

# SUELOS CONTAMINADOS POR AMIANTO

## NOTAS TÉCNICAS

Descripción y  
características

Investigación y  
recuperación de suelos  
contaminados

Niveles de  
referencia

Análisis de  
riesgos

Técnicas y  
métodos de  
análisis

Gestión y  
recuperación



Herri-baltzua  
Sociedad Pública del

ECONOMIAAREN GARAPEN,  
JASANGARRITASUN  
ETA INGURUMEN SAILA

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO  
ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD  
Y MEDIO AMBIENTE

**©IHOBE S.A., junio de 2023**

**Edita:** Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental  
Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y  
Medio Ambiente  
Gobierno Vasco

[www.ihobe.eus](http://www.ihobe.eus)

Alda. Urquijo, 36 6º Planta  
48011 Bilbao  
Tel: 94 423 07 43

# SUELOS CONTAMINADOS POR AMIANTO

## NOTAS TÉCNICAS

Investigación y recuperación de suelos  
contaminados con amianto



Herri-baltzua  
Sociedad Pública del

EUSKO JAURLARITZA  
GOBIERNO VASCO

EKONOMIAREN GARAPEN,  
JASANGARRITASUN  
ETA INGURUMEN SAILA  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO  
ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD  
Y MEDIO AMBIENTE

# ÍNDICE

- 
- 08** Amianto. Descripción y características.
  - 12** Investigación de suelos afectados por la presencia de amianto.
  - 22** Niveles de referencia.

# 26

Análisis de  
riesgo.

# 32

Técnicas y métodos  
analíticos.

# 38

Técnicas de gestión del  
riesgo y recuperación de  
suelos contaminados por  
amianto.

# Suelos contaminados por amianto

## Notas técnicas

### INTRODUCCIÓN

En la Comunidad Autónoma del País Vasco, los aspectos técnicos de la investigación y la recuperación de suelos contaminados están regulados por el Decreto 209/2019, de 26 de diciembre, por el que se desarrolla la LEY 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo y otros documentos (guías metodológicas y notas técnicas) que desarrollan cuestiones concretas.

En general, las directrices que emanan de estos textos pretenden dar respuesta a una amplia gama de sustancias contaminantes. Sin embargo, independientemente de las diferentes características que cada una de ellas puede presentar, existen algunas cuyas singularidades les hacen merecedoras de consideraciones específicas. Este es el caso de, por ejemplo, los hidrocarburos del petróleo y también del contaminante objeto de las notas técnicas que se recopilan en este documento, el amianto. No sólo sus características físico-químicas o toxicológicas sino también las aplicaciones en las que ha sido empleado a lo largo de la historia, convierten al amianto en un contaminante del suelo al que prestar una atención individualizada.

Configuran este documento seis notas técnicas elaboradas con el objeto de proporcionar unas primeras directrices para avanzar en la homogeneización de la forma en la que se diseñan y se ejecutan la investigación y la recuperación de los suelos contaminados por amianto respetando, en la medida de lo posible, los procedimientos habitualmente utilizados en el País Vasco para estas actividades.

La primera de las notas técnicas está dedicada a la descripción de las características con relevancia ambiental del amianto en un intento por facilitar la mejor comprensión de las directrices que se proporcionan en las siguientes notas. Sin entrar en excesivo detalle, la segunda nota ofrece los criterios básicos para afrontar la investigación de emplazamientos susceptible de estar afectados por la presencia, bien de amianto, bien de materiales con amianto. La valoración de los resultados de la investigación del suelo utilizará las concentraciones de referencia objeto de la tercera de las notas y el procedimiento de análisis de riesgos que se describe en la cuarta. Se completa esta serie de notas técnicas con una revisión, en primer lugar, de las técnicas de análisis y, en segundo lugar, de las diferentes opciones de saneamiento.

## MARCO LEGAL Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

**REAL DECRETO 108/1991**, de 1 de febrero de 1991, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.

**REAL DECRETO 665/1997**, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

**LEY 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

**ORDEN de 7 de diciembre de 2001** por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

**REAL DECRETO 9/2005**, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

**REAL DECRETO 396/2006**, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

**DECRETO 199/2006**, de 10 de octubre, por el que se establece el sistema de acreditación de entidades de investigación y recuperación de la calidad del suelo y se determina el contenido y alcance de las investigaciones de la calidad del suelo a realizar por dichas entidades.

**LEY 4/2015**, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.

**LEY 7/2022**, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

**DECRETO 209/2019**, de 26 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.

**DECRETO 49/2009**, de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos.

**REGLAMENTO (UE) No 1357/2014 DE LA COMISIÓN**, de 18 de diciembre de 2014, por el que se sustituye el anexo III de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

**REAL DECRETO 646/2020**, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

**RIVM Report No. 711701034**: Beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging met asbest (Evaluación de los riesgos de contaminación del suelo con amianto). F.A. Swartjes, P.C. Tromp, J.M. Wezenbeek. National Institute for Public Health and the Environment-RIVM (The Netherlands, 2003).

**Soil Remediation Circular 2013**. Ministry of Infrastructure and the Environment (The Netherlands, 2013).

**Code de bonnes pratiques** pour l'étude et le traitement de l'amiante dans le sol (Código de buenas prácticas para el estudio y tratamiento del amianto en el suelo). Bruxelles Environnement. (Brussels, 2019).

**Norma UNE171370-2**, Localización y diagnóstico de amianto.

**Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos** relacionados con la exposición al amianto. Ministerio de Trabajo y Economía Social. 2022.

**Assemblée Nationale**. Constitution du 4 octobre 1958 Douzième Législature. enregistré à la présidence de l'assemblée nationale le 22 février 2006. Rapport fait au nom de la mission d'information (I) sur les risques et les conséquences de l'exposition à l'amiante.

**ORDEN PRA/1080/2017**, de 2 de noviembre, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

01

# Amianto. Descripción y características

## DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El **amianto** (del latín) o **asbesto** (del griego) es un conjunto de silicatos fibrosos de origen mineral y composición química variable, que en su rotura o trituración son susceptibles de liberar fibras.

En función de su estructura cristalina, el amianto se clasifica en **dos grupos de minerales: serpentinas (crisotilo) y anfíboles (crocidolita, amosita, antofilita, actinolita y tremolita)**. El crisotilo (o amianto blanco) es la variedad más comúnmente utilizada, seguido de la crocidolita (amianto azul) y la amosita (amianto marrón).

En la tabla 1 se muestran las distintas variedades de amianto y sus características.

Las fibras de amianto tienen la propiedad de dividirse y subdividirse longitudinalmente en fibras cada vez más finas capaces de atravesar todos los conductos del sistema respiratorio y alcanzar la parte más profunda del pulmón (alvéolos) donde quedan depositadas. Las fibras de determinado tamaño no pueden ser eliminadas por los macrófagos alveolares, pudiendo dar lugar a que se inicien procesos fibrogénicos y cancerígenos. Por ello, el amianto está clasificado como cancerígeno de primera categoría (C1), habiéndose demostrado como causa, al menos, de tres tipos de enfermedades graves: asbestosis, mesotelioma pleural y peritoneal y cáncer de pulmón.

Las fibras de anfíboles son rectas, cortas y rígidas y, además, más resistentes al calor y a los ataques de ácidos que las fibras de serpentinas (crisotilo), lo que las hace más peligrosas que estas últimas, dado que tienen mayor capacidad de penetración y menor probabilidad de ser destruidas por los macrófagos alveolares.

## VARIEDADES MÁS UTILIZADAS



### CRISOTILO

#### AMIANTO BLANCO

Grupo mineralógico  
**Serpentinás**

Composición  
 $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$

Nº CAS  
12001-29-5  
132207-32-0

Características  
**Fibras flexibles, finas y sedosas.**



#### AMIANTO MARRÓN

Grupo mineralógico  
**Anfíboles**

Composición  
 $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$

Nº CAS  
12172-73-5

Características  
**Fibras brillantes, duras y rectas.**



#### AMIANTO AZUL

Grupo mineralógico  
**Anfíboles**

Composición  
 $Na_2Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2Si_8O_{22}(OH)_2$

Nº CAS  
12001-28-4

Características  
**Fibras rectas azul intenso, con una dureza intermedia entre el crisotilo y la amosita.**

## VARIEDADES MENOS UTILIZADAS



#### AMIANTO

Grupo mineralógico  
**Anfíboles**

Composición  
 $Fe_6(Si_8O_{22})(OH)_2$

Nº CAS  
77536-66-4

Características  
**Fibras de color blanco.**



#### ANTOFILITA

#### AMIANTO

Grupo mineralógico  
**Anfíboles**

Composición  
 $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_4$

Nº CAS  
77536-67-5

Características  
**Se presenta en masas fibrosas con haces de fibras cortas de color blanco.**



#### TREMOLITA

#### AMIANTO

Grupo mineralógico  
**Anfíboles**

Composición  
 $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_4$

Nº CAS  
77536-68-6

Características  
**Presenta fibras de color blanco.**

Tabla 1. Características de las principales variedades de amianto  
Fuente: Informe sobre el amianto en la CAPV, Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales (OSALAN), 2012

La peligrosidad del amianto y de los materiales que lo contienen depende de, además de su naturaleza, la capacidad de dichos materiales para liberar las fibras que los componen, es decir, de su **friabilidad**.

La friabilidad de un material depende de los siguientes factores:

- La cantidad de fibras en el material o aplicación que lo contiene.
- El tipo de mezcla con otros compuestos, es decir, la mayor o menor cohesividad entre la fibra y el material o materiales aglutinantes con los que está mezclado (p.e. el cemento retiene fuertemente las fibras, mientras que el yeso, débilmente).
- El tipo de aplicación, que determinará el grado de afectación al que puede estar sometido por acciones externas climatológicas, antrópicas, etc.
- El estado de conservación del material, pues la friabilidad de un material aumenta cuando envejece y se rompe o deteriora.

**En función de su friabilidad**, se distinguen las siguientes tipologías:

1. **Amianto no friable** (también denominado amianto ligado o adherido). No desprende fibras a no ser por la acción directa de máquinas o herramientas, dado que las fibras están mezcladas con otros materiales, habitualmente cemento, cola, asfalto o vinilo, que actúan como agente aglutinante.

2. **Amianto friable** (también denominado amianto no ligado o no adherido). Es aquel que puede ser disgregado o reducido a polvo con la sola acción de la mano, o que puede liberar fibras como consecuencia de choques, vibraciones o movimiento del aire, ya que sus fibras no están unidas mediante ningún otro material.

Las excelentes propiedades aislantes, mecánicas, químicas y de resistencia al calor y a las llamas que presenta el amianto, así como su relativo bajo coste, motivaron su empleo en numerosas aplicaciones industriales y domésticas, hasta la prohibición de su utilización, producción y comercialización en España en el año 2002.

Algunas de las aplicaciones más frecuentes fueron las siguientes: cubiertas, losetas de suelo, falsos techos, placas para recubrimiento de fachadas, paneles aislantes, conductos y tuberías, depósitos, tejidos ignífugos, pinturas, asfaltos, pastillas y zapatas de freno, aislamiento de hornos, calderas y otros equipos.

## IDENTIFICACIÓN DEL AMIANTO COMO COMPUESTO DE INTERÉS EN EL SUELO

La fabricación de los materiales que contienen amianto (MCA), las actuaciones inadecuadas en su gestión, así como la degradación de los materiales con amianto todavía instalados, son las principales causas de la contaminación del suelo por amianto.

En este medio, el amianto puede encontrarse en diferentes formas:

- En forma claramente identificable (piezas, paneles aislantes, tuberías, fragmentos, etc.), generalmente en depósitos discretos fruto del vertido.
- Como consecuencia de la degradación del material, podrá encontrarse como pequeños trozos de materiales con amianto (MCA) o haces de fibras dispersas, en ocasiones visibles, aunque a veces difícilmente detectables.
- Como fibras sueltas no visibles, únicamente detectables mediante análisis en laboratorio.

Al igual que otros contaminantes, la **presencia de amianto en los suelos debe ser debidamente investigada** en cumplimiento de lo establecido en la legislación vigente en materia de suelos contaminados, *LEY 4/2015 de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo* y *DECRETO 209/2019, de 26 de diciembre, por el que se desarrolla la LEY 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo*.

Con carácter general, se procederá a la investigación de amianto en el suelo cuando, a partir de la investigación preliminar o del reconocimiento *in situ*, se compruebe o se sospeche la presencia de amianto o de productos que contienen amianto en el suelo.

02



# Investigación de suelos afectados por la presencia de amianto

## CONSIDERACIONES PREVIAS

La investigación suelos en los que se sospecha la presencia de amianto muestra, con relación a otros contaminantes, características particulares que han de tenerse en cuenta en el diseño de la investigación.

En primer lugar, el amianto puede presentarse en el suelo en muy distintas formas, siendo en algunos casos detectable visualmente en campo (materiales o grandes trozos de materiales con amianto (MCA) no enterrados), pero complicado de identificar de visu en muchos otros, ya que puede estar degradado y mezclado con el suelo en forma de pequeños trozos o haces de fibras dispersas. El amianto puede además aparecer como fibras sueltas cuya presencia únicamente se confirma mediante análisis en laboratorio.

Como consecuencia de sus diferentes formas de presentación, su distribución en el suelo puede ser **muy heterogénea**, un hecho que habrá de tenerse en cuenta en el diseño de la investigación (por ejemplo, en el cálculo del número de muestras o en el volumen de estas).

Por otro lado, el amianto presenta un **comportamiento ambiental** diferente al de la mayoría de las sustancias contaminantes: es un material inerte, muy persistente, no susceptible de degradación química. Al contrario, la única degradación que tiene lugar es la que se produce desde el material o producto que contiene amianto, a fragmentos y fibras, con el consiguiente aumento de peligrosidad.

Las fibras de amianto no son volátiles, no se difunden a través del suelo ni se disuelven en agua. El principal, y prácticamente único **mecanismo de migración** de las fibras, es la suspensión en el aire como consecuencia de la alteración del material.

Las características y el comportamiento ambiental del amianto conllevan, además, que la **estimación de los riesgos** asociados a la presencia de este contaminante en el suelo lleve asociadas complicaciones adicionales al procedimiento convencional de análisis cuantitativo de riesgos en suelos (potencialmente) contaminados. Esto se debe fundamentalmente a que los riesgos a los que se ven sometidos los individuos expuestos no solo dependen de la concentración del contaminante y de la frecuencia y duración de la exposición al mismo, sino también de otros parámetros como el tipo de amianto, su estado y situación en la que se encuentre en el suelo, el tipo de suelo o las posibles alteraciones que pueda sufrir como consecuencia de, por ejemplo, la erosión, el viento o la actividad humana que puedan provocar la liberación de fibras. Por todo ello, no existen actualmente modelos para determinar con una

precisión aceptable la contribución del suelo contaminado con amianto a la concentración de fibras en el aire.

El **análisis en laboratorio** de suelos con amianto presenta también peculiaridades a tener en cuenta en el proceso de investigación. Actualmente están disponibles diversos métodos y técnicas analíticas que ofrecen muy distinta información. En consecuencia, será imprescindible tener claro el objeto del análisis puesto que este definirá la técnica más adecuada. Mientras que algunas técnicas determinan la presencia o ausencia de fibras, otras permiten la identificación del tipo de fibra o la cantidad de amianto total o diferenciado por tipología (crisotilo, amosita, etc.) o por friabilidad (friable, no friable). Como ocurre para cualquier otro contaminante, la elección de la técnica más adecuada dependerá, además, de su sensibilidad para alcanzar unos límites de cuantificación que permitan la comparación de los resultados del análisis con los niveles de referencia a aplicar en cada caso.

No debe obviarse además que el uso de la microscopía como técnica analítica implica el conteo manual de las fibras de amianto utilizando para ello métodos definidos para minimizar la subjetividad a la que está sometida esta tarea. Estos métodos responden a, por ejemplo, diferentes definiciones y criterios de tamaño para la contabilización de las fibras, razón por la cual los resultados obtenidos por distintos métodos pueden no ser directamente comparables.

Finalmente teniendo en cuenta que la peligrosidad del amianto está asociada, entre otros aspectos, a su **friabilidad**, a la hora de investigar y recuperar suelos contaminados con amianto se deberán emplear técnicas que alteren el suelo lo mínimo posible, debiendo además adoptar todas aquellas medidas de prevención y control específicas para la realización de trabajos con riesgo de exposición al amianto que se determinen de conformidad con lo dispuesto en el *REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto*.

**Se podrán admitir desviaciones o simplificaciones del proceso general de investigación de la calidad del suelo** (investigaciones preliminar, exploratoria y detallada), que supongan la limitación del alcance de la investigación y el diseño y ejecución directos de medidas de recuperación, con carácter excepcional y siempre que los datos disponibles permitan concluir que la solución más adecuada es el *confinamiento in-situ* de los suelos contaminados con amianto, específicamente cuando así lo haya establecido la autoridad laboral competente.

## INVESTIGACIÓN DE SUELOS EN LOS QUE SE SOSPECHA LA PRESENCIA DE AMIANTO

### Cuestiones generales

La investigación de suelos afectados por la presencia de amianto se llevará a cabo bajo el esquema de investigación de la calidad del suelo establecido en el País Vasco, es decir, seguirá las directrices del **Anexo I del Decreto 209/2019, de 26 de diciembre, por el que se desarrolla la LEY 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo** adaptadas, como para cualquier otra sustancia contaminante, a las particularidades de esta que se consideren relevantes.

En consecuencia, la investigación de la calidad del suelo de los emplazamientos potencialmente contaminados por amianto se desarrollará en dos fases de complejidad progresiva, que a su vez podrán llevarse a cabo en varias etapas o incluir diferentes campañas con el objetivo de ajustar el alcance de la investigación a las particularidades de cada emplazamiento:

- Investigación exploratoria
- Investigación detallada

Si como resultado del análisis de riesgos (parte de la investigación detallada) se detectase un riesgo inaceptable, se realizará un estudio de las alternativas de saneamiento que permitan compatibilizar la calidad del suelo con el uso actual y previsto y redactar, de acuerdo con los resultados de este estudio, el correspondiente plan de recuperación.

Así mismo, es necesario tener en cuenta que la presencia de amianto en el suelo puede darse simultáneamente con la de otros contaminantes. Por ello, el diseño y la ejecución de la investigación, y el saneamiento, cuando proceda, deberán integrar los requerimientos asociados a todos los contaminantes de interés en cada caso.

En los apartados siguientes se describen exclusivamente las principales particularidades que habrán de considerarse a la hora de investigar un suelo potencialmente contaminado con amianto sin entrar a cuestiones ya definidas en el procedimiento convencional de investigación de la calidad del suelo.



## Cuando investigar en un emplazamiento la presencia de amianto

Las excelentes propiedades aislantes, mecánicas, químicas y de resistencia al calor y a las llamas que presenta el amianto, así como su relativo bajo coste, motivaron su empleo en numerosas aplicaciones industriales y domésticas, como cubiertas, losetas de suelo, falsos techos, placas para recubrimiento de fachadas, paneles aislantes, conductos y tuberías, depósitos, tejidos ignífugos, pinturas, asfaltos, pastillas y zapatas de freno, aislamiento de hornos, calderas y otros equipos, etc., hasta la prohibición de su utilización, producción y comercialización en España en el año 2002.

La fabricación de estos materiales y las posibles actuaciones inadecuadas en su gestión han podido generar emplazamientos o suelos afectados por la presencia de amianto.

- Al igual que con otros contaminantes, en el marco de la investigación exploratoria (preliminar) del suelo se debe tener en cuenta la posible presencia de amianto en función de las actividades y usos históricos llevados a cabo en el emplazamiento.

Entre las actividades y usos que podrían implicar la presencia de amianto en el suelo, cabe destacar los que, sin pretender responder a un inventario exhaustivo, se recogen en la siguiente tabla.

Tipos	Actividades
<b>Industrias MCA</b>	Fabricación de materiales con amianto (MCA).
<b>Instalaciones industriales</b>	Actividades industriales con aplicaciones conocidas de amianto: Instalaciones navales, militares o ferroviarias, plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición, empresas petroquímicas, fábricas de gas, empresas metalúrgicas (protección contra altas temperaturas), industria automovilística (forros de freno, embragues, juntas), empresas fabricantes de productos con materiales de aislamiento térmico (vagones de trenes, construcción naval, ropa resistente al fuego), industria química (protección contra la agresión química), etc.
<b>Vertederos</b>	Vertederos incontrolados, depósitos de chatarra.
<b>Rellenos</b>	Emplazamientos rellenados con residuos de la industria del amianto o residuos de construcción y tierras de aportación con amianto, incluidas las procedentes de dragados.
<b>Demoliciones</b>	Terrenos en los que se han demolido estructuras (aéreas o subterráneas) sin controles adecuados.
<b>Aplicaciones exteriores</b>	Edificios o instalaciones con estructuras de amianto (cubiertas o fachadas en edificios, placas de fibrocemento empleadas como cerramiento, etc.) que se encuentren sometidas a deterioro por la intemperie o a otros daños.
<b>Almacenamientos</b>	Almacenamiento descuidado de materiales de construcción o residuos de construcción y demolición que contienen asbestos.
<b>Ruinas industriales y servicios en desuso</b>	Edificios o instalaciones abandonados con estructuras de MCA (materiales con amianto), incluidos servicios enterrados en desuso (como tuberías).
<b>Incendios, explosiones y eventos climatológicos extremos</b>	Emplazamientos con presencia de estructuras con amianto y su entorno, que han sufrido daños debido a cualquiera de estos fenómenos.

Tabla 2. Actividades que han podido producir contaminación del suelo por amianto

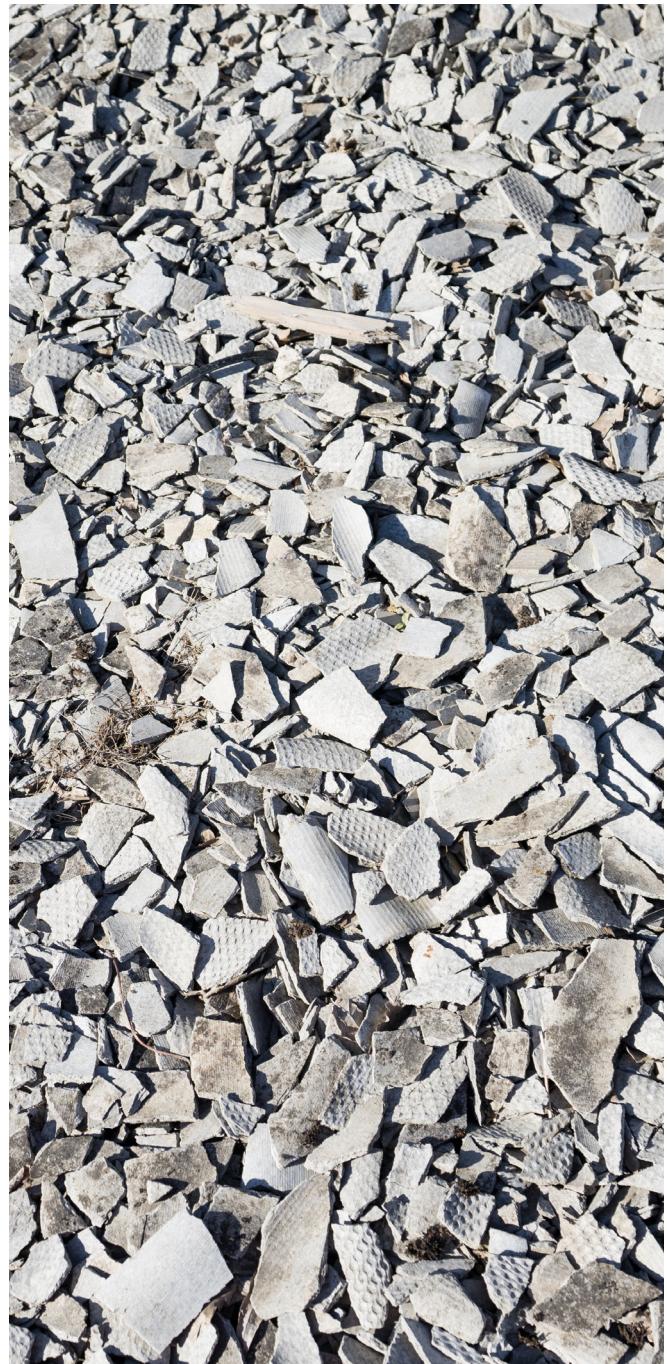
Con carácter general, se procederá a la investigación de amianto en el suelo cuando, a partir del estudio histórico o del reconocimiento *in situ*, se concluya que en el emplazamiento hay o es probable que haya presencia de amianto.

No obstante, teniendo en cuenta su extendido uso en muy diversas aplicaciones, y especialmente en la construcción, y su dificultad de identificación a simple vista en algunos casos, el amianto deberá considerarse obligatoriamente como compuesto de interés, y por tanto ser analizado, en investigaciones de la calidad del suelo que se lleven a cabo en antiguos depósitos incontrolados de residuos y en vertederos (en aquellas zonas y estratos en los que exista la sospecha de presencia de este tipo de contaminante, por ejemplo, en residuos de construcción y demolición) y en aquellos emplazamientos en los que se hayan llevado a cabo demoliciones sin el control del órgano ambiental, a menos que se pueda confirmar mediante evidencias gráficas, documentales o analíticas, que no existe o no es posible que exista ese tipo de contaminación en el emplazamiento.

Cuando se trata de rellenos (a veces susceptibles de contener residuos con amianto), únicamente se considerará que el emplazamiento no es sospechoso, cuando el tamaño y la composición de los residuos, así como su origen, o el uso histórico del emplazamiento, permitan descartar la presencia de amianto.

Cuando los materiales que contienen amianto identificados en el emplazamiento no se encuentren deteriorados y pueda garantizarse que restos de este material no hayan acabado en el suelo, el emplazamiento no se considerará sospechoso.

En el caso de aplicaciones exteriores con materiales que puedan contener amianto, se deberá comprobar si dichos materiales presentan deterioro, degradación u otros daños que hubieran podido provocar la migración de las fibras de amianto, si no existen sistemas de recogida de pluviales (como canalones en los tejados y cubiertas) que vierten al sistema de saneamiento sin que estas aguas entren en contacto con el suelo y si el suelo bajo dichas aplicaciones exteriores se encuentre sin pavimentar. En el caso de que concurran todas estas circunstancias, el amianto se convertirá en un contaminante de interés para la investigación. En tejados y cubiertas que presenten desgaste o degradación y que cuenten con sistemas de recogida de aguas (canalones y bajantes), deberá comprobarse la existencia de posibles residuos de amianto exclusivamente en las zonas de desagüe.



## Investigación exploratoria

La investigación exploratoria de suelos en los que se sospecha la presencia de amianto tendrá por objetivo, como para el resto de contaminantes y de acuerdo a la *LEY 4/2015, de 25 de junio*, verificar la existencia de concentraciones de amianto que puedan implicar una alteración o contaminación del suelo.

El **estudio histórico** deberá permitir constatar si el emplazamiento ha podido verse afectado por alguna de las actividades mencionadas en la **Tabla 2**, es decir:

- Si en el emplazamiento o en su entorno se han localizado instalaciones en las que se hayan producido materiales con amianto (MCA).
- Si es posible la presencia de rellenos con residuos de fabricación de amianto o con residuos de construcción y demolición que contuvieran amianto.
- Si se han llevado a cabo demoliciones no selectivas sin control de edificaciones o estructuras con amianto.
- Si existen o han existido edificios o estructuras con aplicaciones exteriores de amianto en mal estado sobre suelos no pavimentados.
- Si se observa la presencia de vertederos o depósitos incontrolados de residuos.
- Si existe cualquier otro indicio previo que pueda hacer sospechar la existencia de amianto en el emplazamiento.

En el caso de que existan indicios de la presencia de amianto en el emplazamiento se tratará de obtener información adicional sobre el tipo de amianto, la forma en la que se encuentra y la distribución previsible del contaminante en extensión y profundidad.

Por su parte, el **estudio del medio físico** prestará especial atención a todos aquellos aspectos que puedan influir en el proceso de liberación y dispersión de las fibras de amianto, incluyendo fenómenos meteorológicos, actividades y usos del suelo en el emplazamiento y su entorno, actuales y futuros.

En los casos en los que el amianto sea considerado como un contaminante de interés, durante el **reconocimiento in situ** del emplazamiento se comprobará la presencia de amianto o materiales con amianto (MCA) en el suelo o en aplicaciones exteriores de edificios y estructuras de la zona o la existencia de zonas de vertido que pudieran contener residuos de amianto. El reconocimiento in situ deberá realizarse de tal modo que se asegure que la totalidad de la superficie del emplazamiento objeto de interés ha sido inspeccionada sistemáticamente. Para un adecuado reconocimiento el emplazamiento este deberá estar libre de vegetación (las operaciones de desbroce se realizarán de forma muy cuidadosa evitando la alteración de los materiales y con ello la liberación de fibras) charcos u otros elementos que

impidan una adecuada supervisión del terreno. En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que, si el amianto aparece en forma de fibras o en forma de pequeños trozos mezclados con el suelo u otro tipo de residuos, su reconocimiento puede ser complicado y la detección recaerá en la caracterización de laboratorio.

Los datos de los (potenciales) restos de amianto observados durante la inspección visual deberán ser registrados cuidadosamente junto a la correspondiente documentación gráfica. El registro de información incluirá la descripción de los diferentes materiales con amianto (MCA), tipología y estado (degradación, friabilidad), la estimación de la cantidad presente, la delimitación del área o áreas del emplazamiento afectada e indicaciones sobre la profundidad esperada de la afectación.

La elaboración de un buen **modelo conceptual de riesgos** es particularmente importante en el caso del amianto porque, además de constituir la base para el diseño y ejecución de la investigación, contribuirá a la identificación de las precauciones específicas a adoptar para los trabajadores encargados de llevar a cabo los trabajos de campo. En la definición del modelo conceptual de riesgos se deberá tener en cuenta toda la información recopilada previamente, junto con las particulares características del amianto y su comportamiento ambiental. En concreto, se considerarán las siguientes cuestiones:

- La descripción de la **fuente del riesgo** es clave ante la diversidad en el tipo de minerales de amianto, en su forma de presentación y en su origen (demoliciones no selectivas, rellenos de residuos de construcción y demolición, residuos de fabricación de materiales con amianto, etc.). La concentración y el tipo de amianto, la friabilidad, el estado de degradación, la extensión o la profundidad a la que se encuentra son elementos que han de estar siempre presentes en el modelo conceptual.
- Los únicos **receptores** objeto de consideración serán las personas. No existen evidencias de riesgo para plantas e invertebrados. La presencia de amianto tampoco supone un riesgo para el agua ni para la estructura de los edificios. Por tanto, el único receptor considerado será el ser humano: trabajadores, residentes, público en general y trabajadores durante la investigación y remediación del suelo. La evaluación de riesgos para estos últimos se llevará a cabo en el marco de la prevención de riesgos laborales.
- La única **vía de exposición** a considerar con carácter general será la inhalación, en exteriores o en interiores, de fibras procedentes del suelo. El contacto dérmico se considera exclusivamente a efectos de adoptar medidas de protección que eviten la adhesión y el transporte de las fibras. Los riesgos derivados de la ingestión son considerados insignificantes.

- En cuanto a las **rutas de dispersión y mecanismos de transporte** se deberá tener en cuenta que las fibras de amianto no se volatilizan ni se disuelven en agua. Sin embargo, las fibras de diámetro pequeño y las partículas pequeñas que contienen fibras pueden permanecer suspendidas en el aire largo tiempo y así ser transportadas largas distancias por el viento antes de depositarse. En ocasiones el fenómeno de dispersión de estas fibras puede ser producido por corrientes de agua. Las fibras y partículas de mayor tamaño tienden a depositarse más rápido. Si el suelo se ve alterado por alguna perturbación, como la erosión y dispersión atmosférica, la escorrentía u otras alteraciones del material o del suelo de carácter natural (tormentas, incendios, etc.) o antrópico (circulación de personas o vehículos, movimientos de tierra, cultivos, etc.), las fibras de amianto pueden migrar, fundamentalmente en superficie, y muy raramente en profundidad.
- En raras ocasiones es necesario considerar la **migración de fibras de amianto a través de las aguas subterráneas o superficiales o la escorrentía superficial**. Solo en los casos en que las fibras pudieran depositarse y exponerse en áreas con presencia humana (por ejemplo, durante períodos secos).
- El amianto es un material inerte, muy persistente, que no se ve afectado por **procesos de degradación** salvo el deterioro o desgaste con la consiguiente liberación de fibras que, en función de las características de friabilidad del material, aumentará su peligrosidad. Como resultado de procesos físicos, las fibras de asbestos pueden quebrarse en pedazos más cortos o separarse en un número mayor de fibras individuales. Además, cabe señalar que la forma de asbestos más común, el crisotilo, puede experimentar una leve pérdida de mineral en ambientes acídicos. Así, cuanto más ácido sea un suelo, mayor probabilidad de que los compuestos ligantes del material con amianto se degraden y conduzcan a un incremento de la liberación de fibras a lo largo del tiempo.

Aunque lo habitual es que la investigación preliminar no considere la toma y caracterización de muestras, puede que en algunos casos sea recomendable. Así, la comprobación previa de la presencia de amianto en materiales sospechosos de contener este material, por métodos como la microscopía de luz polarizada (PLM), puede resultar determinante en la definición del alcance de la investigación, que podría incluir o no amianto entre los compuestos de interés en función de los resultados obtenidos.

#### Como resultado de esta **primera fase (preliminar) de la investigación exploratoria:**

- Se determinará de forma justificada si el emplazamiento es o no sospechoso de estar contaminado por amianto o materiales que lo contengan.
- Se establecerán hipótesis de distribución de la contaminación (en el sentido horizontal, y en el vertical - a nivel superficial subsuperficial o en profundidad) para las diferentes subáreas y estratos que se puedan delimitar dentro del emplazamiento.
- Se diseñará la estrategia del trabajo de campo de la investigación exploratoria.

No será necesario avanzar en la investigación cuando se pueda demostrar que la afección por amianto se limita a materiales que contienen amianto (MCA) depositado sobre la superficie cubierta, (hormigonada o asfaltada, por ejemplo) del suelo.

**El muestreo de amianto en el suelo** es una operación compleja debido a la dificultad para la obtención de muestras representativas. El amianto se distribuye normalmente de manera heterogénea en este medio y además, presenta diferente peligrosidad en función del tipo de amianto de que se trate, de la friabilidad del mismo (un parámetro que además puede variar con el paso del tiempo debido a la degradación del material) y de la longitud de las fibras, circunstancias que deberán tenerse en cuenta en el diseño de la investigación de la distribución de amianto considere este hecho.

En el marco de la investigación de suelos con amianto se recogerán muestras de las diferentes formas en las que se puede presentar este material: materiales con amianto (MCA) (tanto en buenas condiciones, aunque se encuentre roto o fragmentado como alterado o degradado formando asbestos fibroso) y suelos sospechosos de contener amianto.

La posible presencia de materiales con amianto (MCA) hace, por un lado, que la estrategia de muestreo presente peculiaridades con respecto a otros contaminantes y, por otro lado, que la inspección visual, no solo de la superficie sino también del suelo superficial y de los diferentes estratos del suelo, juegue un papel muy relevante en la caracterización.

La determinación del número de puntos de muestreo y de muestras se realizará siguiendo las siguientes directrices generales:

- El número de puntos de muestreo se establecerá siguiendo los criterios que proporciona el Decreto 209/2019, de 25 de junio para la toma de muestras de suelo en la investigación exploratoria.
- El emplazamiento se dividirá en subzonas en función de la distribución espacial del material sospechoso de contener amianto. Para ello se tendrá en cuenta la información obtenida en la fase de investigación preliminar, especialmente en la inspección visual del nivel superficial.
- Los puntos de muestreo se distribuirán preferentemente de forma sistemática sobre la superficie de cada zona sospechosa.
- Para este contaminante, cobra una especial relevancia la inspección visual de los materiales subsuperficiales. Tanto la inspección visual como la toma de muestras se referirá a cada estrato sospechoso diferenciable y, en cualquier caso, no mayor de 50 cm.
- Si únicamente se detectara amianto no friable, se tomará una muestra compuesta de cada uno de los materiales identificados con objeto de confirmar la presencia de este mineral y determinar el tipo. Esta forma de hacer se aplicará tanto al amianto presente en superficie como a aquel que se observe a simple vista en los estratos potencialmente afectados por este tipo de contaminación. No obstante, solo se aceptarán las muestras compuestas cuando los materiales del suelo de las perforaciones sean similares en relación con el tipo de material susceptible de contener amianto, la

superficie/peso de material sospechoso de amianto y el número de piezas sospechosas de amianto y la estructura del suelo/cantidad de impropios. En caso de grandes diferencias dentro de una subzona, deberá reconsiderarse la hipótesis de investigación.

- Si se han eliminado estructuras que contenían amianto, debe investigarse su “huella” potencial en el suelo. Aparte de una inspección visual, la toma de muestras del subsuelo será necesaria para estructuras (parcialmente) enterradas o que hayan podido producir una alteración del suelo (por ejemplo, por estructuras externas sometidas a procesos de erosión o degradación). Por lo general, el muestreo por debajo de los 30 cm de profundidad no está justificado. El muestreo debe extenderse lateralmente hasta 50 cm fuera del perímetro de la “huella”.
- Con objeto de poder expresar adecuadamente las cantidades de amianto (especialmente de materiales con amianto (MCA)) presentes en las diferentes zonas del emplazamiento, será necesario registrar detalladamente en campo los volúmenes de los estratos excavados e inspeccionados.

Además, debido a que el tamaño de muestra, para que pueda ser considerada representativa, está relacionado con la granulometría o el tamaño del material a muestrear, en el caso del amianto se deben examinar relativamente grandes cantidades de material por punto de muestreo, siendo los volúmenes de muestra a tomar mayores que para otros contaminantes. Así la cantidad mínima de muestra requerida será de 10 kg ms.

Por otro lado, y debido a las diversas formas en las que puede presentarse el amianto en el suelo y a la relación de estas con su peligrosidad potencial, cobra una especial importancia la **técnica de muestreo**. La técnica elegida deberá permitir la mejor observación posible del terreno a la vez que minimice la alteración del suelo y de los posibles materiales con amianto o fibras de amianto presentes.

Las técnicas de muestreo se seleccionarán en función de los objetivos del muestreo, las características de la contaminación (extensión, profundidad) y las características del material (friabilidad). Generalmente se emplearán técnicas de muestreo manual cuando se encuentren fragmentos de materiales con amianto (MCA) visibles en superficie, y catas o zanjas para el muestreo en profundidad. El uso de sondeos en lugar de catas habrá de ser debidamente justificado. En cualquier caso, será necesario proceder de tal forma que se reduzca al mínimo la posibilidad de emisión de fibras de amianto.

Considerando la posible heterogeneidad de la distribución del amianto en el suelo, la investigación se realizará por defecto de acuerdo con la **toma de muestras simples**. Solo estará permitida la toma de muestras compuestas cuando se pretenda investigar grandes superficies, siempre y cuando los materiales de las perforaciones y estrato investigado sean homogéneos. Así mismo se tomarán muestras compuestas cuando, como ya se ha indicado anteriormente, se trate de caracterizar materiales con amianto de la misma naturaleza.

Una vez finalizados los trabajos de toma de muestras, se cerrarán las perforaciones cuidadosamente introduciendo de nuevo el material extraído a su profundidad original.

La estabilidad química del amianto y su relativa inmovilidad en el suelo determina que en general no sea necesario incluir en la investigación, **las aguas subterráneas o superficiales** salvo cuando el emplazamiento se sitúe en una zona con procesos erosivos (incluyendo avenidas) que hayan arrastrado o puedan arrastrar el amianto fuera de los límites del primitivo lugar de depósito.

Será necesario proceder a la realización de una investigación detallada cuando de los resultados de la investigación exploratoria se concluya que:

- Existen en el suelo concentraciones de amianto superiores a cualquiera de los dos valores de referencia;  $V_{A1}$  y  $V_{A2}$  (ver nota técnica relativa a los estándares de contraste) o
- Se observa la presencia de materiales con amianto (MCA) en el subsuelo.

### Investigación detallada

Al igual que para el resto de contaminantes, el objetivo principal de la investigación detallada será la correcta delimitación del tipo, concentración y distribución del amianto en el suelo con la finalidad de cuantificar los riesgos que conlleva su presencia, en este caso, para la salud humana.

El alcance de la investigación detallada se fijará en función de los resultados de la investigación exploratoria y del propio objetivo de la investigación detallada.

Así, si no es necesario obtener información adicional sobre el contenido o tipología de amianto presente (por ejemplo, en casos de contaminación por materiales con amianto no friables), es posible realizar la delimitación de la contaminación de acuerdo con la ejecución de calicatas adicionales. Para ello, en torno a cada uno de los puntos en los que se haya detectado la presencia de materiales con amianto (MCA), se ejecutarán 4 nuevos puntos de muestreo de manera que rodeen al primero. Salvo motivo suficientemente justificado, estos puntos de muestreo se ubicarán a una distancia no superior a 5 metros del punto cuya alteración pretenden delimitar. Sobre la base de la inspección visual de estas calicatas (es decir, si se observa o no afección por amianto), se decidirá si se deben llevar a cabo calicatas adicionales. Este proceso se repite hasta que la contaminación por amianto esté completamente delimitada.

Si por el contrario, se necesita información adicional sobre el contenido de amianto en una subzona (como en el caso de que la contaminación se deba a la presencia de fibras en el suelo), se cumplirán los mismos requerimientos de la investigación detallada especificados en el Decreto 209/2019, de 26 de diciembre.

En caso de detectarse valores muy dispares de concentración, se deberán identificar subáreas con diferente grado de afección.

Por otra parte, en el marco del análisis de riesgos (ver nota técnica correspondiente a este tema), se podrán contemplar otras líneas de evidencia aparte del muestreo de suelos que pueden conllevar la necesidad de realizar otras caracterizaciones diferentes a la del suelo, como la determinación del potencial de generación de fibras respirables o el muestreo directo de fibras en aire.



## DETECCIÓN INESPERADA DE CONTAMINACIÓN POR AMIANTO EN SUELOS

La detección inesperada de amianto o materiales con amianto (MCA) durante los trabajos de investigación o recuperación de suelos supondrá que, de forma inmediata, se interrumpan los trabajos en marcha y se adopten las medidas necesarias para impedir que terceras personas queden expuestas (p.ej. cubrición provisional de las superficies expuestas o tratamiento de las mismas con agentes humectantes o aglutinantes, etc.) y que la contaminación por amianto se disperse. La detección deberá ser comunicada inmediatamente al órgano ambiental.

Si el emplazamiento en el que se detecte la presencia de amianto está siendo objeto de una investigación de la calidad del suelo, habrá de adaptarse la estrategia de investigación para dar respuesta a esta nueva circunstancia. En caso de que los trabajos en marcha correspondan a un saneamiento, la detección inesperada de amianto podrá implicar una revisión general de las acciones ejecutadas o en ejecución, tanto de investigación como de remediación.

## CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL

A parte de las medidas a adoptar para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores y trabajadoras durante la realización de las labores de investigación y recuperación de suelos contaminados con amianto, será también necesario considerar la posible exposición de otras personas situadas en el entorno de los emplazamientos objeto de interés.

A tal efecto se deberá valorar, como parte del diseño de la estrategia de investigación, la necesidad de establecer controles de fibras en aire en la dirección a favor del viento y en aquellas otras direcciones donde existan o puedan existir receptores potencialmente expuestos.

Estas exposiciones se consideran no laborales, son accidentales y no están permitidas, por lo que han de ser necesariamente evitadas. La medición de las concentraciones de fibras de amianto en aire es el medio más objetivo para la detección y control de las exposiciones no laborales, aunque a diferencia de las mediciones para la exposición laboral, su finalidad no es la evaluación del riesgo sino su eliminación.

Cuando se superen los valores límite de control ambiental será necesario identificar el origen de dicha superación con objeto de establecer medidas urgentes para la eliminación de las causas (p.ej. paralización de actividades, cubrición provisional de las superficies expuestas o tratamiento de las mismas con agentes humectantes o aglutinantes, etc.). La superación conllevará la comunicación inmediata al órgano ambiental de las causas de la misma y de las medidas adoptadas o a adoptar para continuar con los trabajos, manteniendo las concentraciones por debajo del valor de referencia establecido.

## REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON AMIANTO

Al igual que para el resto de contaminantes, todas las empresas que realicen trabajos de investigación y recuperación de suelos contaminados con amianto deberán estar acreditadas por el órgano ambiental de la Comunidad Autónoma del País Vasco de conformidad con lo dispuesto en el *Decreto 199/2006, de 10 de octubre, por el que se establece el sistema de acreditación de entidades de investigación y recuperación de la calidad del suelo y se determina el contenido y alcance de las investigaciones de la calidad del suelo a realizar por dichas entidades*.

Adicionalmente, en orden a garantizar la seguridad y salud laboral de todos los y las trabajadores y trabajadoras durante la realización de las labores de investigación y recuperación de suelos contaminados con amianto, la entidad deberá cumplir y hacer cumplir las disposiciones contenidas en la *LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales* y en cualesquiera otras disposiciones legales en vigor que sean de aplicación.

En especial, en aquellos emplazamientos en los que se tenga constancia de la presencia de amianto (bien porque del estudio histórico se obtengan evidencias de que puede haber amianto o materiales que lo contengan, porque los mismos se hayan observado directamente o porque se hayan detectado en la caracterización de materiales sospechosos), deberá atenerse lo dispuesto en el *REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto*.

Así, en función del estado del amianto o de los materiales que lo contienen en el suelo y del tipo y duración de las actuaciones de investigación/recuperación a realizar, deberá determinarse, entre otros aspectos, si la empresa encargada de la ejecución de los trabajos de investigación y recuperación de suelos contaminados con amianto debe estar inscrita en el Registro de empresas con riesgo por amianto (RERA) y si debe elaborarse el correspondiente plan de trabajo, de conformidad con lo establecido en el artículo 3.2 del *REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo*. Corresponde a la autoridad laboral competente las decisiones en este ámbito.

En caso afirmativo, las entidades acreditadas en investigación y recuperación de la calidad del suelo deberán estar inscritas en el RERA, o bien, colaborar con empresas inscritas en este registro, supervisándolas, para las actuaciones a realizar.





03

# Niveles de referencia

## Valoración de los resultados de la investigación de suelos contaminados con amianto.

### NIVELES DE REFERENCIA PARA AMIANTO EN SUELO

El establecimiento de niveles de referencia para amianto en suelo resulta muy complejo debido a la dificultad para trasladar las concentraciones de amianto en este medio a concentraciones de fibra respirable en aire que puedan considerarse seguras.

El cálculo que relacionaría la concentración de amianto en los dos medios no puede ser realizado mediante los modelos de emisión y dispersión de partículas comúnmente empleados debido, por un lado, a las características particulares del amianto y a los factores de los que depende su peligrosidad potencial (tipo de amianto y friabilidad), y por otro, al amplio número de variables que influyen en la relación entre la concentración de amianto en el suelo y la concentración de sus fibras en el aire.

De hecho, la dificultad para entender la relación de concentraciones suelo-aire unida a la inexistencia de un nivel que pueda considerarse seguro ha llevado a que algunos países no hayan desarrollado estándares de contraste para el amianto en suelo. Los países o regiones que han optado por derivar niveles de referencia los han obtenido bien mediante pruebas empíricas, bien de acuerdo con las limitaciones de las técnicas analíticas.

Además, tampoco existe un consenso en cuanto a los aspectos a considerar a la hora de fijar niveles de referencia; así, en algunos países/regiones se establece, como para otras sustancias contaminantes, un valor absoluto dependiente o no de los usos del suelo, en otros, las concentraciones límite dependen del tipo de amianto mientras que, en algún otro, la variable de la que depende el estándar de calidad es la friabilidad del material.

Considerando la dificultad de establecer valores de referencia para amianto en suelo mediante métodos de cálculo tradicionales, se ha optado en la Comunidad Autónoma del País Vasco por proponer niveles de referencia basados en los resultados de estudios experimentales realizados por otros países o regiones (en concreto, Países Bajos y Flandes)<sup>1</sup>,

teniendo en cuenta los dos factores de los que depende fundamentalmente la peligrosidad del amianto, es decir, del tipo de amianto y de su friabilidad.

Así, para la valoración de las concentraciones de amianto en suelo se utilizarán conjuntamente **dos niveles de referencia**; el primero ponderado en función del tipo de amianto y el segundo, en función de la friabilidad del material:

- $V_{A1}=100 \text{ mg/kg}$  (concentración de serpentinas + 10 x concentración de anfíboles).
- $V_{A2}=100 \text{ mg/kg}$  (concentración no friable + 10 x concentración friable).

Los resultados analíticos obtenidos en la investigación de la calidad del suelo se compararán con ambos valores de referencia. Se evaluarán las concentraciones máximas obtenidas sin contemplar la incertidumbre de la medición, no pudiendo aplicarse estadísticos a los valores de concentración obtenidos en las muestras de laboratorio. En todo caso, y como es aplicable a cualquier contaminante, el órgano ambiental podrá exigir la repetición de aquellos análisis cuya incertidumbre no pueda considerarse aceptable.

Si en la investigación detallada se supera cualquiera de los niveles de referencia establecidos, se avanzará en el proceso de análisis de riesgos para la contaminación de suelos por amianto tal y como se describe en la nota técnica dedicada específicamente a este tema.

Adicionalmente, de acuerdo al *Reglamento (UE) No 1357/2014 de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por el que se sustituye el anexo III de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas*, concentraciones de amianto superiores a 1.000 mg/kg (sin ponderar) clasifican a los suelos como residuos peligrosos, aspecto que deberá tenerse en cuenta en el marco de las investigaciones y posteriores actuaciones a realizar.

1. RIVM Report No. 711701034: *Beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging met asbest (Evaluación de los riesgos de contaminación del suelo con amianto)*. F.A. Swartjes, P.C. Tromp, J.M. Wezenbeek. National Institute for Public Health and the Environment-RIVM (The Netherlands, 2003).



## NIVELES DE REFERENCIA PARA AMIANTO EN FIBRAS RESPIRABLES EN SUELO

Además de adoptar como uno de los niveles de referencia para amianto en el suelo, el derivado en los Países Bajos, el procedimiento de análisis de riesgos se ha basado también en la metodología de este país. Tal y como se describe en la nota técnica dedicada a este asunto, uno de los parámetros que se cuantificará en una fase avanzada del análisis será la cantidad de fibras respirables de amianto en el suelo.<sup>2</sup>

De acuerdo con lo establecido en el informe RIVM Report No. 711701034, la proporción de fibras de amianto respirables en el suelo (fibras con un diámetro inferior a 3 µm y una longitud inferior a 200 µm) es un parámetro relevante para la valoración de los riesgos para la salud humana específicos de un emplazamiento (independientemente de su uso). Estas fibras son directamente inhalables y pueden ser liberadas bajo condiciones "estándar" (situación en la que actividades como la excavación, el vertido y el tamizado del material del suelo no se llevan a cabo sistemáticamente y la capa superior del suelo está húmeda durante la mayor parte del año).

La derivación del nivel de referencia para las fibras respirables en el suelo, parte del valor límite aceptable establecido en los Países Bajos para la concentración media anual de amianto en el aire:

- Nivel de riesgo insignificante (VR, por sus siglas en holandés): 1.000 fibras equivalentes por m<sup>3</sup> de aire.

Y se deriva considerando los siguientes factores de equivalencia:

- 1 fibra de crisotilo con una longitud > 5 µm: factor equivalente 1.
- 1 fibra de crisotilo con una longitud < 5 µm: factor equivalente 0,1.
- 1 fibra de amianto anfibol con una longitud > 5 µm: factor equivalente 10.
- 1 fibra de amianto anfibol con una longitud < 5 µm: factor equivalente 1.

Tras diversos estudios empíricos realizados con el objeto de relacionar los contenidos de amianto en suelo con las concentraciones de fibras respirables en el aire, se ha propuesto un valor umbral de 4,3x10<sup>10</sup> fibras equivalentes/kg ms. Convertido a una concentración en masa, esta concentración corresponde en orden de magnitud a un valor umbral de 10 mg de fibras respirables por kg de suelo (peso seco) para la suma de la concentración de amianto crisotilo y 10 x concentración de amianto anfibol (otros tipos de amianto), considerándose esté el nivel de referencia para amianto en fibras respirables en suelo.

2. Se consideran fibras de amianto respirables a aquellas con un diámetro inferior a 3 µm y una longitud inferior a 200 µm que no están ligadas en una matriz. En el caso de contaminación del suelo por amianto, la profundidad estándar para la zona de contacto se establece en 2 cm.

## NIVEL DE REFERENCIA PARA FIBRAS DE AMIANTO EN AIRE. CONTROL AMBIENTAL

De cara a establecer el nivel de referencia de fibras de amianto en aire en el marco del control ambiental, hay que tener en cuenta que las exposiciones no laborales son exposiciones accidentales que no están permitidas y tienen que ser necesariamente evitadas. La medición de las concentraciones de fibras de amianto en aire es el medio más objetivo para la detección y control de las exposiciones no laborales, aunque a diferencia de las mediciones para la exposición laboral, su finalidad no es la evaluación del riesgo sino su eliminación.

De acuerdo con el *REAL DECRETO 396/2006* de 31 de marzo, la toma de muestras y el análisis (recuento de fibras) se realizará preferentemente por el procedimiento descrito en el método MTA/MA-051 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «*Determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases*», según el método recomendado por la Organización Mundial de la Salud en 1997, o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

Se debe tener en cuenta que, a efectos del *REAL DECRETO 396/2006*, de 31 de marzo, y del método MTA/MA-051, las partículas a contabilizar como fibras de amianto en aire son aquellas de longitud superior a 5 µm, diámetro inferior a 3 µm y relación longitud/diámetro mayor que 3/1.

Es necesario tener además en cuenta, que la microscopía óptica de contraste de fases según el método MTA/MA-051 no permite diferenciar los tipos de fibras; por lo que, si se requiere esta identificación, será necesario utilizar otros procedimientos y técnicas analíticas como la microscopía de luz polarizada y dispersión o técnicas de microscopía electrónica.

De acuerdo a lo establecido en normativa francesa<sup>3</sup>, en lo relativo a la protección de población frente a los riesgos para la salud asociados a la exposición al amianto en edificios construidos, se presenta la obligación a los propietarios de edificios a realizar un diagnóstico sobre la presencia de amianto (se indica que niveles de concentración por debajo de 0,005f/ml no reflejan una alta contaminación, los superiores a 0,025f/ml requieren un trabajo inmediato y los intermedios requieren un control periódico). Al mismo tiempo, esta reglamentación ha adoptado medidas reglamentarias para las llamadas exposiciones “pasivas” que se encuentran en los edificios. Así, el valor límite de exposición para “todos los públicos” se fija en 0,005f/ml desde 1996.

Teniendo en cuenta lo indicado, se establece como límite para las fibras de amianto en aire en el marco del control ambiental el valor de 0,005f/ml.

Cuando se superen los valores límite de control ambiental será necesario proceder a la identificación del origen de dicha superación con objeto de establecer medidas urgentes para la eliminación de las causas (p.e. paralización de actividades, cubrición provisional de las superficies expuestas o tratamiento de las mismas con agentes humectantes o aglutinantes, etc.). La superación conllevará la comunicación inmediata al órgano ambiental de las causas de la misma y de las medidas adoptadas o a adoptar para continuar con los trabajos manteniendo las concentraciones por debajo del valor de referencia establecido.



<sup>3</sup>. ASSEMBLÉE NATIONALE. CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958  
DOUZIÈME LÉGISLATURE. Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale le 22 février 2006. RAPPORT. FAIT. AU NOM DE LA MISSION D'INFORMATION (I) SUR LES RISQUES ET LES CONSÉQUENCES DE L'EXPOSITION À L'AMIANTE.



04+

# Análisis de riesgos

## INTRODUCCIÓN

El principal peligro del amianto para la salud humana se circunscribe con diversas enfermedades pulmonares producidas cuando las fibras alcanzan los alveolos. En consecuencia, **la principal vía de exposición al amianto es la inhalación de fibras.**

Su acción no se debe, en general, a su reactividad química con los tejidos biológicos, sino que se trata de una acción física sobre el tejido pulmonar, que puede originar cáncer de pulmón (posible efecto sinérgico con el tabaco), mesotelioma y asbestosis. Algunos estudios sugieren efectos químicos que median a través de los átomos de hierro que inducirían radicales libres en los tejidos (este mecanismo no sería asociable al crisotilo, que no contiene hierro).

Respecto al resto de las vías de exposición, cabe señalar que el contacto dérmico no se considera un riesgo significativo más allá de la necesidad de adoptar medidas de protección que eviten que las fibras queden adheridas a la piel y sean así transportadas. Por su parte, no existe actualmente consenso internacional de que la ingestión sea una vía de exposición de riesgo a considerar para este contaminante.

**Los efectos y la magnitud de la exposición** a las fibras de amianto sobre la salud están determinados, entre otros, por los siguientes factores:

- El tipo de amianto
- Las dimensiones de la fibra
- La durabilidad y divisibilidad de las fibras de amianto
- La concentración de exposición
- La duración de la exposición
- Las características personales

Una peculiaridad de la exposición al amianto es la relativa al período de latencia, es decir, el tiempo entre la primera exposición y la aparición de efectos que puede ser, en este caso, de hasta varios decenios.

Precisamente son las peculiaridades del amianto las que hacen que la metodología convencional de análisis cuantitativo de riesgos empleada para otros contaminantes no sea aplicable a la estimación de **los riesgos para la salud humana por inhalación de fibras de amianto**, debido a que, a pesar de que se conocen bien los mecanismos dosis-respuesta, la relación entre las concentraciones de amianto en el suelo y las concentraciones de fibras respirables en el aire es difícil de determinar, ante la multitud de variables de las que depende.

## VARIABLES QUE JUEGAN UN PAPEL EN EL RIESGO POR EXPOSICIÓN A SUELOS CONTAMINADOS CON AMIANTO

### Características de la contaminación

Concentración de amianto en el suelo  
 Tipo de amianto (anfíboles o serpentinas)  
 Tamaño de fibra  
 Friabilidad (friable o no friable)  
 Estado de conservación o degradación de los materiales con amianto  
 Profundidad a la que se encuentra  
 Volumen-área superficial que ocupa

### Características del suelo

Tipo de suelo y cohesividad del mismo  
 Humedad y acidez del suelo  
 Existencia y tipo de pavimentación u otra cubrición  
 Existencia y tipo de vegetación  
 Microrrelieve de la superficie del suelo

### Factores meteorológicos

Humedad  
 Precipitación  
 Temperatura  
 Viento (velocidad y dirección)

### Usos del suelo

Tipo de receptores  
 Tipo de actividades  
 Duración y frecuencia de las actividades  
 Medidas preventivas implantadas

Debido a esta dependencia, la evaluación del riesgo derivado de la presencia de amianto en el suelo está afectada, en general de una elevada incertidumbre, aun cuando se disponga de mediciones directas del contenido de fibras en aire; las mediciones representarán únicamente la situación existente en el momento preciso del muestreo.

Como consecuencia de todo ello, la estimación de los riesgos para la salud humana se llevará a cabo mediante un **análisis de riesgos ad-hoc**, que considere tanto la extensión y peligrosidad de la contaminación detectada, como los factores con mayor potencial de influencia en la relación entre la concentración de amianto en el suelo y la concentración de fibras respirables en el aire.

Adicionalmente el análisis deberá tener en cuenta no sólo la situación y usos actuales, sino también las posibilidades de modificación de dichas circunstancias a futuro (incremento de la degradación de los materiales, retirada de pavimentación, excavación de materiales, influencia de las condiciones meteorológicas, etc.).

## EFFECTOS DEL AMIANTO SOBRE LA SALUD

Los seres humanos pueden estar expuestos al amianto presente en el suelo, a través del aire. La OMS (Organización Mundial de la Salud), el DHHS (Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos) y la US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) han clasificado el asbesto, como **carcinógeno humano** (ATSDR, 2003).

Los principales efectos en la salud de la exposición por inhalación a las fibras de amianto son los siguientes:

- Mesotelioma (cáncer de pulmón y peritoneal).
- Asbestosis (pulmones de polvo).
- Mayor riesgo de carcinoma bronquial (cáncer de pulmón).

La exposición al amianto anfibólico (incluidas la amosite y la crocidolita) está relacionada principalmente con el desarrollo de mesotelioma, mientras que la exposición al amianto crisotilo aumenta el riesgo de cáncer de pulmón.

## MODELO CONCEPTUAL

La evaluación de riesgos en emplazamientos contaminados con amianto, aunque como se ha indicado anteriormente no se ajusta a la metodología convencional de análisis cuantitativo de riesgos, conlleva la elaboración de un modelo conceptual. El modelo, que se irá ajustando a la realidad del emplazamiento a medida que se obtengan datos más precisos a lo largo del proceso de investigación, considerará las siguientes premisas generales:

- La **descripción de la fuente del riesgo** es clave ante la diversidad en el tipo de minerales de amianto, en su forma de presentación y en su origen (demoliciones no selectivas, rellenos de residuos de construcción y demolición, residuos de fabricación de materiales con amianto, etc.). La concentración y el tipo de amianto y tamaño de fibra, la friabilidad, el estado de degradación, la extensión o la profundidad a la que se encuentra son elementos que han de estar siempre presentes en el modelo conceptual.

• Los únicos **receptores** objeto de consideración serán las personas. No existen evidencias de riesgo para plantas e invertebrados. La presencia de amianto tampoco supone un riesgo para el agua ni para la estructura de los edificios. Por tanto, el único receptor considerado será el ser humano: trabajadores, residentes, público en general y trabajadores durante la investigación y remediación del suelo. La evaluación de riesgos para estos últimos se llevará a cabo en el marco de la prevención de riesgos laborales.

- La única **vía de exposición** a considerar con carácter general será la inhalación, en exteriores o en interiores, de fibras procedentes del suelo. El contacto dérmico se considera exclusivamente a efectos de adoptar medidas de protección que eviten la adhesión y el transporte de las fibras. Los riesgos derivados de la ingestión son considerados insignificantes. Únicamente Estados Unidos ha establecido un nivel máximo de contaminante (MCL) para el amianto en agua potable de 7 M f/L (millones de fibras > 10 µm de longitud por litro).

En cuanto a **las rutas de dispersión y mecanismos de transporte** se deberá tener en cuenta que las fibras de amianto no se volatilizan ni se disuelven en agua. Sin embargo, las fibras de diámetro pequeño y las partículas pequeñas que contienen fibras pueden permanecer suspendidas en el aire largo tiempo, y así ser transportadas largas distancias por el viento antes de depositarse. En ocasiones el fenómeno de dispersión de estas fibras puede ser producido por corrientes de agua. Las fibras y partículas de mayor tamaño tienden a depositarse más rápido.

Si el suelo se ve alterado por alguna perturbación, como la erosión y dispersión atmosférica, la escorrentía u otras alteraciones del material o del suelo de carácter natural (tormentas, incendios, etc.) o antrópico (circulación de personas o vehículos, movimientos de tierra, cultivos, etc.), las fibras de amianto pueden migrar, fundamentalmente en superficie, y muy raramente en profundidad.



- En raras ocasiones puede ser necesario considerar la **migración de fibras de amianto a través de las aguas subterráneas o superficiales o la escorrentía superficial**. Solo en los casos en que las fibras pudieran depositarse y exponerse en áreas con presencia humana (por ejemplo, durante períodos secos).
- El amianto es un material inerte, muy persistente, que no se ve afectado por **procesos de degradación** salvo el deterioro o desgaste con la consiguiente liberación de fibras que, en función de las características de friabilidad del material, aumentará su peligrosidad. Como resultado de procesos físicos, las fibras de asbestos pueden quebrarse en pedazos más cortos o separarse en un número mayor de fibras individuales. Además, cabe señalar que la forma de asbestos más común, el crisotilo, puede experimentar una leve pérdida de mineral en ambientes acídicos. Por otra parte, cuanto más ácido sea un suelo, mayor probabilidad de que los compuestos ligantes del material con amianto se degraden y conduzcan a un incremento de la liberación de fibras a lo largo del tiempo.

## DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA

Ante la incertidumbre que llevaría asociada un análisis de riesgos convencional, la metodología de evaluación de los riesgos para la salud humana en emplazamientos en los que se haya detectado la presencia de amianto se basará en la medición de las concentraciones de amianto en el suelo y en el aire y en la existencia de medidas que eliminan el riesgo de exposición.

Como punto de partida se asumirá que, una vez que en un emplazamiento las concentraciones de amianto han superado los estándares de calidad, el riesgo para la salud humana será inaceptable a menos que se pueda probar lo contrario (aproximación: "riesgo, a menos que...").

A partir de este concepto, el procedimiento de análisis de riesgos en emplazamientos afectados por la presencia de amianto se desarrollará de acuerdo con las siguientes etapas:

- Análisis simplificado de riesgos.** Esta fase, la más sencilla del proceso, conlleva la comparación de las concentraciones de amianto en el suelo con los niveles de referencia. La mera superación de los estándares supondrá la asunción de que el riesgo es inaceptable. En esta situación es posible optar por avanzar a la siguiente etapa o adoptar medidas que reduzcan el riesgo a niveles de aceptabilidad.
- Análisis genérico de riesgos.** En esta etapa se evaluará el riesgo partiendo de los resultados de la investigación exploratoria y detallada y teniendo en cuenta las vías de exposición y los receptores potenciales. Como en la etapa anterior, en caso de que el resultado de esta fase fuese una situación de riesgo inadmisible, se podrá avanzar a la siguiente etapa o aplicar medidas de minimización del riesgo.
- Análisis detallado de riesgos:** En esta última fase del análisis de riesgos se incorporan a la evaluación otros parámetros que permiten afinar el cálculo de las probabilidades de que se materialice el peligro, en este caso, las fibras de amianto en el suelo que pueden ser inhaladas independientemente del uso del emplazamiento y de otras características particulares del mismo.

### Etapa 1. Análisis simplificado de riesgos

Esta primera fase de análisis de riesgos simplificada consistirá en la comparación de las concentraciones de amianto en el suelo, con los estándares de calidad establecidos para este medio, y ponderados, el primero de ellos, en función del tipo de amianto, y el segundo, en función de la friabilidad del material:

-  $V_{A1}=100 \text{ mg/kg}$  (concentración serpentinas + 10 x concentración anfíboles)

-  $V_{A2}=100 \text{ mg/kg}$  (concentración amianto no friable + 10 x concentración amianto friable)

La superación de uno de los estándares supondrá la asunción de que el riesgo es inaceptable. En esta situación se podrá optar bien por avanzar a la siguiente etapa o bien por adoptar medidas de gestión del riesgo. En el caso de que se apliquen medidas de saneamiento, los valores objetivo coincidirán con las combinaciones de concentraciones que no conlleven la superación de los valores  $V_{A1}$  y  $V_{A2}$ .

Constituyen una excepción los emplazamientos dedicados al cultivo de vegetales. Debido a la sensibilidad del uso y a la manipulación continua que se hace del suelo, la presencia de amianto o materiales con amianto en el suelo en concentraciones superiores a cualquiera de los estándares de contraste conllevará, en el caso de que se pretendiera mantener el uso, la adopción de medidas de saneamiento que permitan alcanzar concentraciones de amianto inferiores a los valores de referencia.

Por otro lado, concentraciones de amianto superiores a 1000 mg/kg (total, no ponderado), supondrán la clasificación del suelo como residuo peligroso. Con carácter general, el órgano ambiental podrá exigir la retirada de estos materiales y su correcta gestión. En estos casos, el análisis de riesgos podría avanzar hacia las siguientes etapas en función de las concentraciones remanentes de amianto.



## **Etapa 2. Análisis genérico de riesgos**

En el caso de superarse los valores de referencia, se considerará que el riesgo es aceptable cuando en el emplazamiento concurra alguna de las siguientes situaciones (en las que la exposición al amianto se considera muy improbable):

1. La contaminación por amianto se encuentra en todos los casos a más de 0,5 metros de profundidad bajo el nivel del suelo y no se prevén movimientos de tierra. En esta situación, la emisión de fibras de asbestos al aire es imposible si las actividades que se desarrollan sobre el emplazamiento son de una intensidad que no modifica esta circunstancia.
2. La contaminación se encuentra bajo una capa de pavimento duro permanente de asfalto, hormigón, baldosas, cemento o similar, de un grosor mínimo de 10 cm.
3. La contaminación está localizada debajo de edificaciones.
4. El emplazamiento se encuentra completa y permanentemente cubierto de vegetación, no da soporte a ningún uso o actividad y es inaccesible. En todo caso, este supuesto será objeto de una valoración caso por caso.

Si es posible demostrar que el emplazamiento objeto de estudio se encuentra en una de estas circunstancias, el riesgo se considerará aceptable, siempre que no cambie la situación.

En cualquiera de los supuestos anteriores, el amianto podría salir a la superficie con la consiguiente liberación de fibras de amianto si se retirara la cubrición existente o se llevaran a cabo trabajos de excavación. Por ello, si se prevé la retirada de las cubriciones o movimientos de tierra, se deberá informar previamente al órgano ambiental a la vez que se reevalúan los riesgos en el emplazamiento para la nueva situación.

En el caso de que la contaminación se encuentre en profundidad sin una cubrición permanente de pavimento duro, se considerarán las posibilidades de que fenómenos meteorológicos extremos puedan conducir a la exposición superficial del amianto.

## **Etapa 3. Análisis detallado de riesgos**

Aunque no se cumplan las condiciones descritas en el apartado anterior, será posible demostrar la inexistencia de riesgo a través de la determinación de la concentración de fibras de amianto respirables<sup>4</sup> en la zona de contacto del suelo. Este parámetro proporciona una evaluación de los riesgos específicos del emplazamiento para los seres humanos, basada en la disponibilidad de las fibras de amianto, es decir, de las emisiones de fibras del suelo al aire, independientemente del uso y de los factores ambientales.

Por un lado, se consideran fibras de amianto respirables<sup>1</sup> aquellas disponibles para su inhalación y que pueden penetrar en los pulmones; fibras con un diámetro menor de 3 µm y longitud inferior a 200 µm que no estén ligadas a

una matriz. Y por otro lado, la zona de contacto se refiere de forma general, a los dos primeros centímetros del suelo aunque existen casos, como aquellos en los que se lleven a cabo excavaciones, en los que la profundidad se determinará en función de la profundidad de excavación.

La determinación de la concentración de fibras de amianto respirables en suelo se realizará preferentemente de acuerdo con la norma NEN 5707 o cualquier otro método cuyos resultados se consideren equivalentes<sup>5</sup>. Se medirán, mediante sedimentación en agua, las fibras con un diámetro inferior a 3 µm y una longitud inferior a 200 µm que no están ligadas en una matriz a una profundidad estándar para la zona de contacto de 2 cm.

En esta etapa se considerará que no existe un riesgo de inhalación en el exterior para la salud humana en el emplazamiento evaluado, si la concentración de fibras de amianto respirables es inferior a la concentración de máximo riesgo permisible, esto es, a 10 mg/kg (peso seco) para la suma de la concentración de amianto crisotilo (también amianto serpentina o amianto blanco) y 10 veces la concentración de amianto anfíbol (otros tipos de amianto).

## CONSIDERACIONES FINALES

Como resultado del proceso de análisis de riesgos,<sup>2</sup> se elaborarán conclusiones acerca de la naturaleza y magnitud de los riesgos en el emplazamiento y de las incertidumbres asociadas, que permitan la toma de decisiones sobre la gestión del mismo.

El análisis de riesgos deberá realizarse teniendo en cuenta el hecho de que, aunque sea en bajas concentraciones, el amianto en el suelo puede representar un cierto riesgo si se cumplen determinadas condiciones. En consecuencia, debe desarrollarse de forma cuidadosa y debiendo estar correctamente explicado y soportado, reflejando aquellas condiciones bajo las cuales el riesgo resulta admisible.

En caso de detectarse la superación de los valores límite de control ambiental y previamente a la finalización del proceso de evaluación del riesgo puede ser necesario la implantación de medidas cautelares para la gestión de un posible riesgo inaceptable (p.e. limitación del acceso, cubrición provisional de las superficies expuestas o tratamiento de las mismas con agentes humectantes o aglutinantes, etc.).

4. Entre las definiciones de "fibras respirables" (RIVM) y "fibras de amianto libres" (NEN 5707) hay una diferencia en la longitud de las fibras de amianto (200 µm y 100 µm). En sentido estricto, las fibras con una longitud de entre 100 µm y 200 µm también deben clasificarse como fibras respirables. Sin embargo, la proporción de estas grandes fibras en el suelo es mínima, por lo que la determinación de la concentración de fibras respirables no se verá afectada significativamente, en la mayoría de los casos, si se miden fibras de hasta 100 µm ó 200 µm.

5. Ver nota técnica 5.



# 05



# Técnicas y métodos analíticos

## INTRODUCCIÓN

Existen diferentes metodologías analíticas para la identificación, caracterización y cuantificación de amianto en diferentes matrices (suelo, aire, agua, polvo, materiales, etc.). Estas técnicas permiten la identificación de las fibras de amianto basándose en su apariencia (forma y tamaño), propiedades ópticas, características distintivas de sus variedades (brillo, transparencia, color, etc.) o en su índice de refracción. Estas propiedades únicamente pueden ser determinadas mediante la observación directa de los materiales con técnicas de microscopía óptica o electrónica.

A continuación, y con el único objetivo de proporcionar una visión general, sin entrar en detalles de la forma en la que se identifican, caracterizan y cuantifican las fibras de amianto en diferentes medios, se describen brevemente, en primer lugar, las técnicas instrumentales, para pasar después a las metodologías analíticas que incorporan estas técnicas.

### Técnicas de microscopía óptica

Para la caracterización de fibras de amianto son dos las técnicas de microscopía óptica utilizadas habitualmente: **microscopía óptica de contraste de fase (PCM por sus siglas en inglés)** y **microscopía de luz polarizada (PLM)**.

La **microscopía óptica de contraste de fase (PCM)** permite contabilizar fibras de tamaño superior a 5 µm de largo y 0,25 µm de diámetro, pero no diferencia entre fibras de amianto y otro tipo de fibras asbestiformes (como fibra de vidrio, lana de roca, fibras cerámicas, etc.), por lo que únicamente proporciona una lectura global de los distintos tipos de fibras presentes en la muestra.

La técnica PCM se utiliza normalmente para la determinación del contenido de fibras en muestras de aire. Mediante esta técnica, se cuentan las fibras presentes en los filtros con el fin de obtener una concentración de fibras promediada en el tiempo para el volumen de aire muestreado. El recuento de fibras se realiza de acuerdo con las reglas de recuento del método analítico aplicado. Los resultados se expresan en fibras/cm<sup>3</sup>.

Debido a las limitaciones de la técnica, un análisis por PCM que indique un alto número de fibras no significa necesariamente la presencia de amianto. Del mismo modo, un recuento bajo de fibras por PCM no asegura un entorno libre de este mineral. El análisis mediante PCM simplemente proporciona un índice del total de las fibras presentes en el aire en un rango de tamaño determinado que se suele establecer en el método analítico seleccionado.

A pesar de estas limitaciones, esta técnica puede ser utilizada en combinación con otras (como las de microscopía electrónica) que determinen la naturaleza de las fibras presentes e identifiquen fibras menores de 0,25 µm de diámetro.

La técnica PCM puede ser aplicada para el análisis de la exposición ocupacional de trabajadores que desarrollen actividades que provoquen la presencia de fibras de amianto en el aire o en ambientes donde no se espere la presencia de otras fibras. Sin embargo, en escenarios donde la cantidad de otro tipo de fibras puede ser relevante, sobreestimaría la concentración de fibras de amianto en aire.

Entre las ventajas de esta técnica, merece la pena destacar el tiempo de respuesta y el coste bajos.

Por su parte, la **microscopía de luz polarizada (PLM)** se utiliza fundamentalmente para la determinación de amianto en muestras sólidas, como materiales de construcción, suelo o rocas.

Los minerales con silicatos, como el amianto, tienen una red cristalina que interactúa con los rayos de luz del microscopio. Estas interacciones determinan las propiedades ópticas y permiten identificar las fibras minerales. De este modo, mediante PLM se pueden diferenciar las fibras de amianto de otro tipo de fibras. Los índices de refracción característicos de los minerales de amianto permiten distinguir también los diferentes tipos de amianto al sumergir las fibras en líquidos con índices bien definidos.

Sin embargo, la técnica PLM no permite detectar la presencia de amianto en un material cuando el diámetro de las fibras contenidas en la muestra analizada es inferior a 0,2 µm. Además, el análisis se complica cuando la muestra contiene otros componentes además del amianto, y es tanto más difícil en la medida en la que el amianto es un componente minoritario.

La técnica PLM es una técnica económica para el cribado de un gran número de muestras. Sin embargo, al igual que PCM, presenta limitaciones debido al aumento empleado y a las interferencias que puede presentar en la matriz (por ejemplo: componentes aglutinantes de alquitrán y petróleo, partículas submicrónicas adheridas a la superficie del mineral de amianto, etc.).

La aplicación de la técnica PLM permite llegar, tras el proceso de análisis, a alguna de las siguientes conclusiones:

a) Se ha identificado alguna variedad de amianto. Informe concluyente no cuantitativo.

b) No se detectan fibras de amiantos:

- Identificación de fibras diferentes del amianto (y/o)
- Característica/s no compatibles con fibras de amianto (o)
- Se confirma que no hay fibras.

c) Sin resultados concluyentes: Necesario obtener información adicional mediante otras técnicas.

Los métodos basados en PLM suelen informar de las fibras por porcentaje de área o por porcentaje de peso. El porcentaje puede estimarse mediante una estimación visual, la comparación con gráficos que muestran varios porcentajes de área, con estándares preparados gravimétricamente o mediante un procedimiento de recuento de puntos.

El recuento de puntos es una técnica opcional que se utiliza para muestras con baja concentración de amianto. La puntuación proporciona una estimación más precisa del porcentaje de área de asbestos en una muestra en comparación con PLM. Los umbrales de notificación se basan en la cantidad de puntos contados: un recuento de 200 puntos proporciona un límite de detección del 0,5%; 400 puntos dan 0,25%; y 1000 puntos, 0,1%.

Aunque el recuento de fibras es un medio sistemático para determinar las cantidades relativas de materiales en una mezcla, no es un medio fiable para determinar la masa, ya que un punto puede representar una sola fibra fina o un acúmulo de mineral. Los resultados que proceden de estas técnicas suelen considerarse semicuantitativos.

Los protocolos de reducción gravimétrica mejoran la capacidad de esta técnica para cuantificar y calificar con precisión el amianto.

La **gravimetría** se utiliza para el análisis de amianto en materiales no friables ligados orgánicamente, por ejemplo, baldosas, tejas de asfalto, masilla, etc. Las muestras se preparan mediante un tratamiento que combina la calcinación (para eliminar los componentes volátiles u orgánicos) y la digestión ácida (para eliminar los carbonatos), generando un residuo en el que se determina el porcentaje total de amianto. Este parámetro se calcula a partir de los pesos obtenidos antes y después del tratamiento. La reducción gravimétrica se puede utilizar junto con PLM o técnicas de microscopía electrónica. Los resultados se expresan como porcentaje de amianto en peso.

En resumen, entre las ventajas de la técnica PLM se incluyen el bajo coste y la aplicación más sencilla y rápida que la microscopía electrónica, permitiendo la diferenciación entre las fibras de amianto y las fibras de otros materiales. Entre las desventajas se pueden mencionar las limitaciones en la capacidad de detección e identificación de fibras finas impuestas por la resolución del microscopio óptico, el hecho de que el método de cuantificación por estimación visual dependa en gran medida del operador y de la heterogeneidad de la muestra, que el tratamiento de la muestra con ácido clorhídrico puede conducir a una disminución del índice de refracción del crisotilo y que la distinción de algunas variedades de anfíboles puede ser difícil.

### Técnicas de microscopía electrónica

Un microscopio electrónico usa electrones en lugar de fotones o luz visible para formar imágenes de objetos diminutos. Los microscopios electrónicos permiten alcanzar amplificaciones mayores que los microscopios ópticos.

- En la **microscopía electrónica de transmisión** (TEM por sus siglas en inglés) se dirige un haz de electrones hacia el objeto cuya imagen se desea aumentar. Una parte de los electrones rebota contra la muestra formando así una imagen aumentada.
- En el **microscopio electrónico de barrido** (SEM por sus siglas en inglés) la muestra es recubierta con una capa de metal delgado y es barrida con electrones enviados desde un cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de televisión. Se genera una imagen de las características de la superficie del filtro en la que las fibras pueden ser observadas y contabilizadas.

Ambas técnicas pueden ser utilizadas para el análisis de fibras en aire o en materiales sólidos. SEM también se utiliza con frecuencia para análisis de polvo. Ambas técnicas permiten detectar, además del tipo de amianto, fibras mucho más finas que con PCM. Sin embargo, la precisión del recuento de fibras es baja debido a la pequeña superficie que puede ser escaneada utilizando un aumento tan elevado.

El examen de una muestra de fibra mediante TEM o SEM permite la detección de fibras mucho más pequeñas que la microscopía óptica, por lo que se pueden obtener datos más exhaustivos sobre la longitud y la distribución del diámetro de las fibras.

Además, la mayoría de los microscopios electrónicos modernos están equipados con instrumentos que facilitan el examen de las fibras individuales mediante difracción de electrones o análisis de rayos X de energía dispersiva. Esta capacidad permite la determinación de la composición cristalina y elemental de la fibra. Así, se pueden realizar distinciones fiables no sólo entre las fibras de amianto y las que no lo son, sino también entre las diferentes clases de minerales de amianto.

Aunque las técnicas de microscopía electrónica presentan la ventaja de un inferior límite de detección, alcanzando hasta fibras de 0,25 nm de diámetro y la capacidad de distinguir entre las variedades de amianto y otros tipos de fibras, su complejidad, su tiempo de respuesta y su coste son mayores que en el caso de las técnicas de microscopía óptica.

En consecuencia, las técnicas de microscopía electrónica suelen ser utilizadas en combinación con las de microscopía óptica cuando ambas técnicas alcanzan sus límites de detección o para complementarlas cuando están presentes fibras muy finas o se requiere una identificación específica de las fibras de asbestos.

## MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AMIANTO

Existen múltiples métodos estandarizados disponibles para el análisis de amianto en diferentes medios (aire, suelo, agua, materiales, polvo, etc.) basados en una o varias de las técnicas descritas anteriormente. El método utilizado en cada caso dependerá de la matriz a analizar, del tipo de información que es necesario obtener y de los límites de cuantificación que han de alcanzarse para permitir la posterior evaluación de los resultados.

Debido a las peculiaridades del amianto, los métodos analíticos suelen incluir también procedimientos específicos para la recogida y el pretratamiento de las muestras.

La forma en la que se **tomen las muestras** dependerá del medio objeto de la caracterización. En general, las muestras de aire se recogen en filtros de membrana, las de agua en botellas de plástico o cristal, las de polvo superficial mediante aspiración o tiras adhesivas y los materiales sólidos (materiales de construcción, suelo u otros productos) en bolsas o contenedores de plástico.



Los **pretratamientos**, necesarios en el caso de analizar matrices complejas, pueden incluir operaciones de calcinación, digestión ácida o tratamiento con disolventes que eliminan la matriz y permitan la detección de las fibras a través del procedimiento analítico seleccionado. En algunos casos, el proceso incluirá la dilución de la concentración de fibras en la muestra original.

En lo que se refiere específicamente a la **cuantificación**, los métodos analíticos para la determinación de las concentraciones de amianto establecen las características, en concreto, la dimensión de las fibras que deben contabilizarse. Los protocolos de recuento de fibras fijan así mismo las reglas por las que cada método analítico determina cómo identificar y contar las partículas fibrosas observadas. Normalmente, las fibras se definen en función de su longitud, anchura y relación de aspecto (relación longitud/diámetro).

Los protocolos pueden incluir además las propiedades analíticas que determinan la identidad del material, como los índices de refracción, la química, la estructura cristalina, etc., y también las reglas para contabilizar las partículas que se ajustan a los criterios analíticos.

Así, por ejemplo, son abundantes en los métodos analíticos las definiciones de "fibra asbestiforme" que suele hacer referencia a los valores publicados que se ajustan a una determinada definición. Cada método suele incluir adicionalmente una definición de "fibra contable" que puede o no adherirse estrictamente a las definiciones bibliográficas.

Los primeros protocolos de recuento de fibras de amianto con PCM se desarrollaron para controlar la concentración de fibras de amianto en el lugar de trabajo. Estos protocolos definían las fibras de amianto contables como aquellas con una relación de aspecto (longitud/diámetro) de 3:1 o superior y una longitud superior a 5 µm. Las fibras de menos de 5 µm no se contaban debido a la gran cantidad de pequeñas partículas presentes en las muestras de polvo y a la dificultad de contabilizar todas ellas.

A este respecto, diversos estudios demuestran que las fibras de menos de 5 µm también pueden tener alguna relevancia. Aunque los modelos de evaluación de riesgos suelen mostrar que una gran parte del riesgo se asocia a las fibras de más de 5 µm y algunos sugieren que las fibras de más de 10 µm justifican más del 99% de los efectos adversos para la salud, algunos modelos también incluyen un factor para las fibras de menos de 5 µm, lo que sugiere que estas fibras pueden tener algún papel, aunque mucho menor que el asignado a las fibras más largas.

#### **Método analítico para la determinación de la concentración de amianto en suelo**

El análisis de amianto en muestras de suelo en el marco de los trabajos de investigación y gestión de suelos contaminados se realizará preferentemente por el método descrito en la norma holandesa *NEN 5898: Determination of the content of asbestos in soil, sediment, waste materials and demolition waste* o por cualquier otro método cuyos resultados se consideren equivalentes.

El método prescrito es adecuado para determinar el contenido de amianto, independientemente de su forma (trozos de amianto-cemento, placas que contienen amianto, restos de material aislante, haces de fibras adheridas o no y fibras sueltas (finas)) y composición.

Además, es aplicable a la determinación del contenido de amianto en todo tipo de suelos, tierras, sedimentos, lodos de dragado, residuos de construcción y demolición procesados, gránulos de reciclaje y materiales comparables. Sin embargo, no se considera apropiado para la caracterización de residuos de construcción y demolición con un tamaño de partícula superior a 100 mm.

El método se basa en la técnica de microscopía estereoscópica y de luz polarizada (PLM), combinada en caso necesario (para el análisis de las fracciones más pequeñas, fibras muy finas o cuando haya problemas en la identificación con PLM) con técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD).

En el marco de la investigación de suelos con amianto se recogerán muestras de materiales con amianto (si están presentes) y de suelos sospechosos de contener amianto.

En el caso de utilizar la norma NEN 5898, las **muestras de materiales con amianto** (fracción gruesa) se analizan mediante PLM. La técnica de análisis óptico utiliza la tinción por dispersión de uno o varios haces de fibras aislados de la matriz (cola, cemento, polvo, etc.). Tras la tinción, se identifica un haz de fibras por tipo de amianto mediante microscopía de polarización. El porcentaje de amianto presente en el material que contiene amianto se estima estereomicroscópicamente. Además, se determina la masa de las muestras.

Las **muestras de suelo** (fracción fina) se analizan también cuantitativamente mediante microscopía estereoscópica y de polarización. Para ello, las muestras se secan en horno hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente son tamizadas a través de tamices con luces de malla de 20 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm y 500 µm. Las diferentes fracciones son examinadas mediante microscopía óptica para detectar la presencia de materiales que contengan amianto o haces de fibras de amianto. Si se encontraran materiales o haces de fibras sospechosos, se pesarían y analizarían mediante microscopía óptica. Posteriormente se determinaría el contenido de fibras de amianto por kg de materia seca.

## **Método analítico para la determinación de la concentración de fibras en aire. Control ambiental**

La toma de muestras y el análisis de amianto en muestras de aire en el marco del control ambiental de los trabajos de investigación y gestión de suelos contaminados se realizará preferentemente por el procedimiento descrito en el método MTA/MA-051 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: «Determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases», según el método recomendado por la Organización Mundial de la Salud en 1997 o por cualquier otro método que proporcione resultados equivalentes.

Este método permite determinar la concentración de fibras en aire expresada en número de fibras por centímetro cúbico, mediante la captación en filtro de membrana y recuento por microscopía óptica de contraste de fases (PCM).

A los efectos de este método, se considerará fibra toda partícula con longitud mayor de 5 µm, diámetro menor de 3 µm y relación longitud/diámetro superior a 3.

Este método no permite diferenciar los tipos de fibras por lo que, si se requiere esta identificación, es necesario utilizar otros procedimientos y técnicas analíticas complementarios.

Las fibras visibles más pequeñas que se pueden detectar con este método son de alrededor de 0,20 µm - 0,25 µm de diámetro. Por lo tanto, los resultados obtenidos representan un índice de la concentración numérica de fibras y no una medida absoluta del número de fibras presentes.

El límite de detección de la concentración de fibras en aire depende del límite inferior de recuento de fibras en una muestra y del volumen de aire muestreado. A fin de reducir el límite de detección se deberá incrementar el tiempo de muestreo hasta 24 horas con el caudal establecido en la norma (2 l/min), de cara a alcanzar el valor de referencia establecido (0,005 f/ml).

## **Método analítico para la determinación de la concentración de fibras de amianto respirables en la zona de contacto**

Se consideran fibras de amianto respirables a aquellas con un diámetro inferior a 3 µm y una longitud inferior a 200 µm que no están ligadas en una matriz.

En el caso de contaminación del suelo por amianto, la profundidad estándar para la zona de contacto se establece en 2 cm. No obstante, el espesor de esta zona dependerá del uso del suelo y debe ser justificado en cada caso. Así, por ejemplo, en caso de trabajos de excavación, se debe mantener como zona de contacto la profundidad que alcanzarán estos trabajos.

La fracción de fibras de amianto respirables se determina por sedimentación en agua (diámetro de corte de aproximadamente 200 µm). El análisis de esta fracción, que contiene todas las fibras de amianto respirables, se lleva a cabo mediante microscopía electrónica de barrido.



# 06



# Técnicas de saneamiento

## TÉCNICAS DE SANEAMIENTO

A pesar de que la sostenibilidad del proceso está más que en entredicho, incluso en los países y regiones más avanzados en la remediación de suelos contaminados por amianto, el método de saneamiento más común continúa siendo hoy en día la excavación y el depósito de los materiales afectados por la contaminación en instalaciones de eliminación.

No obstante, existen diferentes alternativas, cada vez aplicadas de forma más sistemática, que pueden ser adoptadas en función de los múltiples factores, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Tipo de amianto.
- Concentración de amianto.
- Superficie o volumen afectado.
- Objetivo de saneamiento.

- Presencia de otros contaminantes.
- Uso actual o futuro.
- Ubicación del emplazamiento (cercanía a potenciales receptores).
- Percepción del riesgo por el propietario/poseedor del emplazamiento.
- Limitaciones relacionadas con la protección de la salud laboral.
- Otros requerimientos (por ejemplo, geotécnicos).

La consideración de estos factores puede conducir a sopesar diferentes opciones de remediación que, en función de la perspectiva de gestión del riesgo<sup>6</sup>, se pueden clasificar de la siguiente manera:

<b>Control y seguimiento</b>	Evaluación del riesgo. Estrategia de control y seguimiento.
<b>Control institucional</b>	Gestión del uso del suelo. Señalización. Vallado. Control de permisos de acceso. Limitaciones al uso del suelo.
<b>Métodos tradicionales de remediación</b>	Excavación y vertido off site. Contención in situ (sistemas de cubrición). Recogida manual (sobre el terreno o en cinta). Arado/laboreo.
<b>Métodos innovadores de remediación</b>	Cribado mecánico (avanzado). Lavado de suelo. Vitrificación. ABCOV (destrucción ácida). Destrucción por microondas. Desorción térmica modificada a baja temperatura. Utilización de hongos del suelo. Molienda fina. Estabilización física. Fitorremediación.

Esta nota técnica, únicamente pretende proporcionar una idea general sobre el abanico de posibilidades a la vez que algunas directrices básicas sobre aquellas cuya utilización se prevé más frecuente a medio plazo.

En la tabla 3 se recogen algunas **ideas básicas sobre las técnicas más utilizadas** en la remediación de suelos contaminados por amianto que pueden servir para orientar las posibilidades de actuación en cada caso.

Además de todas las cuestiones consideradas en la tabla, se tendrá en cuenta que:

- Los materiales con concentraciones de amianto superiores a 1.000 mg/kg (total, no ponderado), serán clasificados como residuos peligrosos, circunstancia que obligará a su gestión como tales.
- En ningún caso se permitirá la reutilización de suelos excavados con amianto, cualquiera que sea su concentración.

6. Fuente: "Asbestos in soil. A pan european perspective" (NICOLE, 2021)

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Gestión in situ	<p><b>Fundamento</b></p> <p>Aislamiento de la zona contaminada con barreras y capas de protección que eviten la generación de fibras.</p> <p>Circunstancias en las que se podría aplicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación profunda (&gt; 1,5 m).</li> <li>• Distribución de la contaminación difícil de determinar.</li> <li>• Superficie contaminada extensa.</li> <li>• Contaminación por amianto friable o fibras libres en cantidades significativas.</li> <li>• Emplazamiento cubierto en gran parte por pavimento o capa de relleno limpio, en la actualidad o en el futuro.</li> <li>• No preocupa que el uso presente o futuro del emplazamiento pueda estar sujeto a restricciones derivadas de la presencia de amianto.</li> </ul> <p><b>Especificaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere que se garantice la instalación y mantenimiento en el tiempo de una capa de cubrición.</li> <li>• La capa de cubrición deberá tener al menos 50 cm de espesor. No obstante, en algunos casos podría ser necesario incrementar este espesor para evitar la alteración del estrato contaminado, por ejemplo, si se prevé la instalación de servicios enterrados o zonas ajardinadas. En estos últimos espacios se garantizará que se mantenga la cubierta vegetal.</li> <li>• Entre el estrato limpio y la superficie contaminada por amianto se instalará un geotextil de aviso (permeable al agua, de alta visibilidad, a prueba de raíces e inerte químicamente, con alta resistencia a la tracción y que cubra al menos 0,5 m más allá de los bordes del área impactada y solape, al menos, 20 cm las láminas paralelas).</li> </ul>

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Eliminación off site	<p><b>Fundamento</b></p> <p>Excavación de los suelos contaminados con amianto y transporte a vertedero autorizado para su eliminación.</p> <p>Circunstancias en las que se podría aplicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de contaminación superficial.</li> <li>• La concentración de amianto supera el umbral para su consideración como residuo peligroso (1.000 mg/kg).</li> <li>• La extensión de la contaminación está bien delimitada.</li> <li>• La contaminación cubre un área relativamente pequeña.</li> <li>• La excavación será necesaria para el desarrollo del emplazamiento.</li> <li>• La contaminación incluye cantidades significativas de material friable.</li> <li>• Es importante evitar limitaciones de uso en el emplazamiento.</li> </ul> <p><b>Especificaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la excavación de cualquier suelo contaminado con amianto, se recomienda retirar 1 m más en todas las direcciones más allá de los límites laterales del área contaminada y una profundidad adicional de 30 cm.</li> <li>• Las superficies expuestas por la excavación necesitarán ser validadas con respecto a la contaminación remanente por amianto.</li> </ul>

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Gestión on site	<p><b>Fundamento</b></p> <p>Se incluyen en este grupo técnicas que implican la manipulación o tratamiento físico o químico del suelo en el mismo emplazamiento afectado por la contaminación mediante diferentes métodos como; la recogida manual, el arado, el cribado, la solidificación, el lavado o el depósito del suelo on site.</p> <p>La aplicación de estas técnicas (salvo la recogida manual in situ o el arado que la complementa) requiere la excavación previa del terreno.</p> <p>En aquellos casos en los que, como resultado del tratamiento se obtengan residuos de materiales con amianto (MCA) retirados de los suelos, estos deberán ser adecuadamente envasados y gestionados conforme a la normativa vigente de aplicación.</p> <p>Circunstancias en las que se podría aplicar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de contaminación superficial (para algunas de las técnicas incluidas en este grupo).</li> <li>• Superficie relativamente grande afectada por contaminación.</li> <li>• Extensión de la contaminación está bien delimitada.</li> <li>• Contaminación no relacionada por la presencia de fibras libres de amianto.</li> <li>• Posibilidad de evitar limitaciones de uso en el emplazamiento.</li> <li>• Propiedades adyacentes a cierta distancia de la zona contaminada, no son residenciales y no involucran receptores sensibles, como centros educativos.</li> </ul> <p><b>Especificaciones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recogida manual <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicable exclusivamente cuando la contaminación se debe a materiales con amianto (MCA) no friables en superficie o a escasa profundidad.</li> <li>• Generalmente requiere la eliminación de la vegetación previamente a cualquier otra acción.</li> <li>• El proceso requiere un trabajo sistemático que garantice que toda la superficie y profundidad de suelo con presencia de MCA queda libre de estos materiales. Por ejemplo, los procedimientos que se siguen en Australia requieren tres pases sobre cada área mediante un rastillo capaz de alcanzar 10 cm de profundidad y con una separación entre dientes de 7 mm (el rastillo es efectivo únicamente en suelos arenosos). El trabajo de rastrillado y recogida debe hacerse siguiendo un patrón de malla, registrando tanto el peso de los MCA recogidos como su localización.</li> </ul> </li> <li>- Arado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicable para contaminación por MCA de hasta 30 cm.</li> <li>• El proceso requiere un cuidado especial para evitar dañar los MCA.</li> <li>• Puede ser utilizado junto con la recogida manual.</li> <li>• Se debe seguir una metodología de identificación, localización, pesaje y cálculo de concentración similar a la señalada para la recogida manual.</li> </ul> </li> <li>- Cribado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta es una técnica muy efectiva para MCA.</li> <li>• El cribado se puede realizar en planta, con tamices de luz variables, sobre cintas transportadoras, previa excavación del terreno sometida a estrictas medidas de control de fibra y polvo.</li> <li>• Es imprescindible realizar un monitoreo del aire y del polvo.</li> </ul> </li> <li>- Solidificación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicable a suelos contaminados por cualquier tipo de amianto.</li> <li>• Consiste en la aplicación de sustancias aglutinantes que se puede realizar o bien in situ mediante equipo rotovator o similar, o bien en planta, tras excavación del terreno.</li> </ul> </li> <li>- Lavado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta técnica no es apropiada para fibras libres y es de difícil aplicación si el suelo contiene MCA de distintas densidades.</li> <li>• Requiere la excavación de suelos y, en consecuencia, el control y seguimiento de fibras y polvo.</li> </ul> </li> </ul>

Tabla 3. Descripción general de las técnicas más habituales para el tratamiento de amianto en suelo.

## **CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL**

Antes, durante y después de los trabajos de gestión del riesgo o recuperación de suelos con amianto, se deberán llevar a cabo controles ambientales de fibras de amianto en aire en el entorno del emplazamiento, con objeto de proteger a la población circundante.

Para ello se ubicarán puntos de control en las direcciones en las que se detecten potenciales receptores sensibles (población próxima que podría verse potencialmente expuesta a la inhalación de fibras de amianto), así como en la dirección predominante del viento.

La toma de muestras y el análisis (recuento de fibras) se realizará preferentemente por el procedimiento descrito en el método MTA/MA-051 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «Determinación de fibras de amianto y otras fibras en aire. Método del filtro de membrana/microscopía óptica de contraste de fases», según el método recomendado por la Organización Mundial de la Salud en 1997, o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

Según este método, el límite de detección de la concentración de fibras en aire, que corresponde con el valor a tomar como referencia depende del límite inferior de recuento de fibras en una muestra y del volumen de aire muestreado. El límite de detección se estima en 0,01 fibras/cm<sup>3</sup>, siempre que el volumen de aire muestreado sea como mínimo de 480 litros. A fin de reducir este límite de detección se deberá, en la medida de lo posible, incrementar el tiempo de muestreo hasta 24 horas con el caudal establecido en la norma (2 l/min).

En caso de detectarse la superación de los valores límite de control ambiental, se deberán investigar las causas de dicha superación y establecer medidas urgentes para la eliminación de las causas (p.e. paralización de actividades, cubrición provisional de las superficies expuestas o tratamiento de las mismas con agentes humectantes o aglutinantes, etc.), y la comunicación inmediata al órgano ambiental de dicha superación, las causas de la misma y las medidas adoptadas o a adoptar para continuar con los trabajos manteniendo las concentraciones por debajo de los valores de referencia establecidos.

## **PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

En orden a garantizar la seguridad y salud laboral de todos los trabajadores y trabajadoras durante la realización de los trabajos recuperación de suelos contaminados con amianto, la entidad deberá cumplir y hacer cumplir las disposiciones contenidas en la *LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales* y en cualesquiera otras disposiciones legales en vigor que sean de aplicación.

Especialmente, deberá tenerse en cuenta lo dispuesto en el *REAL DECRETO 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto*.

## **VERIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DEL SUELO**

La verificación de la eficacia de las medidas de saneamiento se llevará a cabo siguiendo las directrices del Anexo VIII (Estado final del suelo) del Decreto 209/2019, de 26 de diciembre.



