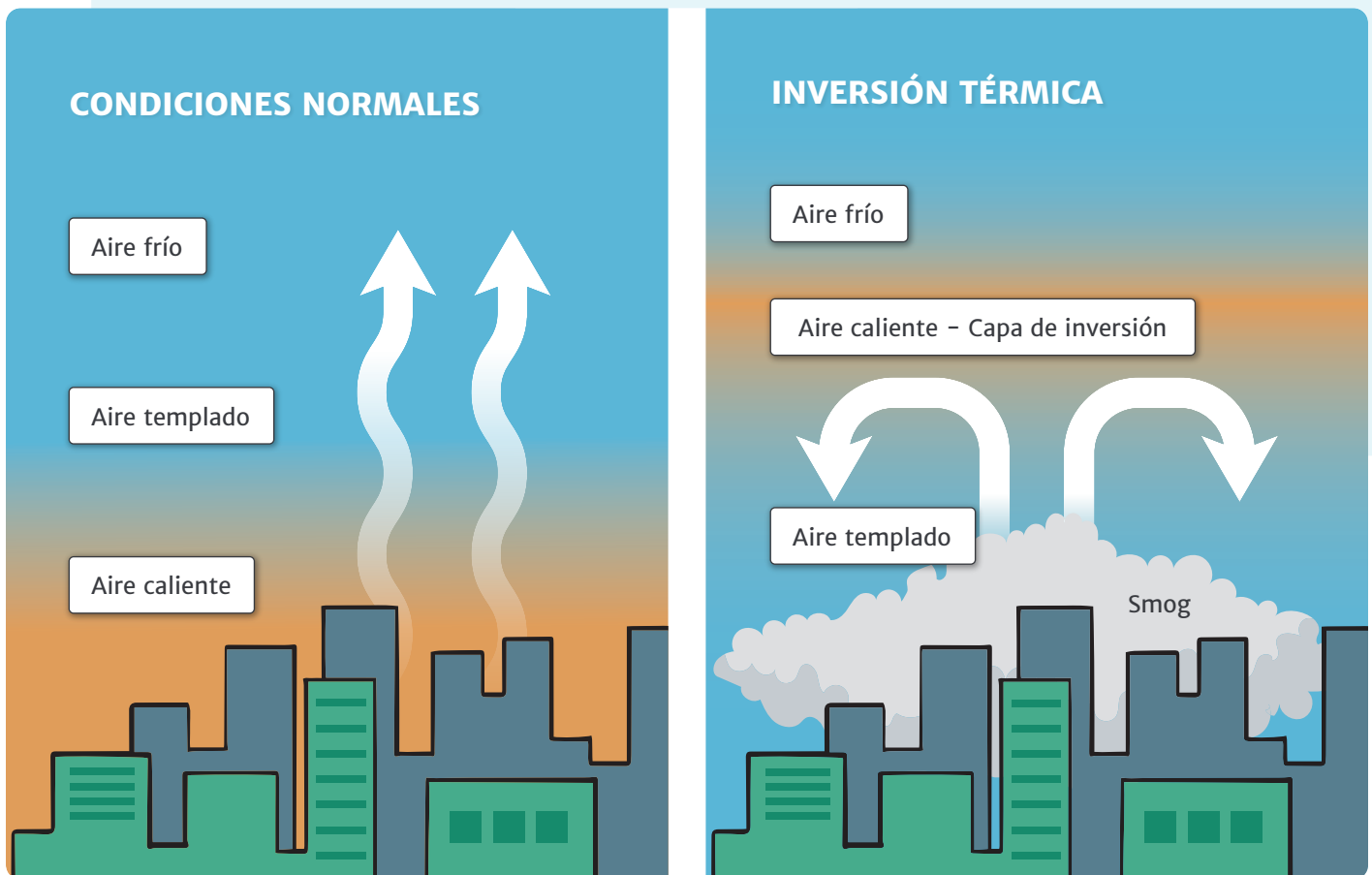


3.2.

INVERSIÓN
TÉRMICA

En algunas regiones, especialmente en los valles, se puede presentar mala calidad del aire durante la “inversión térmica”. En condiciones normales, la temperatura del aire baja a mayor altitud. Pero a veces sucede lo contrario: las altitudes más bajas de la atmósfera tienen temperaturas más frías y el aire caliente (capa de inversión) está por

encima del aire más frío. Este desequilibrio térmico hace que los contaminantes permanezcan atrapados y se concentren en la capa inferior de aire. Los niveles de contaminación del aire aumentan en condiciones de inversión térmica, a veces de manera muy dramática, afectando la salud pública y el ambiente.



<https://lotusarise.com/temperature-inversion-upsc/>



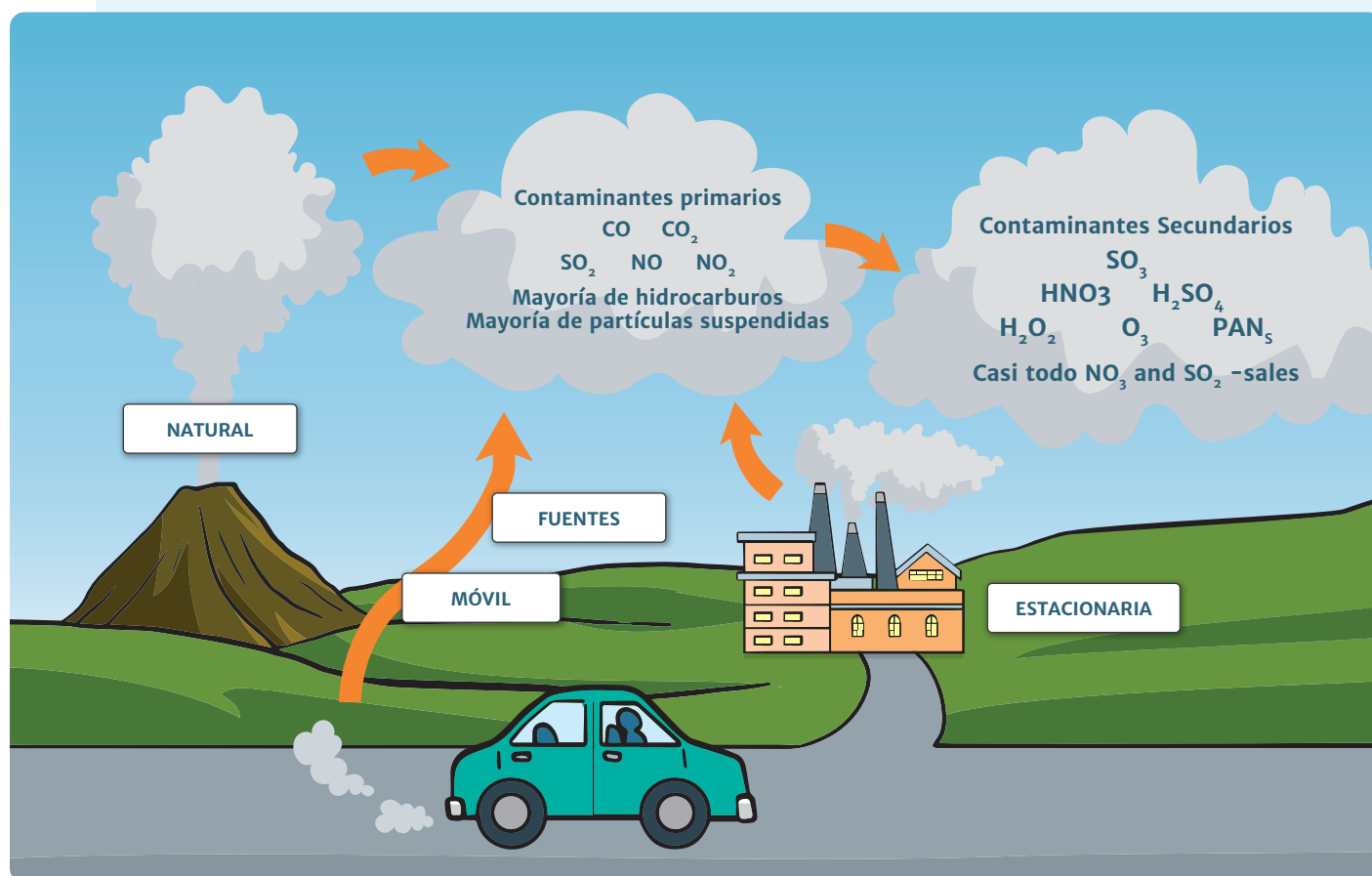
4. ¿La Calidad del Aire y las Regulaciones?

4.1.

CONTAMINANTES DEL AIRE PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Los reguladores generalmente dividen los contaminantes del aire en dos grandes categorías. Los contaminantes del aire que se emiten directamente desde una fuente en particular se denominan **contaminantes primarios**, como monóxido de carbono de los motores a combustión. **Los contaminantes secundarios** en cambio se forman como resultado de reacciones químicas entre

sí. Algunos ejemplos son el ozono, O_3 , la lluvia ácida y el smog fotoquímico. Los contaminantes secundarios del aire como el ozono son más difíciles de controlar porque podrían formarse de muchas maneras que no siempre son predecibles, como el smog fotoquímico, pero deben ser manejados indirectamente para reducir las emisiones de sus precursores.



4.2.

CONTROLANDO Y EVALUANDO LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

En principio, existen dos formas de monitorear la contaminación del aire: la primera es mediante la **toma de muestras ambientales** del aire alrededor de usted o una comunidad; la segunda es tomar muestras directamente de las emisiones de las chimeneas, tubos de escape de gases u otras fuentes de emisión de contaminantes del aire.

En el caso de una fábrica, planta de energía o cualquier otra fuente estacionaria, los reguladores han establecido **estándares de emisión** para regular la cantidad de contaminantes que pueden ser liberados –por ejemplo, la cantidad de benceno que puede emitirse a la atmósfera desde una fábrica. Estos estándares de emisión tienden a ser muy técnicos, y dependen del tipo específico de tecnologías de control de emisiones disponibles. La muestra de una fuente de emisión puede tomarse desde la fuente puntual (por ejemplo, una chimenea) y nos da información directa si se ha cumplido con el estándar de emisión o no.

Pero el aire que respiramos incluye las fuentes estacionarias y móviles (tales como automóviles y camiones). Proteger la salud de las personas y del ambiente requiere por lo tanto que consideremos la cantidad total de contaminantes en el aire alrededor de nosotros – **contaminación ambiental**. Muchos gobiernos han definido estándares para un pequeño grupo de contaminantes ambientales, y requieren que los gobiernos locales cumplan con estos estándares. Esto puede ser extremadamente difícil si los contaminantes provienen de fuentes que

se encuentran en lugares distantes –tales como el MP de plantas de energía a carbón, o el polvo transportado por el aire desde fuera de una ciudad. Además, por lo general no se puede establecer con exactitud cuales ha sido las fuentes que han contribuido con algún contaminante en particular: puede ser difícil determinar si los altos niveles de dióxido de azufre provienen de los camiones de una ciudad o de una industria de una ciudad cercana, o de plantas de energía a carbón que se encuentran a gran distancia.

Debido a que los estándares ambientales se refieren a la contaminación del aire alrededor nuestro, y por lo tanto el aire que respiramos, estos son usualmente los más importantes para la protección de la salud pública. Las muestras ambientales pueden ser fáciles de tomar, por ejemplo, mediante la toma de un litro de aire en una bolsa de plástico y enviarla a un laboratorio. Para tomar muestras desde el/los puntos de emisión directamente, se requiere por lo general el acceso a la fuente de emisión (la chimenea, el tubo de escape, punto de emisión, etc.).

En la mayoría de los casos, cuando tome una muestra de aire, usted podrá comparar las concentraciones que encuentre en su muestra con los niveles seguros definidos por el gobierno de su país o localidad, o por alguna entidad como la Organización Mundial de la Salud (OMS).² Tome en cuenta que la mayoría de los estándares de calidad del aire se refieren a promedios por unidad de tiempo, los que veremos en las secciones más adelante.

2. Las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para los contaminantes relacionados con los combustibles fósiles pueden encontrarse en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)



5. Métodos de muestreo de aire de bajo costo para comunidades

Existe una amplia gama de métodos y equipos para recolectar muestras de aire. Cada uno tiene pros y contras dependiendo de los parámetros a

analizar, las condiciones de ubicación, el sitio de muestreo y el presupuesto del proyecto.

5.1. PLANIFICACIÓN

Antes de realizar cualquier muestreo, es muy importante desarrollar un buen plan

de muestreo. Su plan debe abordar los componentes descritos a continuación.

Definir los Objetivos del Muestreo

Esta puede ser la pregunta más importante de todas, y debe considerarse cuidadosa y estratégicamente.

En primer lugar, debe distinguirse entre el muestreo (toma de muestra una vez o un número limitado de veces) y el monitoreo (un proceso continuo de muestreo para un seguimiento de la contaminación a lo largo del tiempo). Es posible que simplemente desee averiguar si hay un contaminante tóxico del aire, en cuyo caso la colección o toma de unas pocas muestras pueden ser suficientes. Es posible que usted desee saber si la contaminación del aire en su comunidad excede las guías de la OMS, en cuyo caso muchos necesitan muchos días (o incluso un año) de muestras. Si desea saber si la creación de un sistema de transporte público reduce las cantidades de contaminación del aire ambiente en su ciudad, es posible que necesite años de datos para ver las tendencias a largo plazo.

Si el propósito de la toma de muestra es comparar el aire de su región con los estándares de la OMS o su gobierno nacional, debe tener en cuenta que los métodos que esté utilizando para el muestreo sean aceptables. Un equipo de monitoreo de contaminación del aire de bajo costo puede ser perfecto para identificar días de calidad del aire buena y mala, pero si lleva estos números al gobierno o a un tribunal, es posible que no confíen en sus resultados. Antes de tomar muestras, asegúrese de que sus muestras y los métodos analíticos de su laboratorio sean aceptables para la comparación con los estándares que usará como referencia (nacionales, locales, guías internacionales).

Finalmente, considere cómo usará los resultados que obtenga. Si está convencido de que la calidad del aire es muy mala, o que una fábrica está emitiendo una sustancia química tóxica en particular, considere: ¿Qué sucederá si toma muestras en un día cuando la contaminación del aire está baja, o cuando la fábrica está cerrada, y sus resultados no respaldan su caso? Es posible que sus resultados de contaminación del aire no proporcionen tanta evidencia como espera; por lo tanto, su muestreo del aire debe ser solo una parte de un plan más grande.



Seleccionar los Parámetros

Esta es una cuestión muy importante, aunque no siempre es fácil de abordar. El tipo de contaminante que muestrea para analizar depende del tipo de fuente de contaminación, así como de los impactos en la salud humana y el medio ambiente que más le preocupan.

Muchas personas asumen o desean que un laboratorio analice todos los parámetros posibles en una muestra de aire. Lamentablemente, no es así. Muchos métodos de análisis están diseñados para buscar solo un contaminante: PM, O₃ o CO. Cuando se busca una sustancia química tóxica específica en el aire (por ejemplo, tricloroetileno), es probable que el método analítico también revele compuestos estrechamente relacionados a este (como el percloroetileno). Pero un análisis químico casi nunca puede encontrar una sustancia química que no se le ha indicado al laboratorio específicamente que se busque. Por lo tanto, deberá elegir tanto al laboratorio como su método de análisis para adaptarse mejor a los tipos de contaminantes que le interesan. En caso de duda, discuta estos temas con expertos en su laboratorio, o hable con un científico del personal de ELAW:

- ¿Le preocupa la contaminación del aire urbano causada por los vehículos? Analice O₃ y PM_{2.5}.
- ¿Le preocupa la contaminación de los vehículos diésel? Analice PM_{2.5}.
- ¿Le preocupa la contaminación de una planta de energía a carbón, gas o petróleo? Analice los contaminantes criterio: PM_{2.5}, NOx, SOx y O₃.
- ¿Le preocupa que la gasolina u otros combustibles fósiles se evaporen de una instalación de almacenamiento? Usted querrá realizar pruebas de benceno y otros hidrocarburos de bajo peso molecular relacionados con la gasolina.
- ¿Le preocupa un tipo específico de contaminación atmosférica procedente de una fábrica? Es posible que deba consultar a un experto para decidir qué contaminantes son los más apropiados.

Finalmente, ¡tenga presente buscar algo que pueda encontrarse en el aire! Muchas sustancias químicas tóxicas son "no volátiles" o "semivolátiles" y no permanecerán en el aire por mucho tiempo. Por ejemplo, los pesticidas son típicamente semi volátiles y se asentarán rápidamente del aire hacia el suelo. En este caso, incluso si le preocupa la fumigación aérea de pesticidas, puede ser más prudente muestrear el suelo en lugar del aire.

Definir los Puntos de Toma de Muestras

Elegir un lugar de toma de muestra es su próximo desafío. Si desea averiguar si una fábrica en particular está emitiendo isocianato de metilo, querrá tomar muestras cerca de la fábrica (asegúrese de considerar la dirección del viento). Si está interesado en los impactos de la contaminación en una comunidad, es posible que desee probar un lugar central en la comunidad, como en un parque. Tenga presente que la ubicación del/los puntos de muestreo estén a una altura razonable sobre el suelo (altura donde las personas o los animales puedan respirar) y que no esté rodeada de edificios altos o numerosos árboles, considere también que no estén directamente expuestos a fuertes vientos.



5.2.

MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRAS DE AIRE

Existe una amplia gama de métodos de toma de muestras de aire de diferentes niveles de precisión. Esta guía no describe todos los métodos de muestreo de aire disponibles, en cambio, se centra en métodos básicos de toma de muestras de bajo costo accesibles para comunidades y organizaciones no gubernamentales (ONGs).

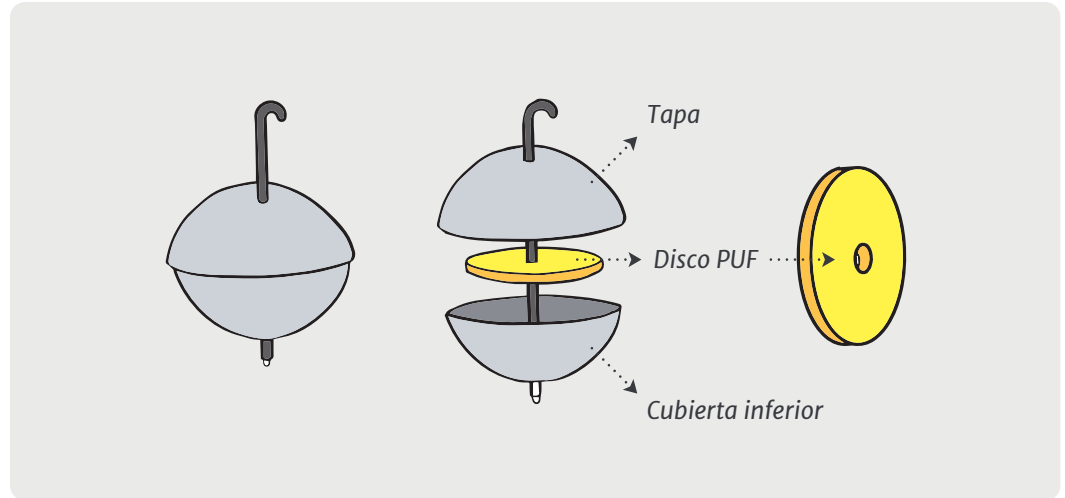
Durante la etapa de planificación, es importante comparar no solo los métodos de muestreo, sino también considerar su costo, operación y necesidades logísticas en función de los objetivos generales del proyecto de muestreo.

MÉTODO	PROS	CONTRAS
Muestreo pasivo	Bajo costo para estudios de área. Fácil de usar.	No es aplicable para todos los contaminantes. Requiere un laboratorio para su análisis. Bueno para promedios a largo plazo (semanas/meses).
Muestreo activo	Dependiendo del equipo, podría ser de bajo costo y fácil de usar. Confiable y puede proporcionar promedios diarios.	Menos fácil de usar y más costoso. Necesita análisis de laboratorio que podrían aumentar los costos.
Sensor en tiempo real de bajo costo	Podría ser portátil, costo moderado.	La precisión y la fiabilidad pueden variar dependiendo del equipo.

Muestreadores de Aire Pasivos

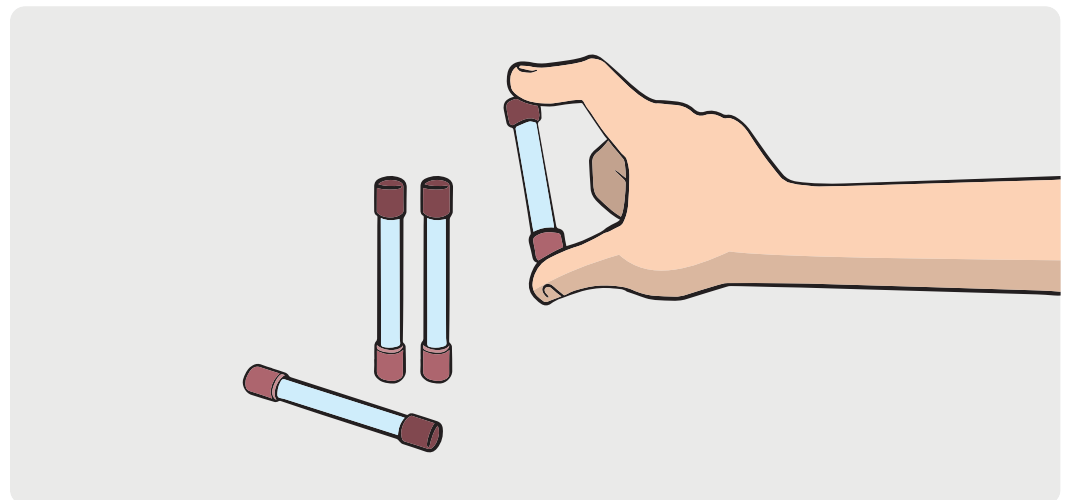
Los muestreadores de aire pasivos recogen las muestras de contaminantes en un medio absorbente sin necesidad de equipos mecánicos adicionales. Por ejemplo: los filtros de poliuretano (PUF) pueden utilizarse para absorber el aire durante un período de días. Después de ser analizados en un laboratorio, estos muestreadores pasivos proporcionarán datos cualitativos y cuantitativos sobre los contaminantes en la muestra.



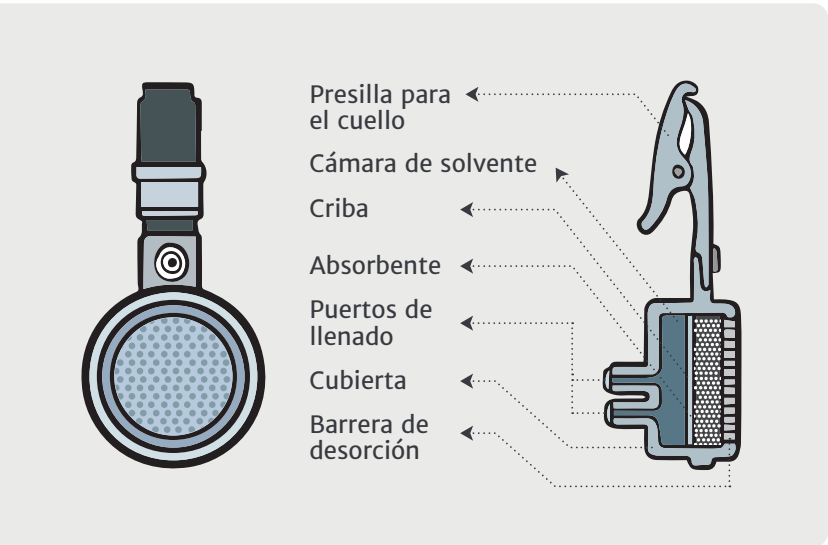


TUBOS DE DIFUSIÓN

Los muestreadores pasivos se utilizan con frecuencia en interiores y exteriores. Se pueden usar para tomar muestras de dióxido de nitrógeno, benceno, tolueno, xileno, 1,3-butadieno, dióxido de azufre y muchos otros compuestos.



DISPOSITIVO
TIPO INSIGNIA





Muestreadores de Aire de Bajo Costo

El muestreo activo de aire requiere una bomba para recoger la muestra de aire, la cual se deposita en un recipiente. Los muestreadores activos más simples toman una muestra de aire en un recipiente sellado, que luego se puede enviar a un laboratorio para su análisis. Otros dispositivos de muestreo activo utilizan un medio de recolección de muestras para absorber los contaminantes del aire. Existe una amplia gama de modelos, que pueden usar sílice u otro medio absorbente en un tubo o pueden usar casetes precargados listos para insertar en el equipo de muestreo.

LA BRIGADA DEL BALDE

Grupos organizados de ciudadanos preocupados por la calidad del aire han utilizado equipos de muestreo de calidad del aire de bajo costo para analizar los contaminantes ambientales. Un ejemplo es la Brigada del Balde (Bucket Brigade)³ la comunidad de Mossville en la Parroquia Calcasieu, en el estado de Luisiana, EE. UU. La Brigada del Balde comenzó a tomar muestras de aire usando baldes (llamados también cubos) en septiembre de 1998 y pudo detectar violaciones de las normas de calidad del aire para cloruro de vinilo, EDC, benceno (un carcinógeno) que excedieron más de 200 veces el estándar estatal.

La Brigada del Balde de Luisiana⁴ describe así el equipo que utilizaron:

“El balde (cubo) es una versión de USD \$75 de un dispositivo mucho más caro, un recipiente de \$ 2,000. El aire se introduce en una bolsa de un plástico no reactivo (Tedlar), de \$ 15, dentro del balde [cubo]. Una vez tomada la muestra de aire, se cierra una válvula que se instala en la bolsa y la bolsa se envía de inmediato a un laboratorio para su análisis.”

Comunidades por un Mejor Medio Ambiente (CBE) y la Red Nacional de Acción de Refinerías de Petróleo (NORAN) publicaron el "Manual de la Brigada del Balde" (1998) con los pasos para construir un balde⁵ y cómo organizar una Brigada de Balde con las personas interesadas.

3. <https://labucketbrigade.org/pollution-tools-resources/the-bucket/> #

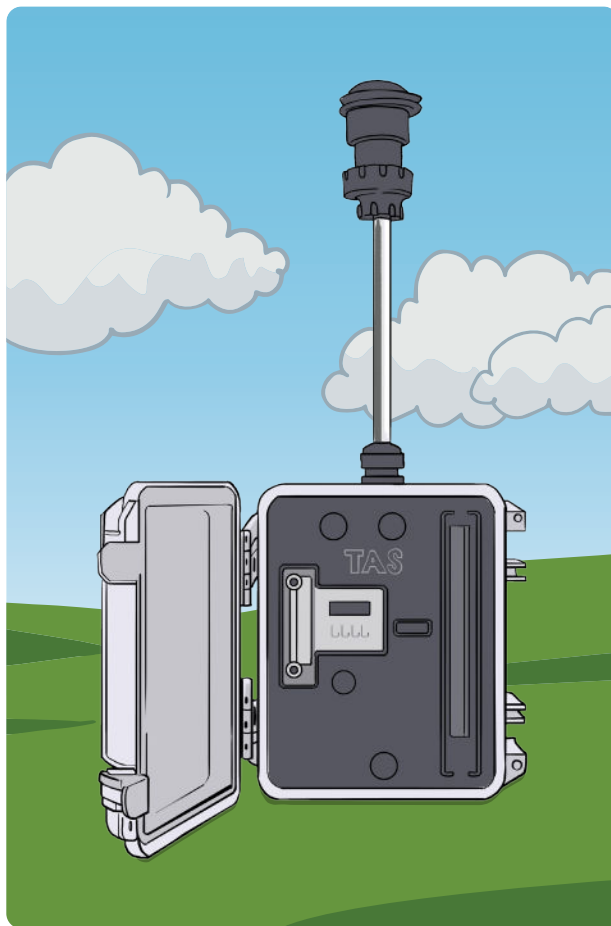
4. Ibid

5. Gradow, K. (2020). Cómo funciona el cubo: <https://publiclab.org/notes/kgradow1/06-09-2020/how-the-bucket-works>



MINIVOL

Un equipo para la toma de muestras de aire bastante confiable y usado con frecuencia es el MiniVol. Con frecuencia estos equipos están disponibles para rentar. Este equipo bombea una muestra de aire a través de un filtro por un periodo de tiempo determinado previamente (por ejemplo, 24 horas). El filtro se envía a un laboratorio para análisis. Si bien no es tan preciso como los métodos de referencia, esta es una opción que puede brindar datos de alta calidad y confiabilidad.



5.3.

EQUIPOS PARA TOMA DE MUESTRA EN TIEMPO REAL

En algunos casos los equipos para la toma de muestra que están disponibles pueden dar los resultados en tiempo real, sin la necesidad de enviar las muestras a un laboratorio. Estos equipos con frecuencia son más caros que otros equipos colectores de muestras, pero cada año hay nuevos equipos a precios cada vez más accesibles. Si desea utilizar un

equipo de toma de muestra en tiempo real, asegúrese de compararlo con los resultados que ofrecen los equipos oficiales, basados en los que usan los laboratorios. No obstante, los equipos tomadores de muestra en tiempo real pueden darle información muy importante.



MONITOR CON BOMBEO DE AIRE DE PRECIO MODERADO

El pequeño monitor de aerosol operado a baterías puede portarse (para evaluar la exposición de una persona al MP_{10} o $MP_{2.5}$), o puede colocarse en un área ocupada normalmente por personas, para evaluar la calidad del aire en interiores (por ejemplo, comparar las emisiones de distintos tipos de cocinas). Tales equipos son menos precisos que los que usan las agencias regulatorias o gobiernos, y no deben ser aceptados como evidencia por una entidad regulatoria o corte. Sin embargo, estos equipos han sido utilizados en estudios científicos por mucho tiempo.

Zona de respiración



MONITOR PORTÁTIL DE BAJO COSTO

La caída de los precios de la tecnología de los insumos de cómputo cada vez de menor tamaño permite contar ahora con nuevos métodos de muestreo. Numerosas compañías como Purple (en los EE. UU.) y Prana Air (en India) venden monitores portátiles de muy bajo costo que pueden usarse en el hogar. Estos pueden medir $MP_{2.5}$, CO y O_3 . Estos aparatos son de precio accesible y dan datos extensamente. Si bien estos equipos están siendo utilizados con mayor frecuencia por investigadores en estudios de campo, es improbable que las agencias reguladoras de los gobiernos o las cortes acepten los datos generados por estos equipos simples.



6. Planeando el Procedimiento de Toma de Muestras

6.1.

CONSIDERACIONES GENERALES

Le aconsejamos que hable con sus expertos de laboratorio y aliados científicos para ayudarlo a planificar y elegir los mejores métodos de muestreo de aire para sus necesidades.

Algunas consideraciones importantes son:

- Para una **muestra de aire en general**, es posible que deba tomar un volumen específico de aire, tal vez unos pocos litros, y enviarlo a un laboratorio para su análisis. Esto se puede hacer con un recipiente (como el recipiente tradicional de acero inoxidable Summa) o, a veces, con una bolsa de plástico. El recipiente de la muestra puede calibrarse para llenarse durante un período de tiempo específico, como 2 o 24 horas. Los métodos y requisitos de muestreo específicos serán especificados por su laboratorio. Una descripción general de un muestreo de recipiente / bolsa, puede encontrarse en: https://www.eurofinsus.com/media/161448/guide-to-air-sampling-analysis-2014-06-27_revised-logos.pdf.
- Para **algunos los contaminantes del aire, especialmente para contaminantes comunes como el O₃** puede haber disponible equipos de monitoreo continuo, aunque pueden ser costosos. Estos equipos pueden ser portátiles o colocarse en un trípode durante un día a una semana. En algunos casos, se puede alquilar el equipo de monitoreo que necesita durante una semana más o menos. Hable con

su experto de laboratorio o con los científicos de ELAW sobre equipos de monitoreo específicos.

- Para el **análisis de partículas, metales tóxicos y algunos compuestos de carbono**, el método de muestreo más común es extraer aire a través de un filtro pequeño durante 24 horas (o algún otro período) a una velocidad predefinida utilizando una bomba de aire, como una MiniVol, que a menudo está disponible para alquilar. Un aditamento tipo "impulsor" unido a la boquilla del muestreador determina el tamaño de las partículas recogidas por los filtros, con impulsores de tamaño PM₁₀ y PM_{2.5} –existen aditamentos para recoger muestras de esos tamaños específicos. Después de tomar las muestras de aire con los aditamentos correspondientes, los filtros se envían a un laboratorio especial para su análisis. Dado que el peso de los filtros se mide previamente, el peso de los filtros después de la recolección de muestras se puede convertir directamente en la concentración de partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) en el aire. Además, si se utilizan filtros de teflón o cuarzo, se pueden emplear métodos analíticos adicionales en el laboratorio para medir las concentraciones en las muestras de aire de metales tóxicos y otros elementos (utilizando fluorescencia de rayos X) y carbono elemental (CE) asociado con el humo diesel (utilizando un analizador de carbono térmico/óptico).



- Para algunos contaminantes, como $PM_{2.5}$ y O_3 , puede haber pequeños muestreadores alimentados por batería disponibles (como los monitores "AirNow" o "PurpleAir", o los monitores "Airveda" de bajo costo fabricados en la

India). Es probable que estos equipos de monitoreo sean mucho menos precisos que otros métodos, pero pueden ser suficientes para darle una idea de los niveles de contaminación.

6.2.

TAMAÑO DE LA MUESTRA Y DURACIÓN DEL MUESTREO

El tamaño y la duración del muestreo serán determinados por el método de toma de muestra y por los objetivos del muestreo. Esto puede ser un **breve muestreo** de unos pocos litros de aire, un **promedio de 10 minutos** con un monitor portátil $PM_{2.5}$ o una **muestra de 24 horas** con un recipiente calibrado. En muchos casos, una muestra de 10 minutos es adecuada para obtener una buena idea de la contaminación del aire en el momento en que se tomó la muestra.

En otros casos, es posible que desee participar en el **monitoreo**: tomar varias muestras durante un período continuo para verificar si hay cambios en los niveles de contaminantes o para identificar la presencia ocasional de contaminantes específicos (como con una fuga de emisiones de gases de una fábrica). El monitoreo generalmente requiere un esfuerzo continuo, incluido el tiempo y la financiación del personal, para

tomar muestras regularmente, analizarlas e informarlas regularmente.

Para algunos contaminantes, especialmente $PM_{2.5}$ y O_3 , puede haber diferentes regulaciones o pautas para muestras de 1 hora, 24 horas o incluso 1 año. Por ejemplo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la concentración promedio de $PM_{2.5}$ durante todo un año no debe exceder los 5 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$). No es inusual encontrar algunos días de mal aire que están muy por encima de este nivel. Por lo tanto, la guía de la OMS para un solo promedio de 24 horas es de $15 \mu g/m^3$. Para el O_3 , sin embargo, la OMS especifica promedios de 8 horas y máximos de 8 horas. Considere cuidadosamente la longitud de tiempo del muestreo para asegurarse de comparar sus muestras con un estándar apropiado.

6.3.

CUÁNDO TOMAR LAS MUESTRAS

Decidir cuándo tomar muestras es una parte importante del rompecabezas. ¿Se debe tomar muestras solamente una vez, varias veces o durante muchos meses o años?

(Ver la definición de muestreo vs monitoreo arriba). ¿Está tratando de medir un nivel promedio de contaminación, o está tratando de registrar la emisión de contaminantes



gaseosos repentinos desde una fábrica? Conocer el propósito de su proyecto de muestreo le ayudará a decidir cuándo y con qué frecuencia tomará muestras.

En muchos casos, las consecuencias de la contaminación del aire en la salud humana pueden depender del tipo de exposición: a corto plazo (aguda) y a largo plazo (crónica). Una sola emisión repentina de algún gas tóxico de una fábrica es una exposición aguda, y su muestra puede ayudar a demostrar las causas. Por el contrario, la contaminación de fondo del aire proveniente de automóviles y camiones en una ciudad que afecta a los residentes durante meses y años se trata de una exposición crónica.

En este último ejemplo, no está interesado en un pico repentino de contaminación del aire, sino en un promedio a largo plazo.

Finalmente, tenga cuidado y preste atención a las condiciones del clima y los patrones de viento durante su muestreo. Un viento fuerte puede expulsar la contaminación de un área, o una inversión térmica (ver definición en una sección anterior) puede atrapar el aire en un valle que conduce a altos niveles de contaminación por un breve tiempo. Debe notar y documentar los patrones climáticos en los días que se toman las muestras de aire para ayudar en la interpretación de sus resultados.

7. Ejemplo de Formulario de Cadena de Custodia

Siempre que tome una muestra ambiental, debe tener cuidado de llevar un registro detallado del procedimiento de toma la muestra (ubicación, hora, duración, método de muestreo, etc.) y su manejo. Este procedimiento y el formulario de **cadena de custodia** (CC) sirve para documentar detalladamente todo el proceso de muestreo,

el manejo y transporte de las muestras y sirve para para hacer un seguimiento posterior, o demostrar que los datos corresponden a la muestra correcta. Por esto es útil llenar un formulario CC en cada muestreo con todos los pasos del procedimiento.



CADENA DE CUSTODIA								
1. TOMA DE MUESTRAS							2. MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
			COORDENADAS				Lugar de almacenamiento de las muestras	
Número de muestra	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Etiqueta	Notas	Temperatura	
							Fecha y hora de almacenamiento	
							Fecha y hora del transporte	
							Nombre de persona a cargo	
							Firma	
							Notas:	
Persona a cargo								
Firma								
3. ENVÍO DE LAS MUESTRAS (SI ES NECESARIO)								
Enviado por							4. RECEPCIÓN DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO	
Fecha							Recibido por:	
Hora							Fecha:	
Nombre de empresa de envío							Hora:	
Notas:								



Guías de Calidad del Aire: OMS, UE, Australia, EE. UU. y Canadá

Contaminante	OMS (a)	Unión Europea (b)	Australia (c)	EE.UU. (d)	Canadá (e)
Ozono (1 h)			0.1 ppm		--
Ozono (8 h)	100 µg/m³	120 µg/m³ (no exceder más de 25 días/año)	--	0.070 ppb	62 ppb
Material Particulado 2.5, (24 h)	15 µg/m³	--	25 µg/m³	35 µg/m³	27 µg/m³
Material Particulado 2.5 (anual)	5 µg/m³	25 µg/m³	8 µg/m³	12 µg/m³	8.8 µg/m³
Material Particulado 10 (24 h)	45 µg/m³	50 µg/m³	50 µg/m³	150 µg/m³	--
Material Particulado 10 (anual)	15 µg/m³	40 µg/m³	--	--	--
Dióxido de azufre (1 h)		350 µg/m³			70 ppb
Dióxido de azufre (24 h)	40 µg/m³	125 µg/m³ (no exceder más de 3 días/año)	80 ppb	75 ppb	
Dióxido de azufre (anual)		--			5 ppb
Dióxido de nitrógeno (1 h)	200 µg/m³	200 µg/m³			
Dióxido de nitrógeno (24 h)	25 µg/m³	--	--		--
Dióxido de nitrógeno (anual)	10 µg/m³	40 µg/m³	0.03ppm	53 ppb	17 ppb
Monóxido de carbono (1 h)	35 mg/m³	--	--	35 ppm	--
Monóxido de carbono (8 h)	10 mg/m³	10 µg/m³	9 ppm	9 ppm	--
Monóxido de carbono (24 h)	4 µg/m³	--	--		--



Contaminante	OMS (a)	Unión Europea (b)	Australia (c)	EE.UU. (d)	Canadá (e)
Plomo	--	0.5 µg/m ³ (anual)	0.5 µg/m ³	1.5 µg/m ³ No debe excederse	--

- (a) OMS (2021). Guías de calidad del aire. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- (b) Agencia Europea del Ambiente. Estándares de calidad del aire. https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_es
- (c) Australia: Estándares de Calidad del Aire. <https://transportpolicy.net/standard/australia-air-quality-standards>
- (d) EPA NAAQS. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- (e) CCME Canadian Ambient Air Quality Standards (CAAQS). <https://ccme.ca/en/air-quality-report>

Directivas de la Unión Europea de Calidad de Aire y Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

8. Análisis e Interpretación de Resultados

8.1.

UNIDADES DE ANÁLISIS

Los estándares nacionales de calidad del aire y las directrices internacionales están en unidades de partes por millón (ppm) por volumen, partes por billón (ppb) por volumen⁶, y microgramos por metro cúbico de aire (µg/m³).

Los seis parámetros más utilizados para la calidad del aire (llamados contaminantes atmosféricos "criterio") incluyen monóxido de carbono, plomo, ozono troposférico (a nivel del suelo), material particulado, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

6. Una parte por millón (1 ppm) equivale a un gramo de un contaminante en 1.000.000 gramos de suelo, o 1 centímetro cúbico de aire en 1.000.000 centímetros cúbicos.

8.2.

RESULTADOS SIMPLES: PROMEDIOS Y SERIES TEMPORALES

Una vez que haya recopilado sus datos o recibido sus resultados del laboratorio, deberá poder interpretar y presentarlos de manera que otros usuarios puedan comprender lo que dicen. En la mayoría de los casos, esto significa utilizar las herramientas estadísticas adecuadas para demostrar que sus datos son de buena calidad y no un simple resultado fortuito.

Si tiene un solo resultado, o solo unos pocos resultados, es posible que pueda compararlos directamente con los

estándares de referencia o reglamentarios. Por ejemplo, una sola muestra que informe de la presencia de tricloroetileno (TCE) en el aire de su edificio puede ser convincente por sí sola, si no se permite la presencia de TCE en ningún nivel.

Para comparar muchas muestras, o un número de muestras tomadas durante un período de tiempo, generalmente será útil tomar un promedio (o media) de los datos. Puede calcular esto en Excel o Google Sheets utilizando la fórmula 'PROMEDIO'.

8.3.

COMPARACIÓN Y PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Cuando compare sus datos con otro número (datos de otra muestra o un norma nacional), también tener alguna medida de la calidad de sus datos. Por ejemplo, si toma diez muestras de aire en una hora, es posible que desee publicar el valor promedio, junto con la desviación estándar (que puede calcular en Excel con la fórmula 'STDEV' o 'DESVEST'). La desviación estándar es una medida de la variabilidad de los datos. Si reporta sus resultados de contaminación del aire con un valor de 50 y con una desviación estándar de 20, esto significa que no es raro que sus datos sean tan bajos como 30 o tan

altos como 70. Por el contrario, 50 con una desviación estándar de 2 significa que la mayoría de los datos se encuentran entre 48 y 52, lo que implica que sus mediciones son bastante consistentes.

Hay muchas otras formas de describir la variabilidad en sus datos (rangos del 90%, intervalos de confianza, varianza de la muestra, etc.). Deberá utilizar la medida más adecuada para su conjunto de datos. En general, sin embargo, es útil presentar dicha medida junto con sus datos.



9. Próximos Pasos en el Análisis Estadístico y la Presentación de Resultados

Existe un sinnúmero de formas de presentar sus datos, y no podemos revisarlas todas aquí. Si está usando sus resultados para tener una idea sobre el grado de contaminación, o para uso personal, el valor de un promedio simple puede ser suficiente. A medida que quiera tener mayor impacto con los datos obtenidos, mayor será la presión para asegurarse que las muestras han sido tomadas y analizadas de la manera más adecuada y precisa posible. Si tiene intenciones de usar los resultados en un caso legal o normativo, puede tener que limitarse a utilizar el/los método(s) de referencia aprobados por el gobierno. Cualquier otro método menos preciso puede ser declarado inválido por el gobierno o la corte.

En caso de necesitar ayuda para escoger los métodos de muestreo y análisis, es aconsejable consultar con un/a experto/a local (posiblemente en la facultad de química o estadística de una universidad local). Estos pueden estar dispuestos/as a asesorarlo informalmente, o incluso a analizar sus datos con mayor precisión.

Si tiene problemas para empezar, o si le gustaría discutir sobre el alcance de los métodos del muestreo y sus objetivos, considere hablar con alguno/a de los científicos/as de ELAW.

Unas formas comunes de analizar y presentar los datos de contaminación del aire se presentan a continuación.



Series Temporales

Si tiene muchos datos a lo largo del tiempo, por ejemplo, semanas de contaminación del aire, medidas cada 10 segundos, es posible que desee "suavizar" sus datos para reducir la variabilidad. Excel le permitirá trazar un "promedio móvil", que a menudo es una buena (aunque simple) forma de ver los datos suavizados. Asegúrese de seleccionar 'Línea de tendencia' en su gráfico.

Limpieza de Datos

Si tiene puntos cuyos datos no tienen sentido, es posible que deba "limpiar" sus datos. Por ejemplo, si sus mediciones de contaminación del aire por hora promedian alrededor de 50, pero de repente se disparan a 1000 o bajan a -50, es posible que haya tenido una falla en su equipo o en el análisis. Eliminar puntos que son realmente incorrectos es bueno, y sus resultados serán más consistentes. Sin embargo, manipular los datos de esta manera es peligroso y puede estar sesgando sus resultados. En general, si necesita eliminar datos, es mejor explicar qué eliminó y por qué.





Pruebas Estadísticas

En la mayoría de los casos prácticos, su audiencia querrá saber si sus datos son "estadísticamente significativamente diferentes" comparados con los datos de otra persona. Si usted midió la contaminación del aire en 50 pero el gobierno la midió en 40, ¿sus resultados son realmente diferentes? Si sus mediciones promediaron 50 con una desviación estándar de 2, donde la mayoría de sus datos cayeron entre 48 y 52, entonces sí, parecen ser diferentes. Si sus mediciones promediaron 50 con una desviación estándar de 20, donde la mayoría de sus datos cayeron entre 30 y 70, entonces no está claro que sus resultados sean muy diferentes a los del gobierno.

Las pruebas estadísticas son un campo complejo, matizado y polémico. Si no necesita presentar una prueba estadística, no lo haga, deje que los datos hablen por sí mismos. Si, por otro lado, se le dice que sus datos no tienen sentido porque no son estadísticamente significativos, es posible que desee encontrar un/a experto/a que pueda ayudarlo/a a comprender si ese es realmente el caso o si hay alguna otra interpretación.



Glosario

ATMÓSFERA	La mezcla de gases que rodea la Tierra o algún cuerpo celeste. Está sostenido por la fuerza de la gravedad y forma varias capas a diferentes altitudes. También podría referirse a una unidad de presión equivalente a la presión del aire a nivel del mar, aproximadamente 14.7 libras por pulgada cuadrada o 1.01 Bar.
BENCENO	Hidrocarburo líquido volátil incoloro presente en combustibles fósiles, como el petróleo y el alquitrán de hulla, y utilizado en la síntesis química de algunos procesos industriales. Es un carcinógeno conocido.
CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL	La calidad del aire exterior en nuestro entorno circundante. Por lo general, se mide cerca del nivel del suelo, lejos de fuentes directas de contaminación ⁷ .
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	Grupo de compuestos orgánicos que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente ordinaria.
CONTAMINANTE	Un contaminante es una sustancia que está presente en concentraciones que pueden dañar a los organismos (humanos, plantas, animales) o exceder un estándar de calidad ambiental.
CONTAMINANTES PELIGROSOS DEL AIRE	Contaminantes conocidos por causar cáncer y otros impactos graves en la salud. La Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos requiere que la autoridad ambiental (Agencia de Protección Ambiental – EPA) regule los contaminantes tóxicos del aire como el benceno (que se encuentra en la gasolina), el percloroetileno (emitido en algunas instalaciones de limpieza en seco), el cloruro de metileno (utilizado como solvente y decapante de pintura), la dioxina, el asbesto, el tolueno y metales como el cadmio, el cromo, el plomo y el mercurio, entre otros ⁸ .
CUENCA ATMOSFÉRICA	Un área rodeada total o parcialmente por montañas que en ausencia de viento retiene aire y smog dentro del área.

7. www.eionet.europa.eu

8. www.epa.gov



DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)	Un gas incoloro, inodoro y no venenoso formado por la combustión de carbono y en la respiración de organismos vivos y es un gas de efecto invernadero. La quema de combustibles fósiles, el consumo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como la quema de gas, son fuentes importantes de CO ₂ ⁹ .
EMISIONES (DE GASES)	La liberación de gas o vapor a la atmósfera.
EMISIONES FUGITIVAS	Gases de emisión debidos a fugas y otras emisiones no intencionadas o irregulares de gases, principalmente de actividades industriales.
FUENTE ESTACIONARIA	Una fuente de contaminación del aire cuya ubicación es fija, como plantas de energía de combustibles fósiles, refinerías de petróleo / gas, fundiciones mineras u otras fuentes industriales o domésticas.
FUENTE MÓVIL DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	Incluye cualquier contaminación del aire emitida por vehículos motorizados que se pueden mover, como automóviles, camiones, aviones, motores, barcos, vehículos motorizados recreativos, etc.
GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)	Constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie, la atmósfera y las nubes de la Tierra. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H ₂ O), el dióxido de carbono (CO ₂), el óxido nitroso (N ₂ O), el metano (CH ₄) y el ozono (O ₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra ¹⁰ .
HIDROCARBUROS	Compuestos que contienen hidrógeno y carbono. El término se utiliza con frecuencia para referirse a los principales componentes del petróleo, el gas natural, el carbón y el asfalto.

9. www.epa.gov
10. <https://www.ipcc-data.org>



ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)	En un índice para informar al público sobre cómo la contaminación del aire podría afectar la salud humana en un corto período de tiempo. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) estima el ICA basándose en cinco contaminantes prioritarios: ozono a nivel del suelo (O_3); material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y óxido de nitrógeno (NO).
INVERSIÓN TÉRMICA	Consulte la sección de esta guía: Tipos de contaminación del aire.
LLUVIA ÁCIDA	Se refiere a la precipitación con componentes ácidos, como el ácido sulfúrico o nítrico que caen al suelo desde el aire. Algunas formas incluyen lluvia, nieve, niebla, granizo o incluso polvo ácido. La lluvia ácida se produce cuando el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NOx) reaccionan con el agua y / u otros productos químicos, incluido el oxígeno, forman ácidos sulfúrico y nítrico antes de caer al suelo.
METANO	Un gas incoloro, inodoro e inflamable que es el principal constituyente del gas natural. El metano consiste en un átomo de carbono y 4 átomos de hidrógeno (CH_4). Se puede encontrar en minas de carbón y pantanos y se conoce como gas de pantano. Comercialmente se obtiene a partir del gas natural. El metano es el segundo gas de efecto invernadero antropogénico más abundante después del dióxido de carbono (CO_2), que representa alrededor del 20 por ciento de las emisiones globales. El metano es más de 25 veces más potente que el dióxido de carbono para atrapar el calor en la atmósfera ¹¹ .
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	Un gas incoloro, inodoro y muy tóxico formado durante la combustión incompleta de combustible o compuestos de carbono. Se emite desde el escape de automóviles, calentadores domésticos, productos de tabaco, queroseno, estufas de leña, chimeneas, generadores y otros equipos que funcionan con gasolina. A altas concentraciones, la exposición al CO puede ser fatal. ¹²

11. <https://www.epa.gov/gmi/importance-methane>

12. www.epa.gov



MUESTREO DE AIRE	Recolección de muestras de aire para la identificación y cuantificación de contaminantes transportados por el aire con instrumentos y/o equipos de laboratorio.
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	Grupo de gases altamente reactivos que incluyen dióxido de nitrógeno, ácido nitroso y ácido nítrico. El dióxido de nitrógeno (NO ₂) se utiliza como indicador para el grupo más grande de óxidos de nitrógeno. El NO ₂ sale principalmente al aire de la quema de combustible de automóviles, camiones, autobuses, centrales eléctricas y equipos todoterreno. Respirar aire con altas concentraciones de NO ₂ puede irritar las vías respiratorias del sistema respiratorio humano, agravar las enfermedades respiratorias, exacerbar el asma y potencialmente aumentar la susceptibilidad a las infecciones respiratorias. ¹³
OZONO	Un gas compuesto de tres átomos de oxígeno. El ozono se produce naturalmente en la atmósfera superior de la Tierra y a nivel del suelo. El ozono puede ser bueno o malo dependiendo de dónde se encuentre. ¹⁴
OZONO (TROPOSFÉRICO - A NIVEL DEL SUELO)	Es un gas incoloro y muy irritante que se forma a nivel de la superficie y los 18 km de altitud. Es un contaminante secundario del aire porque se forma cuando dos contaminantes atmosféricos primarios reaccionan en presencia de la luz solar, en este caso óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV). El ozono a nivel del suelo puede causar irritación del sistema respiratorio. No debe confundirse con el ozono estratosférico.
OZONO (ESTRATOSFÉRICO)	Un gas que se produce naturalmente en la atmósfera superior (entre 25 y 50 km sobre la superficie de la tierra), donde forma una capa protectora que nos protege de los dañinos rayos ultravioleta del Sol. Este ozono beneficioso ha sido parcialmente destruido por productos químicos hechos por el hombre, causando lo que a veces se llama un "agujero en el ozono" ¹⁵ .

13. <https://www.epa.gov/gmi/importance-methane>
14. www.epa.gov
15. www.epa.gov



MATERIAL PARTICULADO (PM)	Una mezcla de partículas extremadamente pequeñas en el aire y gotitas líquidas de numerosos componentes, incluyendo sustancias orgánicas e inorgánicas.
MP_{2.5}	Materia particulada en el aire de 2.5 micrómetros o menos de diámetro.
MP₁₀	Materia particulada en el aire de 10 micrómetros o menos de diámetro.
ÓXIDOS DE AZUFRE	Grupo de contaminantes atmosféricos formados por gases y partículas de dióxido de azufre, monóxido de azufre, trióxido de azufre y monóxido de azufre.
PARTES POR BILLÓN (ppb)	El número de unidades de masa de un contaminante por mil millones de unidades de su masa total.
PARTES POR MILLÓN (ppm)	El número de unidades de masa de un contaminante por millón de unidades de la masa total.
SMOG	Niebla o neblina compuesta por una mezcla de gases, humo y productos químicos que afectan negativamente la calidad del aire y presentan riesgos para la salud pública.
SULFURO DE HIDRÓGENO	Un gas incoloro, inflamable, extremadamente peligroso con un olor a "huevo podrido". También se conoce como gas de alcantarillado, gas de pantano o gas de estiércol. Se produce naturalmente en el petróleo crudo, gas natural y aguas termales. El sulfuro de hidrógeno también se produce por acción bacteriana sobre la materia orgánica, por lo que se puede encontrar en desechos humanos y animales y alcantarillas. Algunos procesos industriales como las plantas de procesamiento de harina de pescado, curtidurías y fábricas de papel también pueden emitir sulfuro de hidrógeno. ¹⁶

16. Hoja informativa de OSHA. Sulfuro de hidrógeno (H₂S). DSG 10/2005



Recursos

Comunidades para un Ambiente Mejor (1998). El Manual de Bucket Brigade. Recupera tu aire!!!!

<https://publiclab.org/i/39437>

Agencia Europea de Medio Ambiente (2021). Normas de calidad del aire de la Unión Europea

<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>

Gradow, K. (2020). Cómo funciona el cubo

<https://publiclab.org/notes/kgradow1/06-09-2020/how-the-bucket-works>

Brigada del Balde de Luisiana

<https://labucketbrigade.org/pollution-tools-resources/the-bucket/> #

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos – EPA.

Una introducción a la calidad del aire interior (CAI)

<http://www.epa.gov/iaq-intro.html>

Página de inicio de calidad del aire interior

<http://www.epa.gov/iaq/>

EPA. (2004). *Community Air Screening How-to-Manual, A Step-by-Step Guide to Using Risk-Based Screening to Identify Priorities for Improving Outdoor Air Quality*. (EPA 744-B-04-001), Washington, DC.

<http://www.epa.gov/oppt/cahp/howto.html>

Tabla de Normas Nacionales de Calidad del Aire

<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

Organización Mundial de la Salud – OMS. Pautas de calidad del aire

<https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>





Alianza Mundial de Derecho Ambiental – ELAW
Environmental Law Alliance Worldwide – ELAW

www.elaw.org

La Environmental Law Alliance Worldwide [Alianza Mundial de Derecho Ambiental] (ELAW, por sus siglas en inglés), ayuda a comunidades a manifestarse acerca del aire limpio, el agua limpia y un planeta más saludable. Somos una alianza mundial de abogados(as), científicos(as) y otros(as) defensores(as) que colaboran a través de fronteras para promover un futuro sustentable y justo.