

# Reflexiones sobre el documento: Medición de Metales en el aire en el entorno de suelos de minería metálica y estudios de fuentes

Expediente número: 17073/2021.

**Reflexiones de Dr. Juan Antonio Ortega García**

**Profesor de Pediatría, Facultad de Medicina, Universidad de Murcia  
Coordinador del comité de Salud Medioambiental, Asociación Española de Pediatría  
Presidente de la Sociedad de Pediatría del Sureste de España  
IPA, Children's Environmental Health Advocate**

## **Tabla de contenido**

<b>Valoración global</b> .....	<b>3</b>
<b>Comentarios constructivos. Recomendaciones para el futuro</b> .....	<b>4</b>
<b>Estándares de calidad del aire</b> .....	<b>6</b>
<b>Explicación sobre la Evolución de los Estándares de Contaminación del Aire y su Impacto en la Salud</b> .....	<b>7</b>
<b>Metodología usada en el estudio</b> .....	<b>8</b>
<b>Instalaciones y altura de los captadores</b> .....	<b>9</b>
<b>Limitaciones</b> .....	<b>12</b>
<b>Niveles de Metales Pesados en el aire</b> .....	<b>13</b>
<b>Materia particulada PM10</b> .....	<b>14</b>
<b>Niveles de PM10 y Metales pesados en el Aire</b> .....	<b>15</b>
<b>Tabla de Correlación entre PM10 y Metales Pesados</b> .....	<b>15</b>
<b>Niveles de Detección/Cuantificación en PM10 y PM2.5. Diferencias.</b> .....	<b>16</b>
<b>Niveles de arsénico en el Aire y fuentes asociadas</b> .....	<b>17</b>
<b>Niveles Medios de Plomo y Fuentes Asociadas</b> .....	<b>20</b>
<b>Niveles Medios de Cadmio y referencias de la OMS</b> .....	<b>22</b>
<b>Agradecimiento a los autores</b> .....	<b>24</b>

## **Valoración global**

El informe sobre calidad del aire y la presencia de metales pesados en el aire de las comunidades de la región de Murcia incluidas en el estudio **es un trabajo exhaustivo y bien fundamentado** que proporciona una visión clara y **detallada de la distribución y niveles de contaminación por plomo, cadmio y arsénico en el aire entre otros, destacando la relevancia de las actividades mineras e industriales como principales fuentes de estos contaminantes**. El estudio no se propone y por lo tanto no subraya adecuadamente los riesgos potenciales para la salud ni propone medidas de mitigación y monitoreo continuo, se enfrenta a ciertas limitaciones metodológicas y de representatividad que podrían ser abordadas en futuros estudios para mejorar la precisión y aplicabilidad de los resultados.

En general, el informe es una valiosa contribución al conocimiento sobre la contaminación del aire en la Región y sienta las bases para la implementación de políticas de control y protección ambiental más efectivas. Las múltiples mediciones a lo largo del tiempo utilizando diferentes métodos y frecuencias de muestreo ofrecen una base sólida para evaluar la calidad del aire y la presencia de metales pesados en las localidades estudiadas.

## **Comentarios constructivos. Recomendaciones para el futuro**

### **Mejora de la Sensibilidad y Precisión. Muestreo.**

- Asegurar una distribución equitativa de captadores de alto y bajo volumen en todas las localidades para obtener datos comparables y reducir sesgos en la recolección de datos.
- Integrar tecnologías más avanzadas como captadores para partículas finas (PM2.5)
- Adoptar métodos que permitan alcanzar límites de detección y cuantificación más bajos, mejorando la precisión y confiabilidad de los resultados.
- Asegurarse de que los captadores estén situados a alturas adecuadas y en ubicaciones representativas para obtener datos más precisos. En el informe se mencionan alturas adecuadas, pero sería útil especificar más detalles sobre la influencia potencial de las fuentes locales y las condiciones meteorológicas.
- Incluir la medición de PM2.5, que es un vector importante para los metales pesados y otros contaminantes, y está asociado con efectos más profundos en la salud. Incorporar equipos de captación específicamente diseñados para PM2.5, como captadores de alto volumen (hi-vol) y captadores de bajo volumen (lo-vol) con cabezales selectivos para PM2.5.
- Aumentar la frecuencia de muestreo para obtener datos más representativos, especialmente en localidades con alta variabilidad en las concentraciones de metales pesados.

### **Incluir comparación con estudios y regulaciones internacionales relacionadas con la Salud.**

- Comparar los niveles de metales pesados encontrados con los estándares internacionales, incluyendo los de la OMS, para contextualizar los riesgos y establecer metas de reducción más precisas.

### **Análisis y comunicación de riesgos**

- Incorporar un análisis de riesgo detallado para cada metal pesado, identificando los niveles de riesgo para diferentes grupos de población (sobre todo grupos vulnerables) y proporcionando recomendaciones específicas de mitigación.
- Es crucial mejorar la comunicación sobre los riesgos potenciales asociados con la exposición a metales pesados, incorporando al equipo especialistas en la comunicación del riesgo en salud medioambiental
- Desarrollar campañas de concienciación pública y proveer formación a las empresas locales sobre prácticas sostenibles y tecnologías de reducción de emisiones.

### **Monitoreo continuo y medidas de mitigación**

- El monitoreo continuo es esencial para detectar cambios y tomar medidas correctivas oportunas
- Establecer estaciones de monitoreo permanentes para un seguimiento continuo de la calidad del aire y la implementación de medidas para reducir las emisiones de metales pesados, especialmente en áreas con actividad minera o industrial.
- Realizar un análisis temporal detallado para entender las variaciones estacionales y diarias en las concentraciones de metales pesados, lo que podría ayudar a identificar patrones específicos relacionados con las fuentes de contaminación.
- Proponer estrategias de mitigación específicas basadas en los resultados del estudio, dirigidas a reducir la exposición a metales pesados en las localidades con los niveles más elevados a metales que no tienen un nivel seguro para la salud.

### **Incorporar métodos estadísticos robustecidos**

- Utilizar métodos estadísticos avanzados, como modelos de regresión y análisis de series temporales, para identificar y cuantificar la influencia de diferentes variables (e.g., condiciones meteorológicas, tráfico, actividad industrial) en las concentraciones de metales pesados.
- Investigar la correlación entre diferentes contaminantes y factores ambientales usando análisis multivariados, lo que puede proporcionar una visión más completa de las relaciones entre diferentes variables.
- Correlacionar los datos de PM2.5 con variables meteorológicas (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento) para entender mejor la dispersión y concentración de partículas.

### **Evaluar y manejar el impacto en salud**

Realizar estudios complementarios para evaluar el impacto de las concentraciones de metales pesados en la salud de la población local, utilizando experiencias previas como la realizada por la Unidad de Salud Medioambiental en la Sierra Minera.

### **No descuidar la transparencia y documentación**

Asegurar una documentación detallada y transparente de todos los métodos y procedimientos utilizados, incluyendo la calibración de los equipos, el manejo de las muestras y los métodos de análisis en laboratorio.

### **Colaborar con más instituciones y todos los grupos de interés**

Fomentar la colaboración con instituciones académicas, agencias gubernamentales y organizaciones internacionales, y con todos los grupos de interés, agentes sociales y organizaciones vecinales para mejorar la calidad de la investigación y la implementación de las recomendaciones.

### **Evaluación de fuentes de emisión**

Identificar y evaluar las principales fuentes de emisión de PM<sub>2.5</sub> y metales pesados, incluyendo tráfico, actividades industriales y fenómenos naturales como polvo sahariano.

### **Comunicación de resultados**

Asegurar una comunicación clara y efectiva de los resultados a las autoridades locales y al público, proporcionando recomendaciones basadas en evidencia para la mejora de la calidad del aire.

Publicar los resultados en revistas científicas revisadas por pares para validar los hallazgos y asegurar que los resultados sean accesibles a la comunidad científica y a los responsables de políticas públicas.

**El estudio proporciona una base sólida para entender la distribución y los niveles de metales pesados en el aire en la región de Murcia**, estableciendo pilares para la necesidad de acciones específicas para mitigar estos riesgos y proteger la salud. Es esencial seguir mejorando las metodologías de análisis y captación para obtener datos más precisos y representativos. Además, la comparación con estándares internacionales ayudará a mantener y mejorar la calidad del aire, protegiendo así la salud pública de manera más efectiva. Estas recomendaciones solo aportan una mirada positivista y dirigida a mejorar la línea de trabajo en el futuro.

**Los resultados desde un acercamiento cauteloso señalan que no hay motivos para la alarma social, pero el riesgo existe y es real porque detectan metales de los que no hay un nivel seguro conocido y que provocan un daño permanente como el plomo. Los niveles más elevados de plomo se han reportado en el Estrecho de San Ginés, Alumbres y el Llano del Beal.** La fracción de absorción del plomo a través de la mucosa respiratoria es de casi el 100%, y hace que el plomo en las partículas de polvo sea una fuente principal de exposición en niños.

- Los resultados son bienvenidos porque ayudan a identificar y señala el origen principal de exposición a metales pesados en el aire.
- Encuentran diferencias entre las comunidades evaluadas que permitirán en el futuro ir tomando medidas de control y mitigación más focalizadas. Especialmente en la Sierra Minera de Cartagena.
- Las estimaciones medias de materia particulada PM<sub>10</sub> en todas las poblaciones estudiadas superan las cifras medias de la OMS a largo plazo (anuales), y reflejan la importante y necesaria labor para mejorar la calidad del aire en la Región de Murcia.

## Estándares de calidad del aire

<b>1. World Health Organization (WHO)</b>	<b>2. United States Environmental Protection Agency (EPA)</b>
<b>PM2.5 (Annual):</b> 5 µg/m <sup>3</sup>	<b>PM2.5 (Annual):</b> 12 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM2.5 (24-hour):</b> 15 µg/m <sup>3</sup>	<b>PM2.5 (24-hour):</b> 35 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM10 (Annual):</b> 15 µg/m <sup>3</sup>	<b>PM10 (24-hour):</b> 150 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM10 (24-hour):</b> 45 µg/m <sup>3</sup>	<b>Ozone (8-hour):</b> 70 ppb (approximately 140 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Ozone (8-hour):</b> 100 µg/m <sup>3</sup>	<b>Nitrogen Dioxide (Annual):</b> 53 ppb (approximately 100 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Nitrogen Dioxide (Annual):</b> 10 µg/m <sup>3</sup>	<b>Nitrogen Dioxide (1-hour):</b> 100 ppb (approximately 188 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Nitrogen Dioxide (1-hour):</b> 200 µg/m <sup>3</sup>	<b>Sulfur Dioxide (1-hour):</b> 75 ppb (approximately 196 µg/m <sup>3</sup> )
<b>Sulfur Dioxide (24-hour):</b> 40 µg/m <sup>3</sup>	<b>Lead (3-month average):</b> 0.15 µg/m <sup>3</sup>
<b>Sulfur Dioxide (10-minute):</b> 500 µg/m <sup>3</sup>	
<b>3. European Union (EU)</b>	<b>4. Canada (Canadian Ambient Air Quality Standards, CAAQS)</b>
<b>PM2.5 (Annual):</b> 25 µg/m <sup>3</sup>	<b>PM2.5 (Annual):</b> 10 µg/m <sup>3</sup> (2020 standard)
<b>PM2.5 (24-hour):</b> No standard	<b>PM2.5 (24-hour):</b> 28 µg/m <sup>3</sup> (2020 standard)
<b>PM10 (Annual):</b> 40 µg/m <sup>3</sup>	<b>Ozone (8-hour):</b> 62 ppb (2015 standard)
<b>PM10 (24-hour):</b> 50 µg/m <sup>3</sup> (not to be exceeded more than 35 times a year)	<b>Nitrogen Dioxide (Annual):</b> 17 ppb (2020 standard)
<b>Ozone (8-hour):</b> 120 µg/m <sup>3</sup> (not to be exceeded more than 25 days per calendar year)	<b>Nitrogen Dioxide (1-hour):</b> 60 ppb (2020 standard)
<b>Nitrogen Dioxide (Annual):</b> 40 µg/m <sup>3</sup>	<b>Sulfur Dioxide (1-hour):</b> 70 ppb (2020 standard)
<b>Nitrogen Dioxide (1-hour):</b> 200 µg/m <sup>3</sup> (not to be exceeded more than 18 times a year)	<b>Sulfur Dioxide (24-hour):</b> 5 ppb (2020 standard)
<b>Sulfur Dioxide (1-hour):</b> 350 µg/m <sup>3</sup> (not to be exceeded more than 24 times a year)	
<b>Sulfur Dioxide (24-hour):</b> 125 µg/m <sup>3</sup> (not to be exceeded more than 3 times a year)	
<b>Lead (Annual):</b> 0.5 µg/m <sup>3</sup>	
<b>5. China</b>	
<b>PM2.5 (Annual):</b> 35 µg/m <sup>3</sup>	
<b>PM2.5 (24-hour):</b> 75 µg/m <sup>3</sup>	
<b>PM10 (Annual):</b> 70 µg/m <sup>3</sup>	
<b>PM10 (24-hour):</b> 150 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Ozone (8-hour):</b> 160 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Nitrogen Dioxide (Annual):</b> 40 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Nitrogen Dioxide (1-hour):</b> 200 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Sulfur Dioxide (24-hour):</b> 150 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Sulfur Dioxide (1-hour):</b> 500 µg/m <sup>3</sup>	
<b>Lead (Annual):</b> 1 µg/m <sup>3</sup>	

## Explicación sobre la Evolución de los Estándares de Contaminación del Aire y su Impacto en la Salud

La comprensión de los estándares de contaminación del aire y su evolución es fundamental para promover una mejor calidad de vida y salud pública. A continuación se presenta una forma de explicar esto a los ciudadanos:

### **Basados en evidencia científica.**

Los estándares de contaminación del aire se actualizan regularmente basados en la evidencia científica más reciente. Investigaciones continuas revelan cómo incluso niveles bajos de contaminantes pueden afectar negativamente la salud humana. A medida que la ciencia avanza, se identifican nuevos riesgos y se ajustan los límites para proteger mejor la salud pública. **Los médicos y científicos asumimos los de las Organización Mundial de la Salud como la mejor referencia.**

### **Impacto en la salud.**

La contaminación del aire está asociada con una amplia gama de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. Los estudios han demostrado que la exposición a contaminantes como PM10, PM2.5, plomo, cadmio y arsénico, incluso a niveles bajos, puede tener efectos adversos significativos. Por ejemplo, partículas finas (PM2.5) pueden penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, afectando varios órganos y sistemas corporales.

### **NO EXISTE UN NIVEL SEGURO.**

Para muchos contaminantes, no existe un nivel de exposición que sea completamente seguro. Esto significa que cualquier reducción en la contaminación del aire puede tener beneficios para la salud. Las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras organizaciones indican que cuanto menor sea la exposición a estos contaminantes, menor será el riesgo de desarrollar enfermedades asociadas.

La escasa o nula formación en comunicación de riesgos con frecuencia genera titulares fáciles que no responden al fondo del trabajo y consiguen el efecto contrario al que persiguen en la opinión pública.

## Metodología usada en el estudio

Periodo del trabajo septiembre de 2022 hasta julio de 2023

### Equipos Utilizados

- **Captadores de bajo volumen**  
**Marca y Modelo:** DADOLAB, modelos SQ111A320220117, SQ111A320220118, SQ111A320220119, SQ111A420220121.  
**Límite de Detección (LD):** 0.01 µg/filtro para plomo.  
**Límite de Cuantificación (LQ):** 0.025 µg/filtro para plomo.
- **Captadores de alto volumen**  
**Marca y Modelo:** MCV, modelos 160/0462, 161/0462, 162/0462.  
**Límite de Detección (LD):** 0.07 µg/filtro para plomo.  
**Límite de Cuantificación (LQ):** 0.20 µg/filtro para plomo.
- **Estaciones meteorológicas**  
**Marca y Modelo:** DAVIS, modelos MT220613049, MT220613052, MT220613053, MT220613048, MT220613062, MT220613035.

### Técnicas Analíticas

**Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS):** Utilizada para el análisis de metales como arsénico, cadmio y plomo.

**Fluorescencia Atómica (FLD):** Utilizada para el análisis de mercurio.

### Muestreo

608 filtros procedentes de captadores de alto volumen recogidos diariamente.

724 filtros procedentes de captadores de bajo volumen recogidos diariamente.

60 depósitos de materia sedimentable recogidos con periodicidad mensual.

Alto Volumen: 608 filtros / 6 localidades ≈ 101 filtros por localidad

Bajo Volumen: 724 filtros / 12 localidades ≈ 60 filtros por localidad

Depósitos de Materia Sedimentable: 60 depósitos / 12 localidades ≈ 5 depósitos por localidad

### Procedimiento de Muestreo

**Altura de los Captadores:** Generalmente entre 1,5 y 4 metros sobre el suelo.

**Ubicación:** Zonas abiertas y estratégicamente seleccionadas para evitar influencia directa de fuentes locales y mejorar la representatividad de las muestras. Excepto la del hospital.

### Captador de Bajo Volumen

- **Plomo (Pb)**
  - Límite de detección (LD): 0.01 µg/filtro
  - Límite de cuantificación (LQ): 0.025 µg/filtro

### Captador de Alto Volumen

- **Plomo (Pb)**
  - Límite de detección (LD): 0.07 µg/filtro
  - Límite de cuantificación (LQ): 0.20 µg/filtro

**El estudio local utilizó metodologías adecuadas para los objetivos planteados**, con el uso de ICP-MS para analizar metales pesados, garantizando así una buena sensibilidad y precisión. Sin embargo, los límites de detección y cuantificación en otros estudios son significativamente mejores, debido al uso de tecnologías avanzadas y captadores de alto volumen específicos para partículas finas. Esto permite obtener datos más precisos y con menores límites de detección, mejorando la calidad y confiabilidad de los resultados (ver apartado MP). Atendiendo al volumen de 24 horas de captación permitía que fueran detectables y cuantificables.

## Instalaciones y altura de los captadores

La altura y ubicación de los captadores de aire en cada comunidad es fundamental para la representatividad de los datos. A continuación, se presenta un resumen de las instalaciones, alturas y condiciones de ubicación de los captadores en cada pueblo estudiado:

Localidad	Instalación	Altura del Captador	Zona Abierta/Cubierta
La Unión	Colegio Público de Educación Especial Enrique Viviente	1,5-4 metros	Zona Abierta
Llano del Beal	Local tercera edad	1,5-4 metros	Zona Abierta
Portmán	Colegio Público Santiago Apóstol	1,5-4 metros	Zona Abierta
Santa Lucía	Almacén Municipal y Hospital General Santa Lucía	1,5-4 metros	Zona Abierta/Cubierta
Vista Alegre	Consultorio Médico de Atención Primaria	1,5-4 metros	Zona Abierta
Mazarrón	Casa de la Cultura	1,5-4 metros	Zona Abierta
Puerto de Mazarrón	IES Antonio Hellín Costa	1,5-4 metros	Zona Abierta
Estrecho de San Ginés	Asociación de Vecinos "San Nicolás de Bari"	1,5-4 metros	Zona Abierta
Roche	Consultorio médico local	1,5-4 metros	Zona Abierta
Alumbres	Estación Red Calidad Aire	1,5-4 metros	Zona Abierta
Los Dolores	Centro de Salud Los Dolores	1,5-4 metros	Zona Abierta
Los Belones	Local Social Los Belones	1,5-4 metros	Zona Abierta

### Observaciones

Todos los captadores fueron colocados a una altura entre 1,5 y 4 metros sobre el suelo, lo cual es adecuado para representar la calidad del aire a nivel de respiración humana y minimizar la influencia de fuentes puntuales locales.

La mayoría de los captadores están situados en zonas abiertas para evitar restricciones en el flujo de aire y asegurar una muestra representativa. Solo en Santa Lucía, uno de los captadores se encuentra en una ubicación cubierta (Hospital General Santa Lucía) para asegurar la seguridad y accesibilidad.

Estos detalles aseguran que las mediciones de calidad del aire sean representativas y comparables, proporcionando una base sólida para evaluar la exposición a metales pesados en las diferentes localidades estudiadas.

Recomendación. Ubicar fotográficamente al captador de forma exacta ayudaría a situar la altura precisa a la que estaba.

**Puntos de muestreo.**

Así el pliego establece los siguientes puntos de muestreo:

- Doce puntos de muestreo para determinar la concentración de metales en el aire mediante captadores de bajo volumen, 11 en el entorno de suelos mineros y 1 de control.
- Seis puntos de muestreo para determinar fuentes de metales mediante captadores de alto volumen, 5 en el entorno de suelos mineros y 1 de control.
- Seis puntos de muestreo mediante depósitos atmosféricos, 1 de ellos de control.

Nº	Municipio	Localidad	Ubicación	Bajo	Alto	Sedi.
1	Mazarrón	Puerto de Mazarrón	IES Antonio Hellín Costa	X		
2	Mazarrón	Mazarrón	Casa de la Cultura	X	X	X
3	Cartagena	Vista Alegre	Consultorio Médico de Atención Primaria	X		
4	Cartagena	Estrecho de San Ginés	Asociación de Vecinos "San Nicolás de Bari"	X		
5	Cartagena	Santa Lucía - Lo Campano	Almacén Municipal Ayto Cartagena	X		
			Hospital General Santa Lucía (helipuerto)		X	
6	Cartagena	Alumbres	Estación Red Calidad Aire (Alumbres)	X	X	X
7	La Unión	La Unión	Colegio Público de Educación Especial Enrique Viviente	X	X	X
8	La Unión	Portman	Colegio Público Santiago Apóstol	X	X	X
9	Cartagena	Los Belones	Local Social Los Belones	X		
10	Cartagena	Llano del Beal	Local tercera edad	X		X
11	Cartagena	Roche	Consultorio médico local	X		
*12	Cartagena	Los Dolores	Centro de Salud los Dolores	X	X	X

Los captadores de alto volumen no se utilizaron en las siguientes localidades:

1. **Estrecho de San Ginés**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí
2. **Vista Alegre**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí
3. **Los Belones**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí
4. **Llano del Beal**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí
5. **Roche**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí
6. **Puerto de Mazarrón**
  - Captador de alto volumen: No
  - Captador de bajo volumen: Sí.

La elección de no usar captadores de alto volumen en ciertas áreas mineras puede haber sido influenciada por varios factores, incluyendo limitaciones de recursos, disponibilidad de equipos, condiciones locales, objetivos específicos del estudio, y la necesidad de consistencia con datos históricos. Sin información detallada del diseño del estudio y las decisiones logísticas, estas razones son especulativas pero plausibles.

#### Recomendación

Para obtener una evaluación más completa y precisa de la calidad del aire en las zonas mineras, sería beneficioso incluir captadores de alto volumen en futuros estudios.

## **Limitaciones**

1. Las condiciones meteorológicas pueden afectar la dispersión y concentración de los metales en el aire, introduciendo variabilidad en los resultados.
2. La frecuencia y ubicación de los puntos de muestreo pueden no capturar completamente las variaciones espaciales y temporales en la concentración de metales.
3. La incertidumbre asociada a los métodos analíticos utilizados puede comprometer la precisión de los niveles reportados.
4. La identificación precisa de las fuentes emisoras de los metales puede ser limitada, especialmente en áreas con múltiples fuentes potenciales.
5. Los captadores de alto y bajo volumen no están distribuidos uniformemente en todas las localidades, lo que puede introducir sesgos en los datos y dificultar la comparabilidad entre diferentes áreas.
6. A pesar de utilizar ICP-MS, los límites de detección para algunos metales, como el plomo, no son tan bajos como en otros estudios comparables, lo que puede limitar la sensibilidad y precisión de los resultados.
7. La duración y frecuencia de las campañas de muestreo pueden no ser suficientes para capturar todas las variaciones temporales y estacionales en las concentraciones de metales pesados.
8. El estudio se centra en PM10 y no incluye mediciones específicas de PM2.5, que es una fracción importante de partículas finas con mayores implicaciones para la salud pública.
9. Aunque se proporciona una evaluación de incertidumbres, la metodología y los cálculos podrían ser más detallados y transparentes para aumentar la confianza en los resultados.
10. El informe podría beneficiarse de una comparación más exhaustiva con estándares internacionales y directrices de la OMS para contextualizar mejor los hallazgos.
11. La identificación y cuantificación de fuentes de emisión podrían ser más detalladas, utilizando modelos de dispersión y análisis de isótopos para una mejor caracterización de las fuentes.
12. El estudio está limitado a un área geográfica específica y a un período de tiempo determinado en cada localidad, lo que puede no ser representativo de la zona y período.
13. Carece de recomendaciones que contribuyan a generar una cultura de protección en la ciudadanía.

Cuando uno lee el documento se nota que los autores han hecho un trabajo en el que han intentado contrarrestar todas las limitaciones posibles. Y además con el convencimiento de que algunas de las limitaciones serán resueltas en informes secundarios.

## Niveles de Metales Pesados en el aire

Aquí tienes la tabla ordenada de mayor a menor según el promedio de PM10:

Ubicación	PM10 Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Plomo Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Arsénico Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cadmio Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fuente más Probable
Los Dolores	29.6	2.49E-03	2.65E-04	5.34E-05	Tráfico Local
Roche	21.6	2.95E-03	3.76E-04	4.54E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Alumbres	20.2	4.18E-03	4.24E-04	6.94E-05	Actividad Industrial
Llano del Beal	19.7	4.12E-03	3.18E-04	9.64E-05	Actividad Minera
Puerto de Mazarrón	17.2	2.48E-03	1.57E-04	4.58E-05	Actividad Portuaria y Tráfico
Vista Alegre	16.4	2.64E-03	3.30E-04	5.55E-05	Tráfico Local
Los Belones	16.4	2.69E-03	1.90E-04	4.56E-05	Tráfico Local
La Unión	16.2	3.26E-03	2.24E-04	5.36E-05	Actividad Minera
Estrecho de San Ginés	15.8	5.49E-03	3.01E-04	4.57E-05	Actividad Minera
Santa Lucía	15.3	3.51E-03	3.04E-04	5.51E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Mazarrón	14.5	1.49E-03	1.13E-04	4.55E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Portman	11.7	3.26E-03	2.24E-04	2.96E-05	Actividad Minera

## Materia particulada PM10

La materia particulada (PM) es una combinación de partículas diminutas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire, como polvo, suciedad, hollín, humo y gotitas líquidas. Se clasifica principalmente en dos categorías: PM10, que son partículas con un diámetro de 10 micrómetros o menos, y PM2.5, con un diámetro de 2.5 micrómetros o menos. Estas partículas pueden incluir metales pesados como plomo, cadmio y arsénico, que son especialmente peligrosos para la salud. Debido a su pequeño tamaño, la PM2.5 puede ser inhalada profundamente en los pulmones y llegar al torrente sanguíneo, causando problemas respiratorios y cardiovasculares, y aumentando el riesgo de cáncer y otros problemas de salud. La tabla con la media de PM10 obtenida en cada pueblo durante todo el periodo

Localidad	PM10 Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Bajo vol	PM10 Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Alto vol
Alumbres	33.2	22.2
Los Dolores	29.6	17.0
Cartagena Almacén	24.2	
Roche	21.6	-
Llano del Beal	19.7	-
Vista Alegre	17.9	-
Puerto de Mazarrón	17.2	-
Los Belones	16.4	-
Santa Lucía	16.4	-
Estrecho de San Ginés	15.8	
La Unión	-	16,2
Santa Lucía	-	15.3
Portman	16.9	11.7
Mazarrón	16.0	14.5

Los datos muestran que todas las localidades estudiadas en la región de Murcia tienen niveles de PM10 que superan significativamente los límites anuales recomendados por la OMS. Esto indica un riesgo elevado para la salud pública, subrayando la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación y monitoreo continuo para reducir la exposición a partículas PM10 y proteger la salud de la población.

**Todas las localidades estudiadas superaron el límite anual de PM10 establecido por la Organización Mundial de la Salud ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).**

La exposición a niveles elevados de PM10 puede tener varios efectos adversos en la salud, especialmente cuando estos niveles superan significativamente los límites recomendados por la OMS. Los impactos en la salud incluyen:

1. La inhalación de partículas PM10 puede causar o agravar enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).
2. La exposición prolongada a PM10 está asociada con un aumento en el riesgo de enfermedades cardiovasculares, incluyendo infartos de miocardio y accidentes cerebrovasculares.
3. Los niños expuestos a altos niveles de PM10 pueden experimentar un crecimiento pulmonar reducido y un mayor riesgo de infecciones respiratorias.
4. Las partículas PM10 pueden contener sustancias carcinogénicas, lo que incrementa el riesgo de cáncer de pulmón con la exposición a largo plazo.
5. La exposición a niveles altos de PM10 se ha relacionado con un aumento en la mortalidad prematura, particularmente en personas con enfermedades crónicas.

## Niveles de PM10 y Metales pesados en el Aire

Ubicación	PM10 Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Plomo Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Arsénico Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cadmio Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fuente más Probable
Los Dolores	29.6	2.49E-03	2.65E-04	5.34E-05	Tráfico Local/ combustión
CT almacén	24.2	3.60E-03	3.53E-04	5.14E-05	
Roche	21.6	2.95E-03	3.76E-04	4.54E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Alumbres	33.2	4.18E-03	4.24E-04	6.94E-05	Actividad Industrial
Llano del Beal	19.7	4.12E-03	3.18E-04	9.64E-05	Actividad Minera
Puerto de Mazarrón (BV)	17.2	2.48E-03	1.57E-04	4.58E-05	Actividad Portuaria y Tráfico
Vista Alegre	17.9	2.64E-03	3.30E-04	5.55E-05	Tráfico Local
Los Belones	16.4	2.69E-03	1.90E-04	4.56E-05	Tráfico Local
La Unión	16.2	3.26E-03	2.24E-04	5.36E-05	Actividad Minera
Estrecho de San Ginés (BV)	15.8	5.49E-03	3.01E-04	4.57E-05	Actividad Minera
Santa Lucía	15.3	3.51E-03	3.04E-04	5.51E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Mazarrón	16,0	1.49E-03	1.13E-04	4.55E-05	Tráfico y Actividad Industrial
Portman (BV)	16,9	3.26E-03	2.24E-04	2.96E-05	Actividad Minera

### Tabla de Correlación entre PM10 y Metales Pesados

He creado una tabla de aproximación que muestra las correlaciones entre los niveles promedio de PM10 y los metales pesados (Plomo, Arsénico y Cadmio), junto con los coeficientes de correlación y los p-valores correspondientes.

Correlación	Coefficiente de Correlación	p-valor	Significación Estadística
PM10 y Plomo	0.110	0.720	No Significativa
PM10 y Arsénico	0.586	0.035	Significativa
PM10 y Cadmio	0.325	0.279	No Significativa
Plomo y Arsénico	0.590	0.033	Significativa
Plomo y Cadmio	0.317	0.290	No Significativa
Arsénico y Cadmio	0.426	0.146	No Significativa

### Interpretación

hay una relación significativa entre los niveles de PM10 y los niveles de arsénico, así como entre los niveles de plomo y arsénico en las muestras de aire. Las otras correlaciones no son estadísticamente significativas. Estos datos sugieren que la materia particulada (PM10) parece estar asociada con la presencia de arsénico pero no plomo ni cadmio en el aire.

**DE ESTE ESTUDIO SE INFIERE QUE MONITORIZAR LAS PM10 PODRIA SER ÚTIL PARA VIGILAR EL ARSÉNICO EN EL AIRE**

## Niveles de Detección/Cuantificación en PM10 y PM2.5. Diferencias.

### PM10 (como el del estudio)

1. **Niveles de Detección:** Para PM10, los límites de detección suelen ser más altos debido al mayor tamaño de las partículas.
2. **Niveles de Cuantificación:** Estos también son relativamente más altos en comparación con PM2.5, lo que significa que es más difícil detectar y cuantificar bajas concentraciones de metales pesados con precisión en PM10.

Sun, M., Li, F., Li, Y. et al. Assessing the Ecological and Health Risks Associated with Heavy Metals in PM<sub>2.5</sub> Based on their Potential Bioavailability. *Water Air Soil Pollut* 235, 306 (2024).  
<https://doi.org/10.1007/s11270-024-07118-0>

### PM2.5 (no se miden en el estudio)

1. **Niveles de detección.** PM2.5 tiene límites de detección más bajos debido a su tamaño más pequeño y mayor superficie específica. Los estudios han demostrado límites de detección tan bajos como 0.42 pg/m<sup>3</sup> (0.00042 ug/ m<sup>3</sup>) para algunos metales ([Atmospheric Aerosol Research](#)).
2. **Niveles de cuantificación,** Los niveles de cuantificación son también más bajos para PM2.5, permitiendo una detección más precisa y sensible de metales pesados en el aire. Esto hace que PM2.5 sea más adecuado para estudios de contaminación por metales pesados en ambientes mineros y urbanos.

### Ejemplos de Estudios Científicos

En un estudio realizado en una zona urbana de Agra, India, se encontraron concentraciones significativamente más altas de metales pesados en PM2.5 en comparación con PM10, lo que sugiere que las partículas más finas son más efectivas para adsorber y retener metales pesados

*Ali J, Kazi TG, Baig JA, Afridi HI, Arain MS, Brahman KD, Naeemullah, Panhwar AH. Arsenic in coal of the Thar coalfield, Pakistan, and its behavior during combustion. Environ Sci Pollut Res Int. 2015;22:8559-66.*

Otro estudio en una zona industrial integrada mostró que PM2.5 contenía concentraciones más altas de metales pesados debido a su capacidad para transportar y dispersar mejor estos contaminantes

*Dai, Q.L., Bi, X.H., Wu, J.H., Zhang, Y.F., Wang, J., Xu, H., Yao, L., Jiao, L. and Feng, Y.C. (2015). Characterization and Source Identification of Heavy Metals in Ambient PM10 and PM2.5 in an Integrated Iron and Steel Industry Zone Compared with a Background Site. Aerosol Air Qual. Res. 15: 875-887.*

Las partículas PM2.5 en áreas mineras tienen una concentración significativa de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) debido a su menor tamaño y mayor capacidad para transportar metales adsorbidos en su superficie

Martin R, et al. Trace metal content in inhalable particulate matter (PM<sub>2.5-10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) collected from historical mine waste deposits using a laboratory-based approach. *Environ Geochem Health.* 2017;39:549-563

Los filtros de aire que miden PM2.5 son más eficientes para la detección y cuantificación de bajas concentraciones de metales pesados como arsénico, plomo y cadmio. Esto se debe a su capacidad para capturar partículas más pequeñas y, por lo tanto, ofrecer una medición más precisa y sensible de estos contaminantes.

Las partículas PM2.5 generalmente contienen mayores concentraciones de metales pesados que las partículas PM10 debido a su origen en procesos de combustión y su capacidad para permanecer en la atmósfera durante más tiempo y viajar distancias mayores. Por lo tanto, las PM2.5 representan un mayor riesgo para la salud en términos de exposición a metales pesados.

## Niveles de arsénico en el Aire y fuentes asociadas

bajo volumen, ordenados de mayor a menor según el valor promedio, incluyendo la fuente más probable en cada localidad:

correctamente de mayor a menor según el valor promedio de arsénico en aire:

Ubicación	Arsénico Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Arsénico Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fuente más Probable
La Unión	0.000464	0.001780	Actividad Minera
Alumbres	0.000424	0.001420	Actividad Industrial
Roche	0.000376	0.000745	Tráfico y Actividad Industrial
Vista Alegre	0.000330	0.000727	Tráfico Local
Llano del Beal	0.000318	0.000872	Actividad Minera
Santa Lucía	0.000304	0.000304	Tráfico y Actividad Industrial
Estrecho de San Ginés	0.000301	0.000873	Actividad Minera
Santa Lucía	0.000304	0.000304	Tráfico y Actividad Industrial
Los Belones	0.000291	0.000190	Tráfico Local
Los Dolores	0.000265	0.000545	Tráfico Local
Portman	0.000224	0.000691	Actividad Minera
Puerto de Mazarrón	0.000157	0.000472	Actividad Portuaria y Tráfico
Mazarrón	0.000114	0.000112	Tráfico y Actividad Industrial

Gracias por tu paciencia. Estos datos corresponden a las mediciones de arsénico en aire obtenidas con captadores de bajo volumen para cada una de las ubicaciones mencionadas.

ALTO VOLUMEN.

Basado en la gráfica proporcionada, aquí está la tabla ordenada de mayor a menor según el promedio de arsénico:

UBICACIÓN	ARSÉNICO PROMEDIO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )	ARSÉNICO MÁXIMO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )
LA UNIÓN	0.000196	0.001590
ALUMBRES	0.000158	0.001340
SANTA LUCÍA	0.000183	0.001320
PORTMAN	0.000162	0.000748
LOS DOLORES	0.000121	0.001020
MAZARRÓN	0.000085	0.000454

Estos datos proporcionan una visión de las concentraciones de arsénico en aire en las diferentes ubicaciones utilizando captadores de alto volumen.

Tabla Final Ordenada por Promedio Combinado de Arsénico

UBICACIÓN	ARSÉNICO PROMEDIO COMBINADO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )	ARSÉNICO MÁXIMO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )	FUENTE MÁS PROBABLE
LA UNIÓN	0.000330	0.001780	Actividad Minera
ALUMBRES	0.000291	0.001420	Actividad Industrial
ROCHE	0.000376	0.000745	Tráfico y Actividad Industrial
VISTA ALEGRE	0.000330	0.000727	Tráfico Local
LLANO DEL BEAL	0.000318	0.000872	Actividad Minera
ESTRECHO DE SAN GINÉS	0.000301	0.000873	Actividad Minera
SANTA LUCÍA	0.000244	0.001320	Tráfico y Actividad Industrial clausurada
PORTMAN	0.000193	0.000748	Actividad Minera
LOS BELONES	0.000291	0.000190	Tráfico Local
LOS DOLORES	0.000193	0.001020	Tráfico Local u otros
PUERTO DE MAZARRÓN	0.000157	0.000472	Actividad Portuaria y Tráfico
MAZARRÓN	0.000100	0.000454	Tráfico y Actividad Industrial

Estos datos proporcionan una visión más completa y precisa de las concentraciones de arsénico en aire en las diferentes ubicaciones, considerando tanto los captadores de bajo volumen como los de alto volumen.

Las diferencias en los valores de metales pesados medidos con captadores de bajo volumen y alto volumen son una combinación de factores técnicos, operacionales y ambientales. Estas diferencias subrayan la importancia de comprender las limitaciones y características específicas de cada método de muestreo al interpretar los resultados de calidad del aire. Para obtener una evaluación más completa y precisa, es beneficioso utilizar ambos tipos de captadores en estudios complementarios.

**La Unión tiene el nivel más alto de arsénico en el aire con  $0.000330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguido por Alumbres  $0.000291 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Llano del Beal, Portmán y estrecho de San Ginés tienen niveles de arsénico vinculados a la contaminación del suelo**

Las diferencias observadas subrayan la importancia de considerar múltiples fuentes de contaminación al evaluar la calidad del aire y los riesgos para la salud en diferentes comunidades.

Las variaciones en los niveles de arsénico están influenciadas principalmente por la proximidad a actividades mineras e industriales, así como por las condiciones meteorológicas que afectan la dispersión de contaminantes

La Organización Mundial de la Salud (OMS) proporciona directrices sobre la concentración de arsénico en el aire debido a sus efectos carcinogénicos y otros impactos en la salud.

#### Directrices Recomendadas

La OMS no establece un nivel seguro específico para la exposición al arsénico en el aire debido a su naturaleza cancerígena. Sin embargo, se considera que cualquier concentración puede aumentar el riesgo de cáncer, y la OMS proporciona estimaciones de riesgo basadas en estudios epidemiológicos.

Según la OMS y la US EPA:

- **Riesgo de 1 en 10,000:** 66 ng/m<sup>3</sup> (0.066 µg/m<sup>3</sup>)
- **Riesgo de 1 en 100,000:** 6.6 ng/m<sup>3</sup> (0.0066 µg/m<sup>3</sup>)
- **Riesgo de 1 en 1,000,000:** 0.66 ng/m<sup>3</sup> (0.00066 µg/m<sup>3</sup>)

**Los niveles de arsénico encontrados en las localidades NO superan los valores de referencia asociados con un riesgo adicional de cáncer.**

*La OMS y la EPA enfatizan que **NO EXISTE UN NIVEL SEGURO DE EXPOSICIÓN**, ya que incluso pequeñas concentraciones pueden aumentar significativamente el riesgo de cáncer a lo largo de la vida*

El aire que respiran los vecinos de La Unión tiene aproximadamente un 71% más de arsénico en comparación con el aire que respiran los vecinos de Los Dolores.

#### Acciones Recomendadas

- Mejorar el estudio disminuyendo los niveles de detección y cuantificación para que los datos sean más precisos y considerar la MP2.5 para el estudio.
- Es esencial continuar monitoreando los niveles de arsénico en el aire para detectar cualquier cambio y tomar medidas correctivas oportunas (realizar un **monitoreo continuo**).
- Implementar medidas para reducir las emisiones de arsénico, especialmente en áreas con actividad minera o industrial.
- Aprovechar y promover la experiencia como la realizada por la Unidad de Medicina Medioambiental (PEHSU) de la Región de Murcia para mejorar la evaluación y comunicación sobre los riesgos potenciales asociados con la exposición al arsénico para que la comunidad esté informada y pueda tomar medidas preventivas (**comunicación de riesgos**).

La exposición a arsénico inorgánico puede tener serios efectos en la salud humana.

1. Incluidos el desarrollo de cáncer de pulmón, piel y vejiga (Cancerígeno seguro)
2. Enfermedades cardiovasculares y daños neurológicos.
3. La exposición crónica a niveles elevados de arsénico también puede provocar lesiones cutáneas, como hiperpigmentación y queratosis, y afectar negativamente al sistema inmunológico.

## Niveles Medios de Plomo y Fuentes Asociadas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) no ha establecido una directriz específica para el plomo en el aire en sus últimas actualizaciones de las guías de calidad del aire. La OMS ha recomendado mantener las concentraciones de plomo en el aire lo más bajas posible debido a sus efectos adversos sobre la salud irreversibles en el sistema nervioso de los niños.

Tabla con los captadores de bajo volumen

Ubicación	Plomo Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Plomo Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fuente más Probable
Estrecho de San Ginés	0.005490	0.014300	Actividad Minera
Alumbres	0.004180	0.014500	Actividad Industrial
Llano del Beal	0.004120	0.014500	Actividad Minera y agrícola
Santa Lucía	0.003510	0.006140	Tráfico y Actividad Industrial clausurada
La Unión	0.003460	0.007000	Actividad Minera
Roche	0.002950	0.008390	Tráfico y Actividad Industrial
Los Belones	0.002690	0.004780	Tráfico Local
Vista Alegre	0.002640	0.006810	Tráfico Local
Portman	0.002560	0.006140	Actividad Minera
Los Dolores	0.002490	0.006450	Tráfico Local
Puerto de Mazarrón	0.002480	0.006200	Actividad Portuaria y Tráfico
Mazarrón	0.001510	0.001490	Tráfico y Actividad Industrial

### AHORA CON CAPTADORES DE ALTO VOLUMEN

Aquí tienes la tabla con los valores de plomo obtenidos con captadores de alto volumen, ordenados de mayor a menor según el valor promedio, basados en la gráfica proporcionada:

UBICACIÓN	PLOMO PROMEDIO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )	PLOMO MÁXIMO ( $\mu\text{G}/\text{M}^3$ )
<b>LA UNIÓN</b>	0.001920	0.007180
<b>ALUMBRES</b>	0.001700	0.013400
<b>SANTA LUCÍA</b>	0.001460	0.007560
<b>PORTMAN</b>	0.001250	0.004490
<b>LOS DOLORES</b>	0.001020	0.008100
<b>MAZARRÓN</b>	0.000900	0.001340

Estos datos corresponden a las mediciones de plomo en aire obtenidas con captadores de alto volumen en las ubicaciones mencionadas. Esta tabla muestra las localidades ordenadas por los niveles medios de plomo en el aire, de mayor a menor, y las fuentes de contaminación asociadas según el estudio.

**Todos los habitantes están respirando plomo en el aire. Especialmente en Estrecho de San Ginés, Llano del Beal, Alumbres y Portman.**

El estudio muestra variaciones significativas en los niveles de plomo en el aire entre los distintos pueblos evaluados. Las diferencias están influenciadas principalmente por la proximidad a fuentes de emisión específicas, como actividades mineras, industriales y agrícolas, así como por las condiciones meteorológicas locales que afectan la dispersión de los contaminantes. Los valores detectados en todas las ubicaciones estuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, sin superar los valores límite legalmente permitidos. Sin embargo, **la OMS considera que no existe un nivel seguro de exposición al plomo, ya que incluso pequeñas concentraciones pueden tener efectos adversos en la salud, especialmente en niños. Los efectos del plomo incluyen daños neurológicos, problemas cardiovasculares y retrasos en el desarrollo.**

Por lo tanto cualquier presencia de plomo en el aire es perjudicial, especialmente para poblaciones vulnerables como los niños donde el efecto neurotóxico es permanente.

**Recomendaciones.**

Es crucial mantener y mejorar las medidas de control de emisiones de plomo y continuar el monitoreo incluyendo MP2.5 y sistemas de mejor nivel de detección y cuantificación para asegurar que los niveles de plomo en el aire se mantengan lo más bajos posible a través de medidas de control.

Fortalecer la experiencia de la Unidad de Medicina Ambiental de transferencia y comunicación de riesgos en la normalización del plomo en las guías clínicas para las comunidades que viven sobre suelos contaminados.

Para más información sobre las guías de calidad del aire de la OMS y su impacto en la salud pública, puedes consultar los siguientes recursos:

WHO Air Quality Guidelines. / EPA Air Quality Guidelines

**El aire que respiran los habitantes del Estrecho de San Ginés, Alumbres y el Llano del Beal tiene 263%, 176% y 172%, respectivamente más de plomo en comparación con el aire que respiran los habitantes de Mazarrón**

## Niveles Medios de Cadmio y referencias de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido directrices para los niveles de cadmio en el aire debido a sus efectos adversos en la salud humana. Según la OMS, el nivel de referencia para la exposición anual al cadmio en el aire es de  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este límite se basa en la evidencia de los efectos carcinogénicos del cadmio, así como en otros problemas de salud como daño renal y enfermedades óseas.

Aquí tienes la tabla con los valores de cadmio en aire obtenidos con captadores de bajo volumen, ordenados de mayor a menor según el valor promedio:

Ubicación	Cadmio Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cadmio Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fuente más Probable
Llano del Beal	0.000096	0.000720	Actividad Minera
Vista Alegre	0.000055	0.000182	Tráfico Local
Santa Lucía	0.000051	0.000051	Tráfico y Actividad Industrial
Portman	0.000050	0.000127	Actividad Minera
La Unión	0.000046	0.000182	Actividad Minera
Los Dolores	0.000053	0.000145	Tráfico Local
Los Belones	0.000048	0.000048	Tráfico Local
Estrecho de San Ginés	0.000049	0.000046	Actividad Minera
Puerto de Mazarrón	0.000048	0.000046	Actividad Portuaria y Tráfico
Roche	0.000045	0.000046	Tráfico y Actividad Industrial
Alumbres	0.000069	0.000291	Actividad Industrial
Mazarrón	0.000046	0.000044	Tráfico y Actividad Industrial

Estos datos corresponden a las mediciones de cadmio en aire obtenidas con captadores de bajo volumen para cada una de las ubicaciones mencionadas.

Ubicación	Cadmio Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cadmio Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Santa Lucía	0.000059	0.000242
Alumbres	0.000041	0.000427
Los Dolores	0.000034	0.000323
La Unión	0.000030	0.000106
Portman	0.000030	0.000083
Mazarrón	0.000029	0.000075

Estos datos proporcionan una visión de las concentraciones de cadmio en aire en las diferentes ubicaciones utilizando captadores de alto volumen.

1. **Santa Lucía:**
  - Bajo Volumen:  $0.000051 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000059 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **Promedio Combinado:**  $(0.000051 + 0.000059) / 2 = 0.000055 \mu\text{g}/\text{m}^3$
2. **Alumbres:**
  - Bajo Volumen:  $0.000069 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000041 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **Promedio Combinado:**  $(0.000069 + 0.000041) / 2 = 0.000055 \mu\text{g}/\text{m}^3$
3. **Los Dolores:**
  - Bajo Volumen:  $0.000053 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000034 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- **Promedio Combinado:**  $(0.000053 + 0.000034) / 2 = 0.000044 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 4. **La Unión:**
  - Bajo Volumen:  $0.000046 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000030 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **Promedio Combinado:**  $(0.000046 + 0.000030) / 2 = 0.000038 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 5. **Portman:**
  - Bajo Volumen:  $0.000050 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000030 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **Promedio Combinado:**  $(0.000050 + 0.000030) / 2 = 0.000040 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 6. **Mazarrón:**
  - Bajo Volumen:  $0.000046 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Alto Volumen:  $0.000029 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - **Promedio Combinado:**  $(0.000046 + 0.000029) / 2 = 0.000038 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla Final Ordenada por Promedio Combinado de Cadmio

<b>Ubicación</b>	<b>Cadmio Promedio Combinado (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Cadmio Máximo (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Fuente más Probable</b>
Llano del Beal	0.000096	0.000720	Actividad Minera
Santa Lucía	0.000055	0.000242	Tráfico y Actividad Industrial clausurada
Alumbres	0.000055	0.000427	Actividad Industrial
Vista Alegre	0.000055	0.000182	Tráfico Local
Los Dolores	0.000044	0.000323	Tráfico Local
La Unión	0.000038	0.000106	Actividad Minera
Portman	0.000040	0.000083	Actividad Minera
Estrecho de San Ginés	0.000049	0.000046	Actividad Minera
Los Belones	0.000048	0.000048	Tráfico Local
Puerto de Mazarrón	0.000048	0.000046	Actividad Portuaria y Tráfico
Roche	0.000045	0.000046	Tráfico y Actividad Industrial
Mazarrón	0.000038	0.000075	Tráfico y Actividad Industrial

Estos datos proporcionan una visión más completa y precisa de las concentraciones de cadmio en aire en las diferentes ubicaciones, considerando tanto los captadores de bajo volumen como los de alto volumen. Esta tabla muestra las localidades ordenadas por los niveles medios de cadmio en el aire, de mayor a menor, y las fuentes de contaminación asociadas según el estudio

**Los niveles de cadmio en el aire en las localidades estudiadas están por debajo de los límites recomendados por la OMS**, lo que sugiere un riesgo menor para la salud pública en términos de exposición al cadmio. Sin embargo, es importante continuar monitoreando estos niveles para asegurar que se mantengan dentro de los límites seguros y para detectar cualquier cambio que pudiera indicar un aumento en la contaminación por cadmio.

**El cadmio es un metal pesado tóxico que, al ser inhalado, puede causar graves efectos en la salud**, incluyendo daños renales, osteoporosis y enfermedades pulmonares como el enfisema y la bronquitis crónica. La exposición crónica a niveles bajos de cadmio puede llevar a la acumulación en los riñones, resultando en disfunción renal, mientras que la exposición a corto plazo a altas concentraciones puede causar irritación pulmonar y daño respiratorio. Además, el cadmio es un carcinógeno conocido, aumentando el riesgo de cáncer de pulmón con la exposición prolongada.

## **Agradecimiento a los autores**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a los autores de este informe, especialmente a Iris y Antonio Jara por su dedicación, esfuerzo y compromiso en la realización de este importante estudio. Su trabajo ha proporcionado una base sólida para comprender mejor la calidad del aire en nuestra región, especialmente en las comarcas mineras y con suelos contaminados, y ayudarnos a comprender mejor los riesgos asociados a la exposición a metales pesados. En mi opinión, su meticulosa investigación y detallado análisis son fundamentales para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y protección de la salud pública. Agradezco profundamente su compromiso con la ciencia y la salud medioambiental, y espero que las recomendaciones que hago sean tenidas en cuenta e implementadas para mejorar la calidad de vida de nuestra comunidad.

Su contribución merece el reconocimiento y la gratitud de todos nosotros.

El estudio realizado representa un paso crucial en la identificación y mitigación de los riesgos asociados a la contaminación del aire por metales pesados. Explicando bien los resultados, considerando las limitaciones y ejercitando una adecuada comunicación del riesgo tengo que decir que es una buena línea de trabajo. Las recomendaciones proporcionadas en esta revisión, junto con un compromiso continuo con la mejora de las metodologías de muestreo y análisis, asegurarán que nuestra región pueda abordar de manera efectiva los desafíos ambientales y proteger la salud pública. Agradezco nuevamente a los autores por su trabajo ejemplar y su dedicación a esta causa vital.