



# Guía breve de métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura

**IOMC**

INTER-ORGANIZATION PROGRAMME FOR THE SOUND MANAGEMENT OF CHEMICALS  
A cooperative agreement among FAO, ILO, UNEP, UNIDO, UNITAR, WHO, World Bank and OECD



**Organización  
Mundial de la Salud**



Catalogación por la Biblioteca de la OMS:

Guía breve de métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura.

1.Plomo – análisis. 2.Pintura – análisis. 3.Plomo – química. 4.Técnicas de química analítica.  
5.Espectrometría por rayos X. 6.Laboratorios. I.Organización Mundial de la Salud.

ISBN 978 92 4 350212 0

(NLM classification: QV 292)

*Esta publicación se elaboró en el marco del Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC). Su contenido no refleja necesariamente los puntos de vista ni las políticas oficiales de las organizaciones participantes en el Programa.*

El Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC) se creó en 1995 siguiendo las recomendaciones formuladas por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medioambiente y Desarrollo de 1992, con el fin de fortalecer la cooperación y aumentar la coordinación internacional en materia de seguridad química. Las organizaciones participantes son la FAO, la OIT, el PNUMA, la ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), el UNITAR (Instituto de las Naciones Unidas para la Formación Profesional y la Investigación), la OMS, el Banco Mundial y la OCDE. El PNUD participa como observador. El objetivo del IOMC es fomentar la coordinación de las políticas y las actividades conjuntas o individuales de las organizaciones participantes, para lograr una gestión racional de las sustancias químicas en materia de salud humana y medioambiente.

### © Organización Mundial de la Salud 2013

Se reservan todos los derechos. Las publicaciones de la Organización Mundial de la Salud están disponibles en el sitio web de la OMS ([www.who.int](http://www.who.int)) o pueden comprarse a Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (tel.: +41 22 791 3264; fax: +41 22 791 4857; correo electrónico: [bookorders@who.int](mailto:bookorders@who.int)). Las solicitudes de autorización para reproducir o traducir las publicaciones de la OMS - ya sea para la venta o para la distribución sin fines comerciales - deben dirigirse a Ediciones de la OMS a través del sitio web de la OMS ([http://www.who.int/about/licensing/copyright\\_form/en/index.html](http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html)).

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan de manera aproximada fronteras respecto de las cuales puede que no haya pleno acuerdo.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Mundial de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan letra inicial mayúscula.

La Organización Mundial de la Salud ha adoptado todas las precauciones razonables para verificar la información que figura en la presente publicación, no obstante lo cual, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni explícita ni implícita. El lector es responsable de la interpretación y el uso que haga de ese material, y en ningún caso la Organización Mundial de la Salud podrá ser considerada responsable de daño alguno causado por su utilización.



## Índice

Nota de agradecimiento .....	iv
1. Finalidad y alcance .....	1
2. Información general .....	1
3. Métodos analíticos disponibles.....	2
3.1 Estuches de pruebas químicas.....	3
3.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil.....	4
3.3 Pruebas de laboratorio .....	5
3.3.1 Espectrometría de absorción atómica por llama .....	6
3.3.2 Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito.....	7
3.3.3 Espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo.....	7
4. Aspectos importantes en los procedimientos de laboratorio.....	7
4.1 Prevención de la contaminación por fuentes externas.....	8
4.2 Garantía de calidad .....	8
5. Elección del método.....	9
6. Referencias.....	10

## Nota de agradecimiento

Este documento fue redactado por el Dr Pascal Haefliger. Las siguientes personas examinaron el texto y formularon observaciones; por este medio se desea agradecer su contribución:

Dr R. Braithwaite, Department of Forensic Science and Drug Monitoring Centre, King's College London, Londres, Inglaterra

Mr P. Gottesfeld, Executive Director, Occupational Knowledge International (OK International), San Francisco, Estados Unidos

Dr I. Naik, Analytical Services, National Health Laboratory Services, National Institute for Occupational Health, Johannesburgo, Sudáfrica

Dr P. Nisse, l'Unité de Toxicovigilance, Centre Antipoison de Lille, Lille, Francia

Dr A. Taylor, Supra-regional Assay Service, Trace Element Laboratory, Centre for Clinical Science, University of Surrey, Guildford, Inglaterra

La redacción final estuvo a cargo de Joanna Tempowski, Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. Marla Sheffer realizó la edición del documento.

La OMS desea agradecer el apoyo financiero del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania.

Para más información sobre este documento, por favor diríjase a [ipcsmail@who.int](mailto:ipcsmail@who.int).

## 1. Finalidad y alcance

Este documento ofrece una breve reseña de los métodos analíticos disponibles para determinar el contenido de plomo de la pintura. Está principalmente dirigido a informar al personal y a los formuladores de políticas de salud ambiental que no son especialistas de laboratorio pero que quizá deban elaborar planes para verificar el contenido de plomo de las pinturas y programas para reducirlo. El documento menciona métodos analíticos de utilidad probada para determinar el contenido de plomo en la pintura, describe brevemente algunas de sus características, ventajas y desventajas, y subraya los elementos a tener en cuenta a la hora de seleccionar el método más apropiado según las exigencias y el contexto. No se pretende proporcionar una descripción exhaustiva de los métodos y protocolos analíticos ni realizar recomendaciones específicas sobre metodología o instrumentos particulares. En la [sección 6](#) se proporcionan los vínculos para acceder a más información y bibliografía adicional.

## 2. Información general

El plomo es un metal tóxico cuyo uso generalizado ha sido la causa de la importante contaminación ambiental y los problemas de salud registrados en muchos lugares del mundo. Se estima que la exposición al plomo provoca 143.000 muertes cada año y es responsable del 0,6% de la carga de morbilidad mundial (1). El plomo es un material tóxico de efecto acumulativo que afecta a diversos sistemas orgánicos, como los sistemas neurológico, hematológico, gastrointestinal y renal. Los niños son especialmente vulnerables a los efectos neurotóxicos del plomo; incluso los niveles bajos de exposición pueden causar daño neurológico grave y, en algunos casos, irreversible. Se estima que la exposición al plomo en los primeros años de vida es un factor que contribuye a la cifra anual de 600 000 nuevos casos de niños con deficiencia intelectual (2).

A pesar de que recientemente se redujo el uso de plomo en combustibles (gasolina), plomería y soldaduras, siguen existiendo fuentes importantes de exposición, como las pinturas a base de plomo. Estas pinturas se han utilizado, y en algunos países se continúan utilizando, para pintar los interiores y exteriores de las casas y otros edificios, y para pintar juguetes, muebles, juegos de parques infantiles y otros artículos con los que los niños pueden entrar en contacto. En prácticamente todos los países hay pinturas a base de plomo. En muchas regiones del mundo todavía se comercializan y se usan; incluso en los países en que se las ha prohibido para usos específicos, siguen existiendo en casas y artículos antiguos (3).

La exposición al plomo no relacionada con el trabajo ocurre principalmente en el hogar, y proviene de la pintura que se ha descascarado o desprendido con el transcurso del tiempo o que ha sido manipulada al realizar trabajos de mantenimiento o renovación. En estas circunstancias se genera polvo que contiene plomo y que puede ser inhalado o ingerido. El terreno que rodea la casa también se puede contaminar. El polvo de los hogares contaminados con plomo ha sido reconocido como uno de los principales factores responsables de la carga corporal total de plomo en los niños (4). En los niños pequeños, el riesgo de ingestión de plomo es particularmente alto a causa de la actividad normal de

llevarse las manos a la boca. Además, algunos niños con el trastorno de conducta alimentaria llamado pica arrancan e ingieren constantemente fragmentos de pintura con plomo. La exposición de los niños pequeños también puede provenir de llevarse a la boca objetos y juguetes pintados. En algunos países, la pintura a base de plomo es quizá la fuente de exposición a altas dosis de plomo más extendida y peligrosa para los niños.

La retirada de la pintura con plomo de los hogares y objetos, y el cese del uso de pinturas a base de plomo para residencias, muebles, equipos y juguetes es una contribución importante a la prevención primaria mundial de la intoxicación por plomo. La posibilidad de determinar las concentraciones de plomo con exactitud, tanto en la pintura nueva como en superficies con la pintura seca es crucial para orientar estas actividades.

### 3. Métodos analíticos disponibles

Para determinar el contenido de plomo de las pinturas, se utilizan principalmente tres enfoques:

- 1) Analizar la pintura *in situ* con un estuche de pruebas químicas.
- 2) Medir la cantidad de plomo en la pintura *in situ* con un dispositivo de espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil.
- 3) Tomar una muestra de la pintura y determinar su contenido de plomo en un laboratorio, mediante diferentes técnicas analíticas.

En las siguientes secciones se describen estos tres enfoques, que se resumen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Resumen de métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura**

Método	Ventajas	Limitaciones
Estuches de pruebas químicas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resultados inmediatos</li><li>• Precio bajo</li><li>• Relativamente fáciles de usar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exactitud limitada</li><li>• Medición cualitativa o semicuantitativa</li><li>• Se pueden analizar principalmente las capas mas superficiales</li><li>• Es probable que se deba dañar la superficie pintada</li><li>• Es difícil observar el cambio de color cuando la pintura es oscura</li></ul>
Espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil	<ul style="list-style-type: none"><li>• Precisión adecuada</li><li>• Resultados inmediatos</li><li>• Bajo costo de funcionamiento</li><li>• No daña las superficies pintadas</li><li>• Es rápida</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El margen de error es potencialmente mayor que el de las pruebas de laboratorio</li><li>• Requiere algún grado de capacitación o certificación</li><li>• Precio relativamente elevado</li><li>• No permite medir la concentración de plomo en objetos pequeños ni en superficies muy curvas o intrincadas, lo que incluye a muchos juguetes</li></ul>



Método	Ventajas	Limitaciones
Pruebas de laboratorio <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el método más preciso</li> <li>• Si se tiene acceso al laboratorio y se analizan pocas muestras es relativamente asequible</li> <li>• No tiene limitaciones técnicas</li> <li>• Permite determinar tanto las fracciones solubles como insolubles de plomo</li> <li>• Se puede usar para analizar pintura fresca (húmeda)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe dañar la superficie pintada</li> <li>• Extremadamente costoso si se deben comprar e instalar los equipos</li> <li>• Exige personal de laboratorio capacitado y estrictas medidas de garantía de la calidad</li> <li>• Los resultados no se obtienen de inmediato</li> </ul>

<sup>a</sup> Existen diferentes métodos analíticos para determinar las concentraciones de plomo en la muestra, como la espectrometría de absorción atómica por llama, la espectrometría de absorción atómica por horno de grafito y la espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Si bien la precisión y los límites de detección de estos métodos difieren, en general todos son apropiados para determinar el contenido de plomo de la pintura con los límites de detección y los niveles de precisión comúnmente requeridos.

### 3.1 Estuches de pruebas químicas

Hay una gran variedad de estuches de pruebas químicas, que van desde las simples pruebas cualitativas hasta las más complejas pruebas semicuantitativas. Muchos se basan en el cambio de color para indicar la presencia de plomo en concentraciones superiores a una concentración determinada. Con los estuches más simples, el resultado puede ser positivo (presencia de plomo en concentraciones superiores a un valor determinado) o negativo (ausencia de plomo en concentraciones superiores a un valor determinado); en el primer caso se observa un cambio de color y en el segundo, no. El umbral de concentración a la que produce el cambio de color depende del estuche de pruebas que se utilice; en algunos de los países en los que se comercializa el estuche este umbral está reglamentado. En los Estados Unidos, por ejemplo, los estuches de pruebas deben detectar concentraciones superiores a 0,5% de su peso en plomo (5000 mg/kg). Algunos estuches de pruebas químicas pueden tener límites de detección más bajos, según las circunstancias en las que se planea utilizarlos.

En el caso de los estuches de pruebas más simples, la pintura se puede analizar mediante un hisopo embebido en un reactivo químico que se frota contra la superficie pintada o tomando un fragmento de pintura de un sitio específico que luego se mezcla con los reactivos en un tubo. Algunos estuches para realizar pruebas rápidas en el lugar utilizan métodos fluorimétricos o fotométricos en fragmentos de pintura. La Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente ha evaluado algunos de estos estuches y en su sitio web se puede encontrar información adicional ([5](#)).

Los estuches de pruebas químicas son relativamente baratos y no requieren personal especializado, aunque la capacitación del usuario permite obtener resultados más fiables. Los resultados se obtienen en el momento. No obstante, este método tiene algunas limitaciones. Los estuches permiten analizar solo las capas de pintura más superficiales; por lo tanto, para analizar las capas inferiores que es más probable que contengan plomo, es necesario raspar la superficie o retirar un fragmento de pintura (según el método). Con algunos estuches puede ser difícil observar el cambio de color, en particular cuando se

analizan pinturas de color oscuro. En general, con estos estuches no es posible determinar la cantidad de plomo presente en la pintura; incluso los métodos semicuantitativos proporcionan solamente intervalos de concentración. Por último, la precisión de los estuches de pruebas químicas puede ser limitada; es decir que pueden indicar erróneamente la presencia de plomo en cantidades superiores a una concentración establecida (falsos positivos) o la ausencia de concentraciones de plomo por encima de un valor determinado (falsos negativos). En este sentido, actualmente la Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente (EPA) acredita que solo tres estuches de pruebas para determinar el contenido de plomo cumplen con los criterios sobre falsos negativos de la norma de 2008 sobre remodelación, reparación y pintura a base plomo. El uso de estos tres estuches se recomienda solamente cuando un contratista certificado los utiliza para analizar la pintura en sustratos específicos. Respecto de los criterios sobre falsos positivos, la EPA no ha reconocido que alguno de los estuches cumpla con los requisitos establecidos en la norma de 2008 mencionada (6). Por estas razones, en general se prefiere usar otros métodos para determinar con exactitud el contenido de plomo de la pintura (7).

### **3.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil**

La espectrometría de fluorescencia de rayos X se basa en el hecho de que el plomo (como muchos otros elementos) expuesto a radiación de alta energía emite rayos X a una frecuencia característica. La intensidad de los rayos se puede medir y relacionar con la cantidad de plomo por unidad de superficie (habitualmente miligramos por centímetro cuadrado). Como en las normas reglamentarias en materia de contenido de plomo de la pintura los valores pueden estar expresados en otras unidades (por ejemplo, partes por millón o concentración porcentual del peso), algunas veces es necesario convertir los resultados de la espectrometría de fluorescencia de rayos X. Los dispositivos portátiles permiten determinar en el lugar la cantidad total de plomo en una superficie pintada sin dañar la pintura ni el sustrato. Estos dispositivos son muy fáciles de usar pero debido al peligro de irradiación requieren una capacitación especial. En algunos países, los operadores deben disponer de certificación.

Los dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X son bastante precisos, aunque el margen de error es mayor que con las pruebas de laboratorio realizadas correctamente (esto es particularmente cierto para los instrumentos basados en tubos de rayos X). En consecuencia, las determinaciones dudosas (lecturas que están dentro del margen de error del dispositivo y en el límite establecido por las normas nacionales para el contenido de plomo en la pintura) deben ser confirmadas mediante una prueba de laboratorio. De acuerdo con su tamaño y características, los dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X requieren una superficie relativamente grande y plana para realizar las mediciones. Por lo tanto, este método es particularmente adecuado para determinar la presencia de plomo en superficies pintadas planas, pero menos aplicable a superficies curvas o extremadamente intrincadas, como la de muchos juguetes, por razones de seguridad, por la escasa fiabilidad de los resultados y la imposibilidad de determinar exactamente la superficie que se está analizando (7, 8). Algunos dispositivos nuevos quizá resuelvan estos problemas.

Diversos fabricantes comercializan dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X portátiles. Su precio es relativamente elevado, y va de aproximadamente US\$ 10.000 a US\$ 50.000, aunque el dispositivo exige escaso mantenimiento y no requiere insumos fungibles. Las mediciones son muy rápidas (aproximadamente un minuto, aunque se pueden obtener resultados menos exactos en un plazo más breve), lo que permite a los operadores analizar en poco tiempo numerosas superficies pintadas.

Las guías para la determinación del contenido de plomo de la pintura mediante dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X se pueden obtener de diversas fuentes, incluidos los fabricantes y las instituciones nacionales ([8](#)).

### 3.3 Pruebas de laboratorio

Este enfoque requiere tomar una muestra de pintura fresca o seca en una superficie y enviarla a analizar a un laboratorio que utiliza diferentes técnicas. Las pruebas de laboratorio exigen la recolección y preparación cuidadosas de las muestras.

Para la pintura seca en superficies, por lo general se recomienda:

- tomar muestras de todas las capas de pintura, ya que es más probable que las capas menos superficiales contengan plomo;
- intentar que la muestra contenga la menor cantidad posible de material de soporte (por ejemplo, madera, yeso, metal) porque esto puede alterar los resultados;
- en un domicilio o edificio, tomar varias muestras representativas de diferentes áreas;
- registrar el lugar del que se tomó cada muestra;
- reparar las superficies de las que se tomaron muestras, para impedir la exposición futura en caso de que la pintura contenga plomo.

Habitualmente, para realizar estas pruebas es necesaria una muestra de como mínimo 300 mg, aunque esto depende de la concentración de plomo, la preparación de la muestra y el método de análisis. Los resultados se pueden obtener en porcentaje del peso si se determina el peso de la muestra o en peso por unidad de superficie si se puede establecer la superficie exacta de la muestra.

En el laboratorio, antes de realizar las pruebas se debe procesar la muestra de pintura. Para determinar la cantidad total de plomo, la muestra se procesa por digestión ácida. Para determinar el plomo soluble (la cantidad de plomo que probablemente pueda ser absorbida si un niño lame o ingiere la pintura) se utiliza un proceso de extracción ácida. Las razones por las que se realizan las pruebas y las reglamentaciones nacionales pertinentes determinan qué se mide, si el plomo total o el plomo soluble ([9, 10](#)).

Las pruebas se llevan a cabo mediante diferentes técnicas, como espectrometría de absorción atómica por llama, espectrometría de absorción atómica por horno de grafito, y espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Las guías y recomendaciones, así como los procedimientos normalizados para la recolección, la preparación y el análisis de las muestras por estos u otros métodos se pueden obtener de numerosas fuentes, incluidos los fabricantes, las instituciones nacionales y los organismos internacionales de normalización ([8–16](#)).

Se considera que las pruebas de laboratorio son el método más exacto para determinar el contenido de plomo de la pintura, siempre que se realicen conforme a principios de garantía de calidad apropiados (véase la [sección 4.2](#)) y, en el caso escamas de pintura, que la muestra incluya todas las capas de pintura pero no el material del sustrato ([17](#)). Con este método es inevitable perjudicar las superficies pintadas, que se deben reparar. Es el único que permite determinar el contenido de plomo de la pintura fresca. La recolección, el transporte y el análisis de las muestras insumen tiempo y recursos financieros. Las pruebas solo pueden realizarlas técnicos de laboratorio capacitados, en laboratorios con la infraestructura necesaria.

En las siguientes secciones se describen brevemente las técnicas instrumentales más comúnmente utilizadas para determinar en el laboratorio el contenido de plomo en escamas de pintura: espectrometría de absorción atómica por llama, espectrometría de absorción atómica por horno de grafito, y espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo ([11](#), [18](#)). Si bien los niveles de precisión y límites de detección de estos métodos son diferentes, todos son apropiados para determinar el contenido de plomo de la pintura con los niveles de exactitud y límites de detección habitualmente requeridos. Otros métodos de uso menos frecuente que no se describen aquí son la espectrometría de masa con fuente de plasma de acoplamiento inductivo, la espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de corriente continua, la espectrofotometría con ditizona, la voltamperometría de redisolución anódica y la voltamperometría de redisolución potenciométrica.

### **3.3.1 Espectrometría de absorción atómica por llama**

La espectrometría de absorción atómica se basa en el principio de que los átomos libres absorben la luz a longitudes de onda características del elemento que se desea estudiar: 283,3 nm en el caso de los átomos de plomo en estado basal. La cantidad de luz absorbida se puede correlacionar de manera lineal con la concentración del analito en la muestra. Para realizar una determinación mediante espectrometría de absorción atómica, es necesario procesar primero la muestra que contiene plomo, para generar átomos en estado basal en forma de vapor en la trayectoria del haz luminoso del instrumento, un proceso al que se denomina atomización. En la espectrometría de absorción atómica por llama se utiliza una llama laminar de una mezcla de acetileno y aire o de óxido nitroso, acetileno y aire para atomizar el plomo a temperaturas de hasta 2600 °C.

Los límites de detección de la espectrometría de absorción atómica por llama son modestos, pero suficientes en la mayoría de los casos. Como el método requiere la aspiración directa de la muestra, se necesita una solución obtenida por digestión de aproximadamente 5 ml para la aspiración y la medición de una señal estable. En las determinaciones por espectrometría de absorción atómica por llama puede haber algún grado de interferencia proveniente de la dispersión de la luz y la absorción molecular por los componentes de la matriz, que se pueden corregir apropiadamente con diferentes métodos. Los dispositivos de espectrometría de absorción atómica por llama, cuyo uso exige algún grado de preparación técnica, se comercializan ampliamente, con cargadores de muestras automáticos o sin ellos. El costo inicial del dispositivo es relativamente bajo, y los insumos fungibles, como el gas de acetileno son relativamente poco costosos. Los equipos requieren escaso mantenimiento y tienen capacidad para procesar varias muestras por minuto.

### **3.3.2 Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito**

La espectrometría de absorción atómica por horno de grafito es una técnica de absorción atómica que utiliza un tubo de grafito calentado mediante electricidad para vaporizar y atomizar el analito a temperaturas de hasta 3000 °C, antes de su detección. Los límites de detección de este método son extremadamente bajos y solo se requieren pequeños volúmenes de solución obtenida por digestión (de aproximadamente 20 µl).

En la espectrometría de absorción atómica por horno de grafito se pueden producir interferencias significativas por dispersión de la luz y absorción molecular por parte de los componentes de la matriz, pero esto se puede corregir apropiadamente mediante diversos métodos, como utilizar modificadores de la matriz. Los dispositivos deben ser operados por técnicos de laboratorio capacitados.

Los equipos de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito están ampliamente disponibles y requieren cargadores de muestras automáticos para aumentar su rendimiento. El costo inicial de los instrumentos es intermedio, y los costos de mantenimiento y material fungible son importantes. El equipo tiene capacidad para procesar aproximadamente una muestra cada dos o tres minutos.

### **3.3.3 Espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo**

La espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo utiliza una fuente de plasma de acoplamiento inductivo (un gas ionizado a temperatura extremadamente alta compuesto de electrones e iones cargados positivamente) para disociar la muestra en sus átomos o iones constituyentes. En estas condiciones de alta energía, el plomo (como muchos otros elementos) emite luz a longitudes de onda características. La cantidad de luz emitida se puede medir y correlacionar con la concentración de plomo en la muestra. Los dispositivos de espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo tienen la ventaja de que permiten determinar distintos elementos simultáneamente.

El límite de detección para el plomo es intermedio, pero suficiente para medir con precisión el contenido de plomo en la pintura en las concentraciones más frecuentemente detectadas. El volumen requerido para la muestra no es muy grande. Algunas interferencias espectrales son habituales, pero es posible corregirlas. Estos equipos deben ser operados por personal de laboratorio capacitado. El costo inicial de los instrumentos es importante, pero el principal insumo fungible es el argón. Los costos de mantenimiento son relativamente elevados a causa del diseño complejo de los instrumentos para la espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. La capacidad de procesar muestras es intermedia, por lo general de una muestra por minuto.

## **4. Aspectos importantes en los procedimientos de laboratorio**

En el campo de la química analítica, incluso con el equipo más sofisticado y preciso se pueden obtener resultados incorrectos si las muestras no se recolectan y manipulan correctamente, si los equipos no se usan de manera adecuada o si no se siguen los

protocolos analíticos. Las dos principales cuestiones asociadas con las determinaciones del contenido de plomo de la pintura son la contaminación inadvertida y la insuficiente garantía de la calidad. En las siguientes secciones se analizan brevemente estos problemas.

#### **4.1 Prevención de la contaminación por fuentes externas**

El plomo es un elemento ubicuo y puede contaminar las muestras por diferentes vías, en particular cuando se analizan fragmentos de pintura en el laboratorio. La contaminación puede ocurrir durante la recolección, el almacenamiento y el transporte de las muestras. Por lo tanto, la garantía de la calidad de la recolección y la manipulación de la muestra es un aspecto crucial para determinar con exactitud el contenido de plomo de la pintura. La manipulación de la muestra en el laboratorio entraña un riesgo de contaminación similar al de la recolección de la muestra en el terreno. En la medida de lo posible, los laboratorios deben estar exentos de plomo y el personal debe recibir capacitación adecuada para impedir la contaminación de las muestras. Existen protocolos específicos para los distintos métodos analíticos, incluidos los que proveen los fabricantes y los de los organismos internacionales de normalización ([8–15](#)). Estos protocolos se deben seguir estrictamente. Los riesgos de contaminación se pueden disminuir considerablemente adoptando las medidas de aseguramiento de la calidad apropiadas.

#### **4.2 Garantía de la calidad**

Garantía de la calidad es un concepto que comprende todos los pasos que se deben dar para asegurar que los resultados del laboratorio sean fiables y reproducibles. Incluye prácticas científicas y técnicas racionales en las investigaciones del laboratorio, en la selección, la recolección, el almacenamiento y el transporte de las muestras, y en el registro, la notificación y la interpretación de los resultados. También abarca los métodos de capacitación y gestión para mejorar la fiabilidad de los resultados. Desde el punto de vista de un análisis, la garantía de la calidad se puede dividir en dos etapas: 1) evaluación inicial de un método analítico en términos de viabilidad y validez, lo que incluye linealidad, especificidad, recuperación, patrones de calibración, “blancos” e interferencias; y 2) evaluaciones posteriores de la calidad.

La evaluación de la calidad es la evaluación de la calidad de los resultados analíticos. Tiene dos componentes:

- 1) la evaluación interna, que incluye un conjunto de procedimientos utilizados por el personal de un laboratorio para evaluar continuamente los resultados a medida que se producen, con el fin de establecer si son suficientemente fiables como para difundirlos;
- 2) la evaluación externa, que es un mecanismo para inspeccionar objetivamente el desempeño del laboratorio y que realiza un organismo externo.

Se pueden consultar otras fuentes de información más detalladas sobre garantía de la calidad del laboratorio y gestión de la calidad, y también sobre programas de evaluación externa de la calidad específicamente relacionados con las determinaciones de plomo en muestras ambientales ([19–21](#)).



Es fundamental que el laboratorio que realiza el análisis de la muestra de pintura adopte medidas apropiadas de garantía de la calidad; entre ellas, si fuera posible, una evaluación externa. También se debe considerar la adhesión a un mecanismo nacional o internacional de acreditación.

## 5. Elección del método

La elección de un método depende de distintos factores, como el nivel de exactitud requerido, el sustrato que se debe analizar (si es pintura fresca o una superficie pintada) la disponibilidad de personal capacitado y equipos, y los recursos financieros.

A raíz de su escasa precisión y de las limitaciones prácticas, y a pesar de que son muy fáciles de usar, los estuches para pruebas químicas por lo general no se consideran recomendables para determinaciones exactas del contenido de plomo de la pintura, con la excepción de unos pocos estuches para aplicaciones específicas en circunstancias determinadas ([6, 7](#)).

Los analizadores de pintura a base de plomo de espectrometría de fluorescencia de rayos X portátiles son los dispositivos de análisis primario más utilizados para inspeccionar domicilios. La razón es su utilidad comprobada para determinar la presencia de pintura a base de plomo en numerosas superficies y medir el contenido de plomo de la pintura sin necesidad de dañar la superficie para tomar la muestra ni retirar la pintura; además, estos dispositivos permiten realizar las determinaciones sumamente rápido, con un costo reducido por muestra. No obstante, este método no se puede usar para investigar artículos pequeños ni superficies curvas o intrincadas, como las de muchos juguetes.

En general, se considera que las pruebas de laboratorio son el método más preciso para medir el contenido de plomo de la pintura, siempre que se cumplan los requisitos para una adecuada garantía de la calidad ([17](#)). Sin embargo, este proceso exige personal capacitado, además de que la recolección y el transporte de las muestras y las pruebas en el laboratorio llevan un tiempo considerable. Si las pruebas se realizan en un laboratorio comercial, el costo por muestra es relativamente elevado. Si se desea analizar pintura seca, será inevitable dañar la superficie para tomar la muestra. Por estas razones, habitualmente no se recomienda determinar el contenido de plomo de la pintura únicamente mediante pruebas de laboratorio, y con frecuencia se prefieren los dispositivos de espectrometría de fluorescencia de rayos X portátiles ([8](#)). No obstante, las pruebas de laboratorio se recomiendan en las siguientes situaciones:

- cuando se investiga pintura fresca;
- cuando se requieren altos niveles de precisión, límites de detección bajos o ambas cosas;
- cuando se desea investigar artículos pequeños, como juguetes, y áreas inaccesibles o partes de un edificio de superficie irregular que no es posible analizar con un dispositivo de espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil;
- para confirmar resultados dudosos obtenidos con espectrometría de fluorescencia de rayos X.

Si se opta por las pruebas de laboratorio, existen numerosos métodos como la espectrometría de absorción atómica por llama, la espectrometría de absorción atómica por horno de grafito y la espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. Todos son apropiados para determinar el contenido de plomo de la pintura con los límites de detección y los niveles de exactitud comúnmente requeridos, siempre que se observen las directrices, los procedimientos operativos normalizados y las estrictas medidas de garantía de la calidad. La elección del método dependerá de diversos factores, como:

- disponibilidad de equipos operativos y de un laboratorio;
- disponibilidad de personal de laboratorio apropiadamente capacitado;
- alcance de las medidas de garantía de la calidad del laboratorio;
- cantidad de muestras y tiempo hasta que se obtienen los resultados;
- costos de las pruebas, incluidos los costos de funcionamiento y de mantenimiento de los equipos;
- precio de los equipos y costos de instalación en el caso de que sea necesario adquirir nuevos instrumentos;
- acceso a un laboratorio externo si no existe capacidad local para realizar las pruebas.

## 6. Referencias

1. *Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2009 ([http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/Global\\_HealthRisks\\_report\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/Global_HealthRisks_report_full.pdf), consultado el 20 de diciembre de 2010).
2. *Exposure to lead: A major public health concern*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2010 (<http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
3. *Global study to determine lead in new decorative paints in 10 countries: Executive summary*. New Delhi, Toxics Link, 2009 ([http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/paint\\_executivesummary.pdf](http://www.ipen.org/ipenweb/documents/work%20documents/paint_executivesummary.pdf), consultado el 20 de diciembre de 2010).
4. Bornschein RL et al. Exterior surface dust lead, interior house dust lead and childhood lead exposure in an urban environment. En: Hemphill DD, ed. *Trace substances in environmental health. Vol. 20*. Proceedings of the University of Missouri's 20th Annual Conference, Junio de 1986. Columbia, MO, University of Missouri, 1987:322–332.
5. *Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010)*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program (<http://www.epa.gov/nrmrl/std/etv/este.html#pcqstklp>, consultado el 30 de diciembre de 2010).
6. *EPA recognition of lead test kits*. Washington, DC, Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (<http://www.epa.gov/lead/pubs/testkit.htm>, consultado el 30 de diciembre de 2010).



7. *Lead-based paint: Testing methods*. Missoula, MT, United States Department of Agriculture Forest Service, Technology & Development Program, 1996 (<http://www.fs.fed.us/eng/pubs/htmlpubs/hml96712353/>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
8. *Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing*. Washington, DC, United States Department of Housing and Urban Development, 1995 (<http://www.hud.gov/offices/lead/lbp/hudguidelines/index.cfm>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
9. *ASTM F963 - 08 Standard consumer safety specification for toy safety*. West Conshohocken, PA, ASTM International, 2008 (<http://www.astm.org/Standards/F963.htm>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
10. *ISO 8124-3:2010 Safety of toys—Part 3: Migration of certain elements*. Ginebra, Suiza, Organización Internacional de Normalización, 2010 ([http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43471](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43471), consultado el 31 de mayo de 2010).
11. *Pb-based paint laboratory operations guidelines: Analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, 1993 (EPA 747-R-92-006; <http://www.epa.gov/lead/pubs/92-006.pdf>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
12. *ASTM E1729 - 05 Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination*. West Conshohocken, PA, ASTM International, 2005 (<http://www.astm.org/Standards/E1729.htm>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
13. *ASTM E1645 - 01(2007) Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis*. West Conshohocken, PA, ASTM International, 2007 (<http://www.astm.org/Standards/E1645.htm>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
14. Binstock D et al. *Standard operating procedures for lead in paint by hotplate- or microwave-based acid digestions and atomic absorption or inductively coupled plasma emission spectrometry*. Research Triangle Park, NC, Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, 1991 ([http://cfpub.epa.gov/ols/catalog/catalog\\_display.cfm?&FIELD1=AUTHOR&INPUT1=Grohse%20AND%20P%20AND%20M&TYPE1=ALL&item\\_count=9](http://cfpub.epa.gov/ols/catalog/catalog_display.cfm?&FIELD1=AUTHOR&INPUT1=Grohse%20AND%20P%20AND%20M&TYPE1=ALL&item_count=9), consultado el 20 de diciembre de 2010).
15. *ASTM E1613 - 04 Standard test method for determination of lead by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), flame atomic absorption spectrometry (FAAS), or graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) techniques*. West Conshohocken, PA, ASTM International, 2004 (<http://www.astm.org/Standards/E1613.htm>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
16. *Test method: CPSC-CH-E1003-09: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings*. Gaithersburg, MD, United States Consumer Product Safety Commission, 2009 (<http://www.cpsc.gov/about/cpsia/CPSC-CH-E1003-09.pdf>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
17. Schmehl RL et al. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999, 60:444–451.
18. Flanagan RJ et al. *Fundamentals of analytical toxicology*. John Wiley & Sons Ltd, 2007.

*Guía breve de métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura*

19. *Environmental Lead Proficiency Analytical Testing (ELPAT) Program*. Fairfax, VA, AIHA Proficiency Analytical Testing Programs, LLC (<http://www.aihapat.org/ProficiencyTesting/Programs/elpat/Pages/default.aspx>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
20. *Quality assurance*. San Francisco, CA, United States Environmental Protection Agency, Region 9 Quality Assurance Office (<http://www.epa.gov/region9/ga/>, consultado el 20 de diciembre de 2010).
21. *Laboratory quality management system training toolkit*. Lyon, Organización Mundial de la Salud, Reglamento Sanitario Internacional ([http://www.who.int/ihr/training/laboratory\\_quality/en/index.html](http://www.who.int/ihr/training/laboratory_quality/en/index.html), consultado el 20 de diciembre de 2010).

ISBN 978 92 4 350212 0

