



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

Segunda edición

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

Segunda edición



**Organización
Mundial de la Salud**



fmam FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL
INVERTIMOS EN NUESTRO PLANETA

Guía breve de los métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura, segunda edición
[Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]

ISBN 978-92-4-000832-8 (versión electrónica)

ISBN 978-92-4-000833-5 (versión impresa)

© Organización Mundial de la Salud 2020

Algunos derechos reservados. Esta obra está disponible en virtud de la licencia 3.0 OIG Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual de Creative Commons (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>).

Con arreglo a las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la OMS refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la OMS. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse la siguiente nota de descargo junto con la forma de cita propuesta: “La presente traducción no es obra de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en inglés será el texto auténtico y vinculante”.

Toda mediación relativa a las controversias que se deriven con respecto a la licencia se llevará a cabo de conformidad con las Reglas de Mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.

Forma de cita propuesta. Guía breve de los métodos analíticos para determinar el contenido de plomo de la pintura, segunda edición [Brief guide to analytical methods for measuring lead in paint, second edition]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2020. Licencia: [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo).

Catalogación (CIP). Puede consultarse en <http://apps.who.int/iris>.

Ventas, derechos y licencias. Para comprar publicaciones de la OMS, véase <http://apps.who.int/bookorders>. Para presentar solicitudes de uso comercial y consultas sobre derechos y licencias, véase <http://www.who.int/about/licensing>.

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo cuadros, figuras o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. Recae exclusivamente sobre el usuario el riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros.

Notas de descargo generales. Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la OMS, 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 OMS los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan letra inicial mayúscula.

La OMS 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 OMS podrá ser considerada responsable de daño alguno causado por su utilización.

Traducción de TRADAS. Si hubiera alguna inconsistencia entre la edición en inglés y en español, la edición original en inglés será el texto auténtico y vinculante.

Diseño de Lushomo

Índice

Agradecimientos	iv
Abreviaciones	v
1. Objetivo y alcance	1
2. Antecedentes	1
3. Medición del contenido de plomo de la pintura	2
3.1 Medición del plomo total frente al plomo soluble	3
3.2 Unidades de medida	3
3.3 Métodos de muestreo	4
3.3.1 Pintura nueva	4
3.3.2 Pintura existente	4
4. Métodos analíticos que se usan para determinar el contenido de plomo de la pintura	5
4.1 Métodos de laboratorio	5
4.1.1 Espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS)	5
4.1.2 Espectrometría de absorción atómica electrotérmica (ETAAS) o espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS)	6
4.1.3 Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)	6
4.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)	6
4.2.1 HDXRF de laboratorio	7
4.2.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil (XRF)	7
Espectrometría de fluorescencia de rayos X convencional (XRF)	7
Espectrometría de fluorescencia de rayos X de alta definición (HDXRF)	8
4.3 Estuches de pruebas químicas	9
5. Elección del método más adecuado	11
5.1 Elección del laboratorio	12
5.2 Cómo encontrar un laboratorio	12
5.3 Establecer un servicio de laboratorio para medir el contenido de plomo de la pintura	13
6. Aspectos importantes sobre la práctica de laboratorio	14
6.1 Prevención de la contaminación por fuentes externas	14
6.2 Garantía y control de la calidad	14
6.2.1 Pruebas in situ	15
6.3 Normas, certificación y acreditación	15
7. Conclusiones	16
8. Referencias	17
Anexo	21

Agradecimientos

El Dr. Pascal Haefliger, del Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud, escribió la primera edición de este documento. Elena Jardan y Joanna Tempowski, del Departamento de Medio Ambiente, Cambio Climático y Salud de la Organización Mundial de la Salud, lo actualizaron.

Las siguientes personas revisaron y formularon observaciones sobre el documento actualizado, cuyas contribuciones se agradecen:

Angela Bandemehr, Especialista principal en protección ambiental internacional, Oficina de Asuntos Globales y Política de la Oficina de Asuntos Internacionales y Tribales, Agencia para la Protección del Medio Ambiente, Washington DC, Estados Unidos de América.

Sara Brosché, Gestora de la Campaña Mundial para Eliminar la Pintura con Plomo, Red Internacional de Eliminación de los COP (IPEN, por sus siglas en inglés), Gotemburgo, Suecia.

Kalavati Channa, Científico médico, Lancet Laboratories, Johannesburgo, Sudáfrica.

Perry Gottesfeld, Director Ejecutivo de Occupational Knowledge International (OK International), San Francisco, Estados Unidos de América.

Khalidia Khamidulina, Directora del Registro Ruso de Sustancias Químicas y Biológicas Potencialmente Peligrosas, Moscú, Rusia.

Angela Mathee, Directora de la Unidad de Investigación sobre Medio Ambiente y Salud del Consejo de Investigaciones Médicas de Sudáfrica, Tygerberg, Sudáfrica.

Olga Speranskaya, Asesora principal de IPEN y vicepresidenta de la Junta de Eco-Accord, Moscú, Federación de Rusia.

Howard Varner, Director de Laboratorio, Environmental Hazards Services LLC, Richmond, Estados Unidos de América.

Todos los revisores rellenaron un formulario de declaración de intereses de la OMS, que el Oficial Técnico de la OMS revisó. No se detectaron conflictos de intereses.

John Dawson realizó la edición de este documento.

La OMS elaboró el presente documento en el marco del proyecto 9771 del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM): “Las mejores prácticas mundiales sobre los asuntos emergentes de política química que son motivo de preocupación en el marco del Enfoque estratégico en la gestión de los productos químicos a nivel internacional (SAICM)”. El PNUMA implementa este proyecto y la Secretaría del SAICM se encarga de su ejecución. La OMS agradece la contribución financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial para la elaboración, la edición y el diseño del documento.

Este documento es una contribución a “Productos químicos seguros: hacia productos más seguros para nuestro medio ambiente y nuestra salud”.

Para obtener más información sobre este documento, envíe un correo electrónico a ipcsmail@who.int.

Abreviaciones

AAS	Espectrometría de absorción atómica
AIHA	Asociación Americana de Higiene Industrial
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AVAD	Años de vida ajustados en función de la discapacidad
cm	centímetro
EDXRF	Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva
ELLAP	Programa Ambiental de Acreditación para Laboratorios de Plomo
ELPAT	Programa de Pruebas Analíticas de Competencia en Entornos con Plomo
EQA	AGarantía externa de la calidad
ETAAS	Espectrometría de absorción atómica electrotérmica
FAAS	Espectrometría de absorción atómica de llama
GFAAS	Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito
HDXRF	Fluorescencia de rayos X de alta definición
ICP-AES	Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente
ICP-MS	Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente
ILAC	Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios
ISO	Organización de Normas Internacionales
kg	kilogramo
mg	miligramo
ml	mililitro
μl	microlitro
ppm	partes por millón
XRF	Fluorescencia de rayos X

1. Objetivo y alcance

El presente documento proporciona una breve visión general sobre los métodos analíticos que están disponibles para medir el contenido de plomo de la pintura. Su objetivo principal es informar al personal de salud pública, las instituciones científicas y los responsables de formular las políticas que no son especialistas de laboratorio pero que tendrían que elaborar planes para medir la concentración de plomo en la pintura nueva y para realizar estudios sobre la disponibilidad de la pintura con plomo¹ en el mercado para que los consumidores la compren.

En el documento se enumeran los métodos analíticos ya consolidados para medir el contenido de plomo de la pintura y se describen brevemente algunas de las características de estos métodos, incluidas sus ventajas y limitaciones. También se destacan, para diversos tipos de aplicaciones y escenarios, las consideraciones a la hora de decidir si se aplica un método de laboratorio o una tecnología portátil, y si se establece un servicio

de laboratorio para medir el plomo o se adquieren servicios de otro laboratorio. Este documento no pretende ofrecer una descripción de los métodos y protocolos analíticos ni formular recomendaciones concretas sobre métodos o instrumentos específicos. Se puede obtener información técnica detallada sobre este tema en otras publicaciones, además se incluyen enlaces a información adicional en la sección de referencias y en el anexo.

2. Antecedentes

El plomo es un metal tóxico cuyo uso generalizado ha provocado una amplia contaminación medioambiental y problemas sanitarios en muchas partes del mundo. Se estimó que la exposición humana al plomo en 2017 causaría 1,06 millones de muertes y la pérdida de 24,4 millones de años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD) por los efectos a largo plazo sobre la salud, y que la mayor carga recaería en los países de ingresos bajos y medios (1).

El plomo es una sustancia tóxica acumulativa que afecta a diversos sistemas del organismo, incluidos los sistemas neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular y renal. Los efectos a largo plazo incluyen un mayor riesgo de hipertensión, cardiopatía isquémica y enfermedad renal. Los niños son especialmente vulnerables a los efectos neurotóxicos del plomo. Incluso unos niveles de exposición relativamente bajos pueden perjudicar el desarrollo cognitivo y causar trastornos de conducta. Estos efectos pueden ser de por vida (2).

A pesar de las últimas reducciones en el uso del plomo en la gasolina, las cañerías y las soldaduras, todavía quedan fuentes importantes de exposición al plomo, incluida la pintura con plomo. La pintura con plomo se puede utilizar para pintar los interiores y los exteriores de las casas, las escuelas y de otros edificios; para pintar juguetes, muebles, equipos de juegos y otros artículos que los niños pueden tocar; y para pintar señales de tráfico en las carreteras, los puentes y en otras estructuras externas. La pintura que tiene altos niveles de plomo todavía está

1 La Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en la Pintura y la Ley Modelo y Guía para la Regulación de la Pintura con Plomo define la "pintura con plomo" como toda pintura que presente niveles superiores a un límite máximo, por ejemplo, 90 ppm.

disponible y en uso en muchas partes del mundo (3, 4). Incluso en los países en donde se ha prohibido para usos específicos, la pintura con plomo se puede encontrar en casas antiguas y en artículos (5).

Las personas se pueden exponer al plomo de la pintura de fuentes ocupacionales y del entorno, principalmente a través de la ingestión y la inhalación. La exposición ocupacional puede ocurrir durante la fabricación de pinturas, cuando se aplican o se retiran las pinturas y cuando se renuevan o se derriban edificios y estructuras pintadas con pintura a base de plomo. La remoción de la pintura con plomo mediante la quema produce vapores y partículas de plomo. Los métodos de remoción de pintura abrasiva, como el lijado, producen grandes cantidades de polvo de plomo que se pueden inhalar e ingerir. Aunque la pintura de plomo intacta en buen estado no representa un

peligro para la salud, esta pintura se descompone con el tiempo, fragmentándose en escamas y en polvo que pueden contaminar el entorno doméstico (6).

El polvo doméstico contaminado con plomo es uno de los principales contribuyentes a la carga corporal total de plomo en los niños (7). Los niños pequeños son particularmente vulnerables a la exposición al plomo porque absorben alrededor del 40 % y 50 % de la cantidad ingerida (8). Además, la curiosidad innata de los niños y su hábito de llevarse la mano a la boca, apropiado para su edad, hace que se lleven a la boca e ingieran elementos que contienen o están recubiertos de plomo, como tierra o polvo contaminados y escamas de pintura de plomo en descomposición (8). Además, los niños con pica pueden comer de forma persistente escamas de pintura con plomo o tierra contaminada con plomo.

3. Medición del contenido de plomo de la pintura

Hay dos razones principales para medir el contenido de plomo de la pintura:

- a) para evaluar las pinturas nuevas, ya sea para comprobar el cumplimiento de las restricciones reglamentarias o legales, o como parte de un estudio de mercado para averiguar si se venden pinturas con plomo;
- b) para averiguar si la pintura existente en las superficies de las casas o de otros entornos, en los muebles, el equipo de los patios de recreo o en los juguetes, contiene plomo, con el fin de determinar si se necesitan medidas de gestión de riesgos.

Las pruebas de cumplimiento para hacer cumplir el límite legal de plomo en la pintura nueva se realizan de dos formas. Un fabricante (o importador o distribuidor) puede enviar muestras de pintura a un laboratorio de terceros que analizará la pintura y emitirá una declaración de conformidad, siempre que el contenido de plomo de la pintura esté dentro de los límites requeridos. Una autoridad reguladora o de aplicación de la ley también puede llevar a cabo inspecciones y analizar las pinturas para ver si se ajustan al límite de plomo requerido,

con la posibilidad de sanciones en caso de incumplimiento (9).

Los resultados de los estudios de mercado de las pinturas nuevas se pueden utilizar para aportar pruebas sobre la necesidad de mejorar la regulación y la aplicación de la ley por parte de los gobiernos. Los estudios también pueden proporcionar información a los consumidores para que puedan tomar decisiones de compra informadas, además de ejercer presión para que el gobierno controle la

pintura con plomo. Esos estudios también pueden alentar a los fabricantes a reformular sus productos de manera voluntaria.

Cuando se analiza la pintura existente que se aplicó a las paredes o a otras superficies y se descubre que contiene altos niveles de plomo, las medidas de gestión del riesgo pueden incluir la estabilización o la remoción de la pintura con plomo. Tenga en cuenta que cuando se retira la pintura con plomo se deben seguir procedimientos especiales para minimizar la liberación de plomo y la exposición de los trabajadores y de otras personas. En el caso de los juguetes u otros productos, las medidas típicas de gestión de riesgos incluirían la detención de las mercancías en las aduanas, la retirada de los productos del mercado y la emisión de alertas a los consumidores.

3.1 Medición del plomo total frente al plomo soluble

La concentración de plomo en la pintura se puede medir mediante el uso de métodos que cuantifican el contenido total de plomo o el contenido de plomo soluble. La mayoría de las normas reguladoras de la pintura nueva se basan en el contenido total de plomo, que es la medida recomendada tal como se describe en la *Ley modelo y guía para la regulación de la pintura con plomo* (9).

El plomo total se mide al extraer todo el plomo presente en la muestra de pintura. Representa la cantidad total de plomo que se podría absorber por la ingestión o la inhalación de las escamas y el polvo de la pintura en descomposición o desgastada, o por los vapores que se producen al quemar la pintura.

El contenido de plomo soluble es la cantidad de plomo que se puede extraer mediante una prueba de laboratorio estándar que implica la incubación de una muestra de película de pintura con ácido diluido. En ocasiones, el contenido de plomo soluble

se mide suponiendo que representa la cantidad de plomo bioaccesible y potencialmente disponible para su absorción cuando se ingieren o se comen los fragmentos de pintura o los objetos recubiertos con plomo (10, 11). Sin embargo, cuando se evalúa la pintura con plomo, esta medición no representa con precisión todo el plomo que se puede absorber (12). Además, las pinturas con un bajo contenido de plomo soluble pueden tener un alto contenido de plomo total (10). Por ejemplo, en un estudio reciente que se realizó en China se comprobó que más de la mitad de las pinturas cuyo contenido de plomo soluble se había medido por debajo de 90 partes por millón (ppm) tenían un contenido total de plomo superior a 90 ppm, que llegaba hasta 17 400 ppm (11).

3.2 Unidades de medida

El contenido de plomo de la pintura se puede expresar como una concentración en masa o una concentración por unidad de área en una superficie pintada (también conocida como carga de plomo). La concentración en masa se utiliza para la pintura nueva y la mayoría de las normas reguladoras se refieren a la cantidad total de plomo en la película de pintura seca expresada en porcentaje, en ppm o en miligramos por kilogramo (mg/kg). En el caso de la pintura existente en las superficies, el contenido de plomo se puede expresar como la concentración en masa (por ejemplo, en ppm) o como la cantidad por unidad de superficie en miligramos por centímetro cuadrado (mg/cm²).

Cabe señalar que las mediciones de concentración en masa y de carga de plomo no son intercambiables. No existe una relación precisa entre las mediciones de laboratorio de la pintura en las superficies expresadas en ppm y en mg/cm² debido a las variaciones en la composición y en el espesor de la pintura y la posible inclusión de material de sustrato durante el análisis.

En la tabla 1 se resumen las unidades que los distintos métodos emplean para notificar de los resultados.

Tabla 1. Unidades en las que se notifica de los resultados mediante el uso de distintos métodos

Método	Pintura nueva	Superficies de pintura existentes
Análisis de laboratorio	ppm, % o mg/kg	ppm, %, mg/kg o mg/cm ²
Fluorescencia de rayos X convencional portátil (XRF)	ppm o %	mg/cm ² , ppm (pero consulte la nota a pie de página c)
Fluorescencia de rayos X de alta definición portátil (HDXRF)	ppm	mg/cm ² , ppm

Notas:

- (a) No existe una equivalencia matemática entre ppm y mg/cm²;
- (b) 0,009 % = 90 ppm = 90 mg/kg
- (c) Algunos dispositivos de XRF tienen la opción de calcular y mostrar las unidades en ppm, pero la densidad y el espesor de la pintura se deben introducir para permitir este cálculo (Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, comunicación personal de noviembre de 2019).

3.3 Métodos de muestreo

El método de recolección de muestras depende de si se está analizando pintura nueva o existente, y del método analítico que se aplique.

3.3.1 Pintura nueva

Para analizar la pintura nueva (por ejemplo, de la pintura en una lata), el método habitual consiste en aplicar una capa fina de pintura a una superficie no metálica y homogénea, como un portaobjetos de vidrio o un trozo plano y liso de madera, que luego se deja secar. A continuación, la pintura se raspa, se prepara y se analiza en el laboratorio mediante una de las técnicas instrumentales descritas más adelante en la sección 4.1 (13). El contenido de plomo en la película de pintura seca también se puede medir directamente al usar la fluorescencia de rayos X de alta definición (HDXRF, por sus siglas en inglés), sin necesidad de raspar la pintura de la superficie de prueba.

Las muestras líquidas de pintura se pueden analizar con instrumentos HDXRF de laboratorio utilizando recipientes especiales para muestras (consulte la subsección 4.2.1).

3.3.2 Pintura existente

Para el análisis de laboratorio, la recolección de muestras de pintura existente debe seguir un procedimiento operativo estándar predeterminado. En general se recomienda que (6, 14, 15):

- se recolecten todas las capas de pintura, ya que es más probable que los niveles inferiores contengan plomo;
- se incluya la menor cantidad posible de material subyacente (por ejemplo, madera, yeso, metal), ya que esto podría dar resultados erróneos si se notifica como concentración en masa;
- si se trata de una casa o un edificio, se recolecten varias muestras representativas de distintas áreas y se registre la ubicación de cada una de ellas;
- las superficies de las que se han recolectado muestras de pintura sean restauradas para prevenir una futura exposición en caso de que la pintura contenga plomo.

Se recomienda consultar con antelación al laboratorio seleccionado sobre el tamaño mínimo de la muestra, el embalaje de la muestra y otros requisitos de muestreo. Los resultados se pueden proporcionar como concentración en masa si se mide el peso de la muestra, o como masa por unidad de superficie si se puede determinar la superficie exacta de la muestra.

La concentración de plomo en la pintura de una superficie, como una pared, también se puede medir directamente mediante el uso de instrumentos XRF o HDXRF portátiles, además los resultados se notifican por lo general en mg/cm². Este método se utiliza con frecuencia para las inspecciones domiciliarias de pintura a base de plomo porque permite la medición rápida de múltiples muestras y no requiere la destrucción de las superficies de la pintura (6, 15, 16).

4. Métodos analíticos que se usan para determinar el contenido de plomo de la pintura

Como se ha mencionado anteriormente, el contenido de plomo de la pintura se puede medir con métodos de laboratorio, dispositivos de XRF de mesa o portátiles y estuches de prueba. Estos métodos se describen brevemente en esta sección.

4.1 Métodos de laboratorio

Las técnicas instrumentales más utilizadas para determinar el contenido de plomo de la pintura en el laboratorio son la espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS, por sus siglas en inglés), la espectrometría de absorción atómica electrotermica (ETAAS, por sus siglas en inglés) y la espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, por sus siglas en inglés). Aunque estos métodos tienen distintos niveles de precisión y límites de detección, todos ellos son adecuados para determinar el contenido de plomo de la pintura en los límites de detección y en los niveles de precisión que por lo general se requieren. Se pueden obtener directrices, recomendaciones y procedimientos operativos estándar para la recolección, la preparación y el análisis de muestras mediante el uso de estos y otros métodos de diversas fuentes, incluidos los fabricantes, las instituciones nacionales y las agencias internacionales de normalización (6, 13, 14, 17–19). Se proporciona información adicional en el anexo.

Las mediciones del plomo también se pueden realizar mediante el uso de instrumentos HDXRF independientes o de mesa, descritos en la sección 4.2.

Otros métodos instrumentales que no se utilizan con frecuencia y que no se describen aquí son la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés), la espectrometría de emisión atómica de plasma de corriente directa, la espectrofotometría con difracción, la voltamperometría de redisolución anódica y la voltamperometría de redisolución potenciométrica.

4.1.1 Espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS)

El principio de la Espectrometría de absorción atómica (AAS, por sus siglas en inglés) es la interacción entre los electrones de la capa exterior de los átomos libres, gaseosos y no cargados y la luz ultravioleta o visible que el elemento a medir genera. En el caso del plomo, por ejemplo, una lámpara de cátodo que contiene plomo emite luz de átomos excitados de plomo que tiene longitudes de onda características y que los átomos de plomo de la muestra pueden absorber. La luz pasa a través de la muestra atomizada y los átomos de plomo absorben algo de energía, lo que reduce la cantidad que se transmite al detector. La cantidad de luz absorbida (o absorbancia) está relacionada de manera lineal con la concentración del analito en la muestra (20). Para realizar una medición AAS, la muestra que contiene plomo se debe introducir en el instrumento de manera que se generen átomos en estado estacionario en la fase gaseosa dentro de la trayectoria óptica del instrumento, proceso que se conoce como atomización.

La FAAS utiliza normalmente una llama de aire-acetileno para atomizar el plomo a temperaturas del orden de 2100-2400 °C.

El análisis de la FAAS es aplicable a las concentraciones de plomo en un límite inferior de 100 ppm (21). Aunque algunos laboratorios han desarrollado métodos que pueden medir concentraciones tan bajas como 40 ppm, la FAAS no es el mejor método para confirmar el cumplimiento de un límite de 90 ppm.² Dado que se requiere la aspiración directa de la muestra, se necesita un

mínimo de unos 5 mililitros (ml) de digestión para aspirar y la medir una señal estable. Las mediciones de la FAAS están sujetas a cierta interferencia de la dispersión de la luz y de la absorción molecular por los componentes de la matriz, que se pueden corregir adecuadamente a través de diversos enfoques. Los dispositivos de FAAS, que requieren algunas habilidades de laboratorio para funcionar, están muy disponibles con o sin cargadores de muestras. El coste inicial del instrumento es relativamente bajo, y los consumibles, como el gas de acetileno, son relativamente económicos. Las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas y el rendimiento de las muestras puede ser de varias muestras por minuto (17).

4.1.2 Espectrometría de absorción atómica electrotrémica (ETAAS) o espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS)

La mayoría de los sistemas de ETAAS utilizan un tubo de grafito calentado eléctricamente para pirolizar y atomizar el analito, por lo que este método también se conoce como espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS, por sus siglas en inglés) (20). La muestra pirolizada se calienta a una temperatura de alrededor de 1700 °C para atomizar el plomo (19). Los instrumentos de la ETAAS dan límites de detección muy bajos y solo requieren volúmenes de digestión muy pequeños: unos 20 microlitros (μl) (17). El método es aplicable para concentraciones de plomo en un límite inferior de 0,1 ppm (17).³

Las mediciones de la ETAAS pueden estar sujetas a importantes interferencias de la dispersión de la luz y de la absorción molecular por los componentes de la matriz, pero esto se puede mitigar mediante diversos métodos, incluido el uso de modificadores químicos y técnicas de corrección de base Zeeman (17, 20). Los dispositivos de ETAAS deben ser operados por técnicos de laboratorio capacitados.

Los dispositivos de ETAAS están ampliamente disponibles y requieren cargadores de muestras para aumentar la precisión y el rendimiento. El coste inicial de los instrumentos es intermedio, y los costes de mantenimiento y consumibles son

significativos. El rendimiento de las muestras es de aproximadamente una muestra cada dos o tres minutos (17).

4.1.3 Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)

La ICP-AES utiliza una fuente de plasma acoplado inductivamente (un gas ionizado de muy alta temperatura compuesto de electrones e iones cargados positivamente) para disociar la muestra en sus átomos o iones que la componen. En estas condiciones de alta energía, el plomo (como muchos otros elementos) emite luz en longitudes de onda características. La cantidad de luz emitida se puede medir y correlacionar con la concentración de plomo en la muestra. Los instrumentos de ICP-AES ofrecen la ventaja de poder determinar varios elementos de manera simultánea.

La ICP-AES puede medir concentraciones de plomo en la pintura tan bajas como 2 ppm.⁴ Los requisitos de volumen de las muestras son moderados. Algunas interferencias espectrales son comunes, pero se pueden corregir (17). Los instrumentos de ICP-AES deben ser operados por personal de laboratorio capacitado. El coste inicial del instrumento es alto, pero el principal consumible es únicamente el gas argón. Los costes de mantenimiento son relativamente altos debido al diseño complicado de los instrumentos de ICP-AES. El rendimiento de las muestras es intermedio, normalmente una muestra por minuto (17, 20).

4.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)

La espectrometría de XRF proporciona un medio para la prueba rápida y no destructiva de la pintura. El principio del método es que cuando se expone a una radiación de alta energía, el plomo (como muchos otros elementos) emite rayos X a una frecuencia característica (fluorescencia de rayos X).

3 Ibíd.

4 Howard Varner, comunicación personal de enero de 2020.

Estos rayos X son el resultado del desplazamiento de un electrón de las capas K o L del átomo (6, 16). La fuente de radiación puede ser un tubo de rayos X o una fuente de radiación gamma. Los dispositivos que utilizan el primero pueden detectar la fluorescencia de la capa L, mientras que los que utilizan una fuente de radiación gamma pueden detectar tanto la fluorescencia de la capa K como de la capa L (6, 16, 22).

La intensidad de los rayos se puede medir y correlacionar con la concentración de plomo en la muestra. Al igual que con otros métodos analíticos, es necesario calibrar primero el instrumento mediante el uso de materiales de referencia estándar.

Existen dos tipos principales de XRF: XRF por energía dispersiva (EDXRF, por sus siglas en inglés) y XRF de dispersión por longitud de onda (23). Los dispositivos de XRF están disponibles para su uso en el laboratorio y también hay versiones portátiles y de mano que se pueden utilizar en el campo. Los sistemas EDXRF de laboratorio tienen mayor potencia, mejor resolución y menores límites de detección que las versiones portátiles y de mano (23).

Una categoría de EDXRF es la fluorescencia de rayos X de alta definición (HDXRF). Esto utiliza EDXRF combinado con sistemas ópticos de rayos X de cristal doblemente curvados que dirigen un intenso haz enfocado de rayos X sobre la superficie del material de prueba (23, 24). Este sistema óptico permite el uso de analizadores de alta sensibilidad, compactos y de baja potencia. Los sistemas de HDXRF pueden medir con precisión el contenido de plomo de la pintura líquida así como en una película de pintura seca y pueden notificar de los resultados en ppm.

4.2.1 HDXRF de laboratorio

Hay disponibles versiones de HDXRF independientes y de mesa. Algunas versiones de mesa son portátiles y se pueden utilizar en un entorno que no sea el de un laboratorio para realizar pruebas de conformidad.

La HDXRF de laboratorio se puede utilizar para medir el contenido de plomo en una película de pintura directamente sin necesidad de raspar y digerir la pintura. Se ha demostrado que es tan preciso y exacto como los métodos de laboratorio descritos anteriormente que se ha desarrollado un método de prueba estándar (25, 26).

Para analizar la pintura líquida, la muestra se coloca en un recipiente especial para muestras, sellado con una película, que luego se pone contra el detector. Si bien la preparación de las muestras es considerablemente más sencilla que en el caso de los métodos de laboratorio descritos anteriormente, es importante que se utilicen el recipiente para muestras y la película correctos y que el recipiente para muestras se monte de manera adecuada; por consiguiente, se requiere capacitación (27).

En comparación con los métodos de absorción atómica y la ICP-AES, la XRF de laboratorio es más económica y más simple de operar. Un intervalo analítico común es de 1 ppm al 100 %.

4.2.2 Espectrometría de fluorescencia de rayos X portátil (XRF)

Existe una gama de instrumentos portátiles de XRF, que permite que la medición del contenido de plomo de la pintura se lleve a cabo in situ sin necesidad de dañar la pintura o el sustrato. Aquí se describen dos tipos de dispositivos portátiles de campo: la XRF convencional y la XRF de alta definición.

Es esencial recibir una capacitación para que su uso sea seguro, ya que estos dispositivos contienen una fuente de radiación (6, 16). En algunos países, los operadores deben estar autorizados y certificados (6).

Espectrometría de fluorescencia de rayos X convencional (XRF)

La mayoría de los dispositivos portátiles de XRF detectan la fluorescencia de la capa K, algunos detectan la fluorescencia de la capa L, y otros detectan ambas. Una comparación de los dispositivos portátiles de XRF encontró que aquellos que solo detectaban la fluorescencia de la capa L podían dar resultados negativos falsos cuando la pintura de plomo se cubría con otra capa porque los rayos X L pueden no penetrar a través de las capas para llegar al detector. Esto era menos problemático con los dispositivos que medían la fluorescencia de la capa K, ya que los rayos X K tienen mayor energía (16). Por otra parte, es menos probable que los efectos del sustrato afecten los rayos X L, mientras que las técnicas de corrección del sustrato pueden ser necesarias para los dispositivos de fluorescencia de la capa K (6, 22). Por consiguiente, es importante seleccionar el instrumento adecuado para las

pruebas que se requieran, por lo que se debe pedir asesoramiento al fabricante.

Los instrumentos convencionales de XRF notifican de los resultados en forma de masa por unidad de superficie (es decir, mg/cm²). Algunos dispositivos dan la opción de calcular y mostrar las unidades en ppm para los productos pintados, pero hay que introducir la densidad y el espesor de la pintura, además de que el intervalo es limitado (23).⁵

El límite de detección de los dispositivos de XRF para fines específicos puede ser tan bajo como 5 ppm, pero esto es una función del tiempo de prueba, de la matriz de muestras y de la presencia de elementos de interferencia.⁶ Para la pintura de las superficies de las viviendas se puede obtener un intervalo de medición de 0,1 a 10 mg/cm².⁷ El intervalo puede variar dependiendo del sustrato que se encuentre debajo de la pintura, por ejemplo, los sustratos que contienen hierro pueden degradar de manera significativa el límite de detección de plomo.⁸

La mayoría de los dispositivos se calibran para medir la cantidad de plomo de la pintura en una variedad de sustratos, por ejemplo, madera, metal, cemento, panel de yeso (placa de yeso) y yeso, por lo tanto, es importante que se seleccione el ajuste de calibración correcto al utilizar el dispositivo. Mientras que los resultados se pueden obtener en pocos segundos, el límite de detección y la precisión aumentan con tiempos de medición más largos.

La precisión de los dispositivos convencionales de XRF es buena, siempre que un operario capacitado los utilice de acuerdo a los procedimientos de calibración y se asegure de que el detector se mantiene correctamente contra la superficie de prueba.

Los dispositivos convencionales de XRF adecuados para medir la cantidad de plomo de la pintura están disponibles a través de varios fabricantes. Son relativamente costosos, ya que su precio oscila entre unos \$10 000 y \$50 000. Requieren poco mantenimiento, aunque la fuente de radioisótopos

deberá ser reemplazada periódicamente para los dispositivos que la utilizan. Los operadores pueden evaluar rápidamente múltiples superficies de pintura gracias a su corto tiempo de medición.

Las directrices para determinar la cantidad de plomo de la pintura mediante dispositivos convencionales de XRF se pueden obtener de diversas fuentes, incluidos de los fabricantes y de las instituciones nacionales (6, 16).

Espectrometría de fluorescencia de rayos X de alta definición (HDXRF)

A diferencia de los dispositivos convencionales de XRF, los dispositivos portátiles de HDXRF pueden realizar mediciones separadas de la superficie y el sustrato, además de notificar de los resultados en ppm. En los Estados Unidos de América, la Comisión de Seguridad de Productos del Consumidor estableció que el análisis de HDXRF es adecuado para las mediciones de cumplimiento de las pinturas nuevas, así como de las superficies pintadas existentes (28). Se publicó un método para medir el contenido de plomo de la pintura y de los materiales de revestimiento, que describe un intervalo analítico de 30-450 ppm (26). La principal limitación de este método es el coste del equipamiento, ya que puede ser mayor que el coste del equipamiento convencional de XRF. Los requisitos para la capacitación de los operadores son los mismos que para los analizadores de los dispositivos convencionales de XRF.

4.3 Estuches de pruebas químicas

Se dispone de varios estuches de pruebas químicas. Los estuches no pueden medir el contenido de plomo de la pintura con la misma precisión y exactitud que las mediciones de laboratorio y de XRF, pero la información se proporciona aquí para que sea completa.

5 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, comunicación personal de noviembre de 2019.

6 Diego Tschuor, CONTROLTECH AG, comunicación personal de noviembre de 2019.

7 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, comunicación personal de noviembre de 2019.

8 Olaf Haupt, Thermo Scientific Field and Safety Instruments, comunicación personal de noviembre de 2019.

Los estuches de pruebas químicas pueden ser simples pruebas cualitativas o pruebas semicuantitativas más complejas. 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 es positivo (el plomo está presente en concentraciones superiores a un valor determinado) o negativo (el plomo no está presente en concentraciones superiores a un valor determinado), según el cambio de color que se haya producido. El umbral de concentración para el cambio de color depende del estuche de prueba que se utilice, el cual puede estar regulado en el país en donde se comercializa la prueba. En los Estados Unidos, por ejemplo, los estuches de pruebas deben detectar concentraciones superiores a 1 mg/cm^2 (6). Algunos estuches de pruebas químicas pueden tener límites de detección más bajos, según las circunstancias en las que se vayan a utilizar.

Para el caso de los estuches más simples, la pintura se puede analizar a través de un hisopo humedecido en un reactivo químico que se frota sobre la superficie pintada o al tomar un fragmento de pintura de un área específica que luego se mezcla con los reactivos en un tubo. Los estuches de pruebas rápidas más complejas utilizan métodos fluorimétricos o fotométricos en los fragmentos de pintura (29, 30). La Agencia para la Protección del

Medio Ambiente de los Estados Unidos evaluó varios de estos estuches, por lo tanto, se puede encontrar información adicional en su sitio web (31).

Estos estuches tienen una serie de limitaciones (6, 30, 32). Los estuches pueden analizar solo las capas superficiales; por lo tanto, para analizar las capas inferiores que es más probable que contengan plomo, es necesario raspar la superficie de la pintura o retirar un fragmento de pintura (dependiendo del método). Con algunos estuches, el cambio de color puede ser difícil de observar, en especial cuando se analizan pinturas de colores oscuros. En general, estos estuches no permiten medir la cantidad de plomo presente en la pintura; incluso los métodos semicuantitativos solo proporcionan intervalos de concentración. Por último, la precisión de los estuches de pruebas químicas puede ser limitada; en otras palabras, pueden indicar por error que el plomo está presente en cantidades superiores a una concentración determinada (falsos positivos) o que el plomo no está presente en cantidades superiores a una concentración determinada cuando lo está (falsos negativos) (32). Por estas razones, en general se prefiere usar otro tipo de métodos para determinar con exactitud el contenido de plomo de la pintura.

En el cuadro 2 se resumen las diversas características de los distintos métodos analíticos.

Tabla 2. Resumen de los métodos analíticos para medir el contenido de plomo de la pintura

Método	Ventajas	Limitaciones
Espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente fácil de usar y de coste moderado • Se puede equipar con un muestreador automático para que se puedan procesar múltiples muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita gases especiales • El límite de detección depende de la preparación de la muestra y del método que se utilice • Requiere un técnico de laboratorio cualificado
Espectrometría de absorción atómica electrotrémica (ETAAS)	<ul style="list-style-type: none"> • Puede analizar muestras muy pequeñas • Se puede equipar con un muestreador automático para que se pueda ejecutar un gran número de muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita gases especiales • Requiere un técnico de laboratorio cualificado
Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES)	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser económico si se utiliza para realizar grandes series de muestras • Puede analizar muestras muy pequeñas • Puede determinar la relación de isótopos, lo que puede ayudar a identificar la fuente del plomo • Límite de detección muy bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso y tiene altos costos de funcionamiento • Requiere un técnico de laboratorio altamente cualificado
Espectrometría de fluorescencia de rayos X de alta definición en laboratorio (HDXRF)	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costes de funcionamiento y operación • Puede medir la cantidad de plomo en una muestra de pintura líquida • La preparación de la muestra es simple • Límite bajo de detección 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto coste de compra • Requiere capacitación para garantizar resultados precisos y la observancia de los requisitos sanitarios y de seguridad
Espectrometría de fluorescencia de rayos X convencional portátil (XRF)	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede utilizar en el lugar de la pintura que se va a analizar • La superficie de la pintura no sufre daños • Buena precisión • Resultados inmediatos • Puede medir muchas superficies en un corto periodo de tiempo • Es más económico de usar que los métodos de laboratorio cuando hay que probar muchas superficies 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere capacitación para garantizar resultados precisos y la observancia de los requisitos sanitarios y de seguridad • Es posible que el operador necesite una licencia y/o certificación • El coste de compra es relativamente alto
Espectrometría de fluorescencia de rayos X de alta definición portátil (HDXRF)	<p>Lo mismo que para la XRF convencional, además:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede notificar los resultados como ppm • Límite de detección bajo (por debajo de 90 ppm) • Se puede usar en la película de pintura seca para medir el contenido de plomo de la pintura nueva para la prueba de conformidad 	<p>Lo mismo que para la XRF convencional</p>
Estuches de pruebas químicas (en el sitio)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba cualitativa de pintura con plomo en paredes u otras superficies • Resultados inmediatos • Bajos costes de compra y de funcionamiento • Relativamente simple de usar 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede proporcionar una medición precisa • Es posible obtener resultados falsos positivos y falsos negativos • Puede probar principalmente las capas superiores (superficiales) • Es posible que necesite dañar la superficie de la pintura • Es posible que sea difícil observar el cambio de color en las pinturas de colores oscuros • Puede ser necesario un procedimiento especial para superficies determinadas, por ejemplo, el yeso

5. Elección del método más adecuado

La elección del método depende de varios factores, incluidos la razón del análisis (cumplimiento, evaluación de riesgos o detección), el número de muestras que se deben analizar, el sustrato que se debe analizar (pintura nueva, superficie pintada existente, tamaño y forma de la superficie), las limitaciones de coste, la necesidad de una medición precisa, el límite de cuantificación requerido y la disponibilidad de personal capacitado y de equipamiento analítico.

Con respecto al límite de cuantificación, un valor sugerido es igual o inferior al 20 % del límite reglamentario (33). Por lo tanto, en el caso de un límite de 90 ppm, se necesitaría un método que

puediera notificar al menos 18 ppm. En el cuadro 3 se resumen los análisis que se pueden utilizar para distintos propósitos.

Tabla 3. Elegir el análisis más adecuado según el propósito

Propósito de la prueba	Métodos de laboratorio	Espectrometría de fluorescencia de rayos X			Estuche de pruebas químicas
		Laboratorio	XRF portátil convencional	HDXRF portátil	
Pruebas de conformidad para la pintura nueva	Sí	Sí, las lecturas se pueden obtener en la película de pintura seca o en pintura líquida	No, los resultados solo están disponibles en mg/cm ²	Sí, los resultados están disponibles en ppm; las lecturas se pueden obtener en la película de pintura seca	No
Estudio de mercado de pintura nueva	Sí	Sí, las lecturas se pueden obtener en la película de pintura seca o en pintura líquida	No, los resultados solo están disponibles en mg/cm ²	Sí, los resultados están disponibles en ppm; las lecturas se pueden obtener en la película de pintura seca	No
Analizar la pintura existente en las casas, las escuelas y en otros sitios	Sí, se requiere destruir parte de la superficie de la pintura	Sí, se requiere destruir parte de la superficie de la pintura	Sí	Sí	No se recomienda
Analizar la pintura de los juguetes o de otros objetos que tienen forma irregular	Sí	Sí	Sí	Sí	No

Los análisis de laboratorio pueden proporcionar mediciones precisas de la cantidad de plomo de la pintura (pintura existente o nueva), siempre que se recolecten muestras apropiadas y se sigan los principios adecuados de garantía de la calidad (consulte la sección 6.2). En el caso de las FAAS, ETAAS y ICP-AES, se necesitan la habilidad y el tiempo considerables para recolectar y transportar las muestras, y para el análisis de laboratorio (la HDXRF de laboratorio es un método más rápido y sencillo). El coste del envío y de los análisis de laboratorio puede ser importante, dependiendo de la ubicación del laboratorio, el número de muestras que se vayan a analizar y el método analítico utilizado. Si se está analizando la pintura existente, su superficie tendrá que sufrir daños para recolectar la muestra.

La XRF portátil es una alternativa para medir la cantidad de plomo en la pintura existente, ya que no requiere un muestreo destructivo o la remoción de la pintura, además es un método de gran velocidad y bajo coste por muestra. Por estas razones es el método preferido cuando se inspecciona una casa para detectar la presencia de pintura con plomo (6, 15).

Sin embargo, se recomienda el análisis de laboratorio en las siguientes situaciones:

- cuando se requiere una alta precisión o bajos límites de detección;
- para las áreas de difícil acceso o los materiales de construcción con superficies irregulares que no se puedan analizar con facilidad mediante la instrumentación de XRF;
- para confirmar los resultados límites de XRF portátil.

Aunque los estuches de pruebas químicas también dan resultados inmediatos, proporcionan información limitada sobre la concentración de plomo y son el método menos preciso y fiable.

5.1 Elección del laboratorio

Se deben tener en cuenta varios factores cuando se va a seleccionar el laboratorio para analizar la pintura, además se recomienda contactar con el

laboratorio previamente para verificar su idoneidad de los análisis deseados. La calidad del servicio prestado tiene una importancia fundamental. El uso de un laboratorio certificado por un organismo reconocido y acreditado para llevar a cabo las pruebas específicas que se requieren dará confianza en la precisión y la fiabilidad de los resultados analíticos que se obtengan. En particular, esto es importante cuando se analizan las pinturas para obtener una declaración de conformidad con la ley de pintura con plomo. En la sección 6 se proporciona más información sobre la calidad de los laboratorios, incluida la acreditación.

Otros factores son:

- la experiencia del laboratorio en la prueba de pinturas;
- los métodos analíticos que se utilizaron y el límite de detección;
- los requisitos de muestreo;
- la capacidad de manejar el número de muestras requeridas;
- los costes de los análisis, incluidos los costes de envío; y
- el tiempo de respuesta.

5.2 Cómo encontrar un laboratorio

La información sobre los laboratorios acreditados para medir la cantidad de plomo de la pintura se suele encontrar en los sitios web de los organismos nacionales de acreditación. Los datos de contacto de los organismos nacionales de acreditación aparecen en el sitio web de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC, por sus siglas en inglés),⁹ que enumera los organismos signatarios del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la ILAC. El sitio web también ofrece información sobre los organismos regionales de cooperación para la acreditación.

Otra fuente de información es el sitio web del programa de pruebas de competencia de la Asociación Americana de Higiene Industrial

9 <https://ilac.org/signatory-search>

(AIHA, por sus siglas en inglés).¹⁰ La AIHA dirige el Programa de Pruebas Analíticas de Competencia en Entornos con Plomo (ELPAT, por sus siglas en inglés) (34) y tiene una lista de más de 250 laboratorios en los Estados Unidos y en otros países que han pasado la prueba de competencia más reciente sobre el contenido de plomo en la pintura.

La Comisión de Seguridad de Productos del Consumidor de Estados Unidos¹¹ mantiene una lista de laboratorios certificados para realizar pruebas de terceros con el fin de comprobar el cumplimiento de los requisitos federales de seguridad aplicables en Estado Unidos a los productos para niños (35). Esta lista incluye laboratorios certificados en los Estados Unidos y en otros países que pueden realizar pruebas para detectar la cantidad de plomo de la pintura.

5.3 Establecer un servicio de laboratorio para medir el contenido de plomo de la pintura

El establecimiento de un servicio de laboratorio requiere una importante inversión de recursos. A continuación se indican algunos aspectos que se deben tener en cuenta si se decide proceder.

- ¿Hay suficiente carga de trabajo para justificar la creación del servicio?
- ¿Hay algún otro laboratorio en el país o en el extranjero que ya esté prestando este servicio a un coste razonable y en un plazo aceptable?
- ¿Existe algún laboratorio que pueda agregar el análisis de pinturas a sus servicios?
- ¿Qué tipo de instrumentación se necesita para los propósitos del laboratorio (HDXRF, GFAAS, ETAAS, ICP-MS)?
- ¿Se dispone ya del equipamiento analítico necesario o hay que comprarlo?
- ¿Existen fondos suficientes para comprar el equipamiento, su instalación, le mantenimiento y los costes operativos, incluida la compra de materiales certificados de referencia y la sustitución de consumibles como lámparas, tubos y gases?
- ¿Hay instalaciones adecuadas para el laboratorio con un suministro fiable y constante de energía y agua? ¿Se puede modificar un edificio existente o es necesario construir un laboratorio nuevo?
- ¿Existe un número suficiente de personal de laboratorio capacitado de manera adecuada para operar la instrumentación seleccionada?
- ¿El laboratorio solicitará la acreditación para medir la cantidad de plomo de la pintura y existen los recursos disponibles para apoyarla?

10 <https://online.aihapat.org/patssa/f?p=AIHASSA:17800; search for ELPAT Laboratories Program>

11 <https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>

6. Aspectos importantes sobre la práctica de laboratorio

En el área de la química analítica, incluso el equipamiento más complejo y preciso proporcionará resultados incorrectos si las muestras no se recolectan y manipulan adecuadamente, si el equipamiento no se usa de manera adecuada ni se cuida periódicamente, o si no se siguen los protocolos analíticos. Existen dos preocupaciones asociadas con la medición del contenido de plomo de la pintura: la contaminación inadvertida y la garantía y el control de la calidad insuficientes. Estos problemas se analizan brevemente en las siguientes secciones.

6.1 Prevención de la contaminación por fuentes externas

El plomo es un elemento omnipresente y puede contaminar las muestras de muchas maneras, en especial cuando se analizan fragmentos de pintura en el laboratorio. La contaminación puede ocurrir durante la recolección, el almacenamiento y el transporte de las muestras, así como durante su manipulación. Por lo tanto, la calidad de la recolección y la manipulación de las muestras son aspectos cruciales para determinar con precisión el contenido de plomo de la pintura. Estas actividades se deben llevar a cabo siguiendo un procedimiento operativo estándar que incluya medidas para prevenir la contaminación, como el uso de equipamiento nuevo de muestreo para cada muestra (17).

La manipulación de muestras dentro del laboratorio también conlleva un riesgo de contaminación. En lo posible, los laboratorios deben estar libres de contaminantes de plomo y el personal de laboratorio debe estar debidamente capacitado para evitar la contaminación de las muestras. Existen protocolos específicos para los distintos métodos analíticos, incluidos los que proveen los fabricantes y los de las agencias de normalización, que se deben seguir estrictamente (13, 17-19). Los riesgos de contaminación se pueden reducir considerablemente mediante la aplicación de medidas adecuadas de garantía de calidad (33).

6.2 Garantía y control de la calidad

La garantía y el control de la calidad son componentes de un sistema de gestión de la calidad. La gestión de la calidad supone la integración de todos los aspectos del funcionamiento del laboratorio, incluida la estructura organizativa, los procesos, los procedimientos y los recursos, a fin de garantizar que el servicio prestado a los usuarios sea de alta calidad y que los resultados del laboratorio sean fiables y reproducibles (33, 36).

La garantía de la calidad se refiere a los procesos y los procedimientos. Abarca la aplicación de prácticas científica y técnicamente sólidas para las investigaciones de laboratorio, incluida la selección, la recolección, el almacenamiento y el transporte de las muestras y el registro, la notificación y la interpretación de los resultados. También se refiere a la capacitación y la gestión destinadas a mejorar la fiabilidad de las investigaciones. La garantía de la calidad incluye la evaluación inicial de un método analítico en términos de viabilidad y validez, lo que incluye la linealidad, la especificidad, la recuperación, las normas de calibración, los blancos, los límites de detección y el límite de cuantificación y robustez (17).

El control de la calidad se refiere al control de los errores en la realización de las pruebas y la verificación de los resultados de las mismas. Tiene dos componentes: el control de calidad interno y la evaluación externa de la calidad.

Control de calidad interno: se trata de un conjunto de procedimientos que el personal de un laboratorio emplea para evaluar continuamente los resultados a medida que se producen, con el fin de determinar si son exactos, precisos y, por lo tanto, suficientemente fiables como para ser difundidos (17, 20). Un ejemplo de medida de control de la calidad es el análisis de muestras de control de pintura con un contenido de plomo bien caracterizado para comprobar el rendimiento del método analítico. En caso de que se disponga de materiales de referencia adecuados (certificados) en términos de la concentración y la coincidencia de la matriz, éstos son muy recomendables para la etapa de validación y el control de la calidad regular. La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos ha elaborado procedimientos de control de la calidad para medir la cantidad de plomo de la pintura (17, 33). El procedimiento operativo estándar para analizar las muestras debe incluir normalmente una descripción de las medidas de control de la calidad (33).

Evaluación externa de la calidad (EQA): es un sistema para comprobar de manera objetiva el rendimiento del laboratorio a través una agencia externa. Se trata de que el laboratorio reciba muestras de prueba “ciegas” en las que se desconoce la cantidad de plomo. Los resultados analíticos se comparan entonces con las concentraciones reales de plomo, que no se revelan hasta después de que se hayan completado los análisis. Los resultados también se comparan con los de otros laboratorios que participan en el programa. Los programas de evaluación externa de la calidad normalmente implican una serie de ciclos de pruebas cada año. El programa ELPAT mencionado anteriormente es un ejemplo de un programa de EQA para medir el plomo en los fragmentos de pintura (también en suelo y polvo). Las evaluaciones se realizan trimestralmente.

6.2.1 Pruebas in situ

La necesidad de implementar medidas de garantía y control de la calidad se aplica también a los análisis realizados fuera del laboratorio, por ejemplo, cuando se utilizan dispositivos de XRF para evaluar el contenido de plomo de la pintura de los edificios. Además, estas medidas incluyen asegurar que los operarios estén capacitados de manera adecuada y garantizar el uso de verificaciones de calibración y de pruebas de control (6).

6.3 Normas, certificación y acreditación

Las normas, la certificación y la acreditación son medidas importantes para garantizar y demostrar la calidad de los laboratorios.

Un documento estándar es un documento, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que prevé, para su uso común y repetido, directrices o características para las actividades o sus resultados, con el fin de lograr el grado óptimo de orden en un contexto determinado (36). Las normas se pueden elaborar a nivel nacional o internacional. Algunos ejemplos de normas internacionales relacionadas con la medición del contenido de plomo de la pintura son las que la Organización de Normas Internacionales (ISO, por sus siglas en inglés) y la ASTM Internacional elabora. Éstos se enumeran en el anexo.

La certificación es el procedimiento mediante el cual un organismo independiente da garantías por escrito de que un proceso o un servicio se ajusta a los requisitos específicos. Esto supone la inspección del laboratorio por representantes de un organismo de certificación, que buscan pruebas del cumplimiento de las normas, las políticas, los procedimientos, los requisitos y los reglamentos. La evaluación principal se realiza para la presencia física de los procedimientos y los documentos (36).

La acreditación es el procedimiento mediante el cual un organismo autorizado reconoce oficialmente que el laboratorio es competente para realizar tareas específicas, por ejemplo, la cuantificación del contenido de plomo de la pintura. En este caso, el laboratorio es inspeccionado por representantes de un organismo de acreditación que, además de buscar pruebas del cumplimiento de las normas, las políticas, los procedimientos, los requisitos y los reglamentos, también evalúan la competencia al observar al personal del laboratorio. El organismo de acreditación también puede establecer las normas que debe cumplir el laboratorio (36). Un ejemplo de norma de acreditación es la norma ISO/CEI 17025 (37). En los Estados Unidos, la participación en el ELPAT es un requisito previo para que un laboratorio pueda calificar en el marco del Programa Ambiental de Acreditación para Laboratorios de Plomo (ELLAP).

7. Conclusiones

La pintura con plomo es una importante fuente de exposición al plomo, en particular para los niños y los trabajadores. El plomo es una fuente de exposición que se puede prevenir, ya que las pinturas con los colores y las propiedades deseadas se pueden hacer sin el uso de aditivos de plomo. Sin embargo, incluso cuando un país ha restringido el uso del plomo en la pintura, puede haber un legado de pintura con plomo en edificios y estructuras que seguirá siendo una fuente de exposición durante muchos años.

La principal medida que se puede adoptar para prevenir la exposición al plomo consiste en la aplicación de medidas de control jurídicamente vinculantes, como leyes, los reglamentos o las normas, para impedir que se agreguen ingredientes a base de plomo a las pinturas nuevas. En los países en donde ya hay edificios y otras estructuras pintadas con pintura a base de plomo, la prevención puede incluir también el uso de medidas adecuadas de gestión de riesgos, como la eliminación de la pintura a base de plomo. Tanto para la prevención primaria como para la secundaria es necesario disponer de medios para medir el contenido de plomo de las pinturas.

Este folleto describe los métodos comúnmente utilizados para medir el contenido de plomo de la pintura, tanto en el laboratorio como in situ en donde se ha aplicado la pintura con plomo. Existe una gama de distintos métodos, que incluyen diversos costes y niveles de complejidad, y las autoridades de salud pública, las agencias ambientales y otros deben elegir los métodos que mejor se adapten a sus necesidades.

8. Referencias

1. GBD Compare. Global deaths and DALYs attributable to lead exposure. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington; 2018 (<http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>, accessed 30 March 2020).
2. Reuben A, Caspi A, Belsky DW, Broadbent J, Harrington H, Sugden K et al. Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood. *JAMA*. 2017; 317(12):1244–1251. doi:10.1001/jama.2017.1712.
3. Global Health Observatory (GHO) data. Legislation: regulations and controls on lead paint. Geneva: World Health Organization; 2019 (https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/lead_paint_regulations/en/, accessed 30 March 2020).
4. 2019 update on the global status of legal limits on lead in paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2019 (<https://www.unenvironment.org/resources/report/2019-update-global-status-legal-limits-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
5. American Healthy Homes Survey: lead and arsenic findings. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2011 (https://www.hud.gov/sites/documents/AHHS_REPORT.PDF, accessed 6 April 2020).
6. Guidelines for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing. Washington (DC): United States Department of Housing and Urban Development; 2012. Chapter 7 and Appendix 13.2 (https://www.hud.gov/program_offices/healthy_homes/lbp/hudguidelines, accessed 6 April 2020).
7. Dixon SL, Gaitens JM, Jacobs DE, Strauss W, Nagaraja J, Pivetz T et al. Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999–2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children’s blood lead levels. *Environ Health Perspect*. 2009; 117(3):468–74. doi: 10.1289/ehp.11918.
8. Childhood lead poisoning. Geneva: World Health Organization; 2010 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/136571>, accessed 30 March 2020).
9. Model law and guidance for regulating lead paint. Nairobi: United Nations Environment Programme; 2018 (<https://www.unenvironment.org/resources/publication/model-law-and-guidance-regulating-lead-paint>, accessed 30 March 2020).
10. Le Bot B, Arcelin C, Briand E, Glorennec P. Sequential digestion for measuring leachable and total lead in the same sample of dust or paint chips by ICP-MS, *J Environ Sci Health, Part A*. 2011; 46(1):63–69. doi:10.1080/10934529.2011.526902.
11. Soluble and total lead content of solvent-based paints for home use in China. Stockholm: International Pollutants Elimination Network; 2017 (http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-china-lead-report-v1_3-en.pdf, accessed 30 March 2020)

12. Deshommès E, Tardif R, Edwards M, Sauvé S, Prévost M. Experimental determination of the oral bioavailability and bioaccessibility of lead particles. *Chemistry Central Journal*. 2012; 6: 138. doi.org/10.1186/1752-153X-6-138
13. Test method: CPSC-CH-E1003-09.1: Standard operating procedure for determining lead (Pb) in paint and other similar surface coatings. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2011 (https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/blk_pdf_CPSC-CH-E1003-09_1.pdf, accessed 30 March 2020).
14. Standard practice for field collection of dried paint samples for subsequent lead determination. ASTM E1729-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
15. Diagnostique plomb: protocole de réalisation du constat de risque d'exposition au plomb [Lead diagnostic: protocol for carrying out risk assessment of lead exposure]. NF X46-030: 2008-4. La Plaine Saint-Denis: l'Association Française de Normalisation; 2008.
16. Détection du plomb dans les peintures anciennes [Detection of lead in old paint]. Maisons-Alfort: Agence française de sécurité sanitaire environnementale; 2005 (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2004et5091Ra.pdf>, accessed 30 March 2020)
17. Pb-based paint laboratory operations guidelines: analysis of Pb in paint, dust, and soil. Revision 1.0, EPA 747-R-92-006, May 1993. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 1993 (<https://www.epa.gov/lead/pb-based-paint-laboratory-operations-guidelines-analysis-pb-paint-dust-and-soil-revision-10-epa>, accessed 30 March 2020).
18. Standard practice for preparation of dried paint samples by hotplate or microwave digestion for subsequent lead analysis. ASTM E1645-16. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2016.
19. 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. ASTM E1613-12. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2004.
20. Flanagan RJ, Taylor A, Watson ID, Whelpton R. *Fundamentals of analytical toxicology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd; 2007: 281–301.
21. ISO 6503:1984. Paints and varnishes – determination of total lead – flame atomic absorption spectrometric method. Geneva: International Organization for Standardization; 1984 (<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:12880:en>, accessed 30 March 2020).
22. Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG. Lead-based paint testing technologies: summary of an EPA/ HUD field study. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999;60:444–451.

23. Cobb D. Study on the effectiveness, precision, and reliability of X-ray fluorescence spectrometry and other alternative methods for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2009 (<https://www.cpsc.gov/s3fs-public/pdfs/leadinpaintmeasure.pdf>, accessed 30 March 2020).
24. Gibson WM, Chen ZW, Danhong L. High-definition X-ray fluorescence: applications. *X-ray Optics and Instrumentation*. 2008; Article ID 709692. doi:10.1155/2008/709692.
25. Cobb D. Update on use of X-ray fluorescence spectrometry for measuring lead in paint. Gaithersburg (MD): United States Consumer Product Safety Commission; 2010.
26. Standard test method for determination of lead in paint layers and similar coatings or in substrates and homogenous materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using multiple monochromatic excitation beams. ASTM F2853-10. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015.
27. Analysing liquids using XRF sample cups and films. FXBA-0032-01. Bedburg-Hau: Fluxana; 2019 (https://fluxana.com/images/Whitepaper/PDF/Whitepaper_Analyzing_Liquids_using_XRF_sample_cups_and_films.pdf, accessed 30 March 2020).
28. The U.S. Consumer Product Safety Commission approves new test method for detection of lead in paint. *Business Wire*, 31 March 2011 (<https://www.businesswire.com/news/home/20110331006041/en/U.S.-Consumer-Product-Safety-Commission-Approves-New>, accessed 30 March 2020).
29. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — lead-in-paint test kit. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elky.pdf>, accessed 30 March 2020).
30. ETV verification statement. Qualitative spot test kit: lead-based paint detection — LeadPaintCheck. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2010 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/p100elna.pdf>, accessed 30 March 2020).
31. Performance characteristics of qualitative spot test kits for lead in paint (completed 2010). [website] Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Environmental Technology Verification Program; 2019 (<https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/html/este.html#pcqstklp>, accessed 3 April 2020).
32. Rossiter WJ, Vangel MG, McKnight ME, Dewalt G. Spot test kits for detecting lead in household paint: a laboratory evaluation. NISTIR 6398. Gaithersburg (MD): National Institute of Standards and Technology; 2000 (https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860223, accessed 3 April 2020).
33. National Lead Laboratory Accreditation Program: Laboratory quality system requirements, Revision 3.0. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics; 2007 (<https://www.epa.gov/lead/national-lead-laboratory-accreditation-program-laboratory-quality-system-requirements-revision>, accessed 3 April 2020).

34. ELPAT frequently asked questions. Falls Church (VA): American Industrial Hygiene Association; 2019 (<https://www.aihapat.org/programs/environmental-lead-proficiency-analytical-testing-elpat-program/elpat-faqs>, accessed 3 April 2020).
35. List of CPSC-accepted testing laboratories. United States Consumer Product Safety Commission (<https://www.cpsc.gov/cgi-bin/labsearch/>, accessed 3 April 2020).
36. Laboratory quality management system: handbook, version 1.1. Geneva: World Health Organization; 2011 (<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44665>, accessed 3 April 2020).
37. ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization; 2017 (<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100424.pdf>, accessed 6 April 2020).

Anexo

Normas y métodos internacionales para la recolección, la preparación y el análisis de muestras de plomo en la pintura

Procedimiento	Nombre de la norma
Normas internacionales para la recolección de muestras	ASTM E1729-16. Práctica estándar para la recolección de muestras de pintura seca in situ para determinar posteriormente el contenido de plomo
	ISO 15528:2013. Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices: muestreo (disponible en inglés, francés y ruso)
Normas internacionales para la preparación de muestras	ISO 1513:2010. Pinturas y barnices: análisis y preparación de muestras de prueba (disponible en inglés, francés y ruso)
	ASTM E1645-16. Práctica estándar para la preparación de muestras de pintura seca a través de la absorción por placa caliente o microondas para analizar posteriormente el contenido de plomo
	ASTM E1979-17. Práctica estándar para la extracción ultrasónica de muestras de pintura, polvo, suelo y aire para la determinar posteriormente el contenido de plomo
Normas internacionales para los métodos de prueba	ISO 6503:1984. Pinturas y barnices: determinación del plomo total, método espectrométrico de absorción atómica de llama (para medir la concentración de plomo de 0,01 % a 2,0 %) (disponible en inglés y francés)
	ASTM D3335-85a (2014). Método de prueba estándar para bajas concentraciones de plomo, cadmio y cobalto en la pintura por espectroscopia de absorción atómica (para medir la concentración de plomo de 0,01 % a 5,0 %)
	ASTM E1613-12. Método de prueba estándar para determinar el contenido de plomo mediante técnicas de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICPAES), espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS) o espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS)
	ASTM F2853-10 (2015). Método de prueba estándar para determinar el contenido de plomo en las capas de pintura y en los revestimientos similares o en sustratos y materiales homogéneos mediante la espectrometría de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva a través del uso de múltiples haces de excitación monocromáticos

Las normas ISO se pueden obtener en <https://www.iso.org>

Las normas del ASTM se pueden obtener en <https://www.astm.org>

Para obtener más información, contacte al:
Departamento de Medio Ambiente, Cambio Climático y
Salud (ECH)
Organización Mundial de la Salud
20 Avenue Appia
CH-1211 Ginebra 27
Suiza
Correo electrónico: ipcsmail@who.int

