

LOS NANOMATERIALES EN EL TRABAJO DE MANTENIMIENTO: RIESGOS PROFESIONALES Y SU PREVENCIÓN

El campo de la nanotecnología avanza con rapidez y el uso de nanomateriales se hace cada vez más corriente tanto en nuestras vidas diarias como en los lugares de trabajo. Esto significa que el número de trabajadores de mantenimiento que podrían estar expuestos a tales nanomateriales es mayor. A pesar de las investigaciones en curso, el ámbito de los nanomateriales evoluciona con mayor rapidez que el conocimiento sobre sus efectos en la salud y la seguridad. Hay muchos aspectos aún desconocidos, lo que plantea dudas en relación con la evaluación de los riesgos para la salud y la seguridad en el trabajo (SST).

La presente hoja informativa electrónica explica que los trabajadores podrían encontrarse con nanomateriales al desempeñar tareas de mantenimiento, y ofrece información sobre cómo proceder para evitar posibles exposiciones.

1 Introducción

1.1 ¿Qué son los nanomateriales?

Los nanomateriales son materiales que contienen partículas con una o más dimensiones entre 1 y 100 nm ⁽¹⁾, una escala comparable a los átomos y las moléculas. Pueden ser naturales, como los procedentes de las emisiones volcánicas, o ser subproductos involuntarios de las actividades humanas, como los que contienen los gases de escape de los motores diesel. No obstante, hay muchos nanomateriales que se fabrican de forma intencionada y se comercializan, y en ellos se centra la atención de esta hoja informativa.

Aunque los nanomateriales pueden formar aglomerados o agregados superiores en tamaño a 100 nm, éstos pueden descomponerse y liberar nanomateriales. En consecuencia, los aglomerados y agregados han de tenerse en cuenta también en cualquier evaluación de riesgos relacionada con nanomateriales.

Las propiedades (novedosas) específicas de los nanomateriales fabricados ofrecen muchas ventajas en numerosas aplicaciones. Pueden usarse en solitario o en combinación con otros materiales para conseguir, por ejemplo:

1. miniaturización (de equipos electrónicos, etc.);
2. reducción del peso (a causa de una mayor eficiencia de los materiales), y
3. mejores funcionalidades de los materiales (p. ej., mayor duración, conductividad, estabilidad térmica, solubilidad, menor fricción).

Los tipos de nanomateriales fabricados presentes en potencia en los lugares de trabajo dependen de los tipos de procesos que se realicen, los tipos de productos que se fabriquen y los materiales que se utilicen como insumos o como auxiliares tecnológicos.

⁽¹⁾ De conformidad con la Recomendación de la Comisión Europea [1]:

- Por «nanomaterial» se entiende «un material natural, secundario o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado y en el que el 50 % o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100 nm. La granulometría numérica se expresa por el número de objetos en un intervalo de tamaños determinado dividido por el número de objetos en total».
- «En casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones de medio ambiente, salud, seguridad o competitividad, el umbral de la granulometría numérica del 50 % puede sustituirse por un umbral comprendido entre el 1 % y el 50 %».
- «No obstante lo dispuesto en el punto anterior, los fullerenos, los copos de grafeno y los nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas inferiores a 1 nm deben considerarse nanomateriales».

1.2 Mantenimiento

El mantenimiento periódico es esencial para que los equipos, la maquinaria, los edificios y las estructuras (como puentes o túneles), así como el entorno de trabajo sigan siendo seguros y fiables. El trabajo de mantenimiento incluye una serie de actividades en un conjunto de sectores y tipos de entornos de trabajo muy diversos. Lo habitual es que comprenda: mantenimiento, reparación,



Autor: Dovile Cizaite

inspección, realización de pruebas y ajuste o sustitución de componentes, y puede implicar, por ejemplo, la apertura de sistemas de producción cerrados, el intercambio de filtros, la eliminación de capas de pintura, el granallado, el esmerilado, el lijado, la aplicación de relleno, la aplicación de pintura, el aislamiento, y la reparación de una red eléctrica, un sistema de suministro de gas o de agua. Dado que el mantenimiento se realiza, hasta cierto punto, en todos los sectores y lugares de trabajo, los trabajadores que se ocupan de ello tienen más probabilidad que otros trabajadores de estar expuestos a una amplia gama de peligros profesionales.

El mantenimiento puede ser proactivo –evitar fallos en la maquinaria o condiciones inseguras en el lugar de trabajo– o reactivo –reparar módulos de equipos o de edificios. Las actividades de mantenimiento pueden, por tanto, formar parte de las actividades diarias de un trabajador, por ejemplo, limpieza y comprobación de una pistola rociadora al final de una jornada de trabajo, o actividades especiales realizadas cuando los equipos o la maquinaria no funcionan correctamente. El trabajo de mantenimiento puede ser la actividad principal de los trabajadores de la construcción.

El sitio web de la EU-OSHA ofrece información útil sobre el mantenimiento y la SST: <https://osha.europa.eu/es/topics/maintenance>.

1.3 Los nanomateriales en los trabajos de mantenimiento

Aunque la nanotecnología es una rama de la industria relativamente nueva, los nanomateriales ya se emplean en numerosas aplicaciones para fines específicos. Esto significa que la posible exposición a tales materiales durante las actividades de mantenimiento debe tenerse en cuenta en cada vez más sectores y lugares de trabajo.

En realidad, a medida que aumenta el número de productos fabricados que contienen nanomateriales, los trabajadores tienen más probabilidades de que se les exija la realización de operaciones de mantenimiento de tales productos y, posiblemente, de estar expuestos a ellos. Como ejemplos de productos que contienen nanomateriales se pueden citar los automóviles, los neumáticos de baja resistencia a la rodadura, los equipos eléctricos y electrónicos (como sensores y electrónica de alta eficiencia), los equipos de generación de energía (como los sistemas de baterías recargables de alta potencia o los paneles solares inteligentes de película fina. Los propios edificios pueden contener nanomateriales.

Además, en el mercado hay cada vez más productos de mantenimiento –como los lubricantes, los revestimientos y los adhesivos– que contienen nanomateriales fabricados. Si no se adoptan las medidas de prevención adecuadas, también podrían entrañar riesgos para los trabajadores expuestos a ellos.

Por otra parte, desde el punto de vista de la SST, ciertas aplicaciones de nanomateriales fabricados pueden ofrecer enormes ventajas a los trabajadores de mantenimiento, por ejemplo, las pinturas inteligentes utilizadas para la detección de grietas o de corrosión en las superficies pintadas. Este tipo de pintura contiene nanotubos de carbono conductores de la electricidad. Los defectos mencionados afectan a la conductividad y, por tanto, estas pinturas pueden utilizarse para la detección a distancia

de problemas estructurales microscópicos, por ejemplo, en puentes o en turbinas eólicas, lo que permite evitar la necesidad de trabajar en altura para comprobar estas estructuras.

2 Riesgos de los nanomateriales para la SST de los trabajadores que realizan operaciones de mantenimiento

Aunque los nanomateriales ofrecen numerosas ventajas, algunos pueden ser peligrosos para la salud y la seguridad humanas [2-4] y entrañar riesgos para los trabajadores de mantenimiento.

2.1 Peligros y vías de exposición

Los peligros para la seguridad pueden derivarse de la elevada explosividad, inflamabilidad y potencial catalítico de algunos nanopulvos (nanomateriales en forma de polvo), en particular, los nanopulvos metálicos.

Los nanomateriales pueden tener una amplia gama de posibles efectos tóxicos, aunque el mismo material a escala macro no los tenga. Esto se debe a su pequeño tamaño, aunque también depende de la forma de la partícula, su naturaleza química, el estado de la superficie (p. ej., área de superficie, funcionalización de la superficie, tratamiento de la superficie), el estado de agregación/aglomeración, etc. [3, 4].

En condiciones ambientales normales, los nanomateriales pueden formar aglomerados o agregados de tamaño superior a 100 nm, lo que produciría un cambio (aunque no necesariamente una pérdida) de sus propiedades específicas de nanomateria. No obstante, cuando la unión entre las partículas de los aglomerados es débil o, en ciertas condiciones, incluso con agregados más compactos, se pueden liberar nanomateriales. Se está investigando si esto podría suceder en el líquido pulmonar tras la inhalación de tales aglomerados o agregados [3, 4]. En consecuencia, los aglomerados y agregados que contienen nanomateriales deben tenerse también en cuenta en la evaluación de riesgos de los lugares de trabajo.

Una vez que los nanomateriales se han introducido en el cuerpo, los mecanismos de exposición interna podrían dificultar su ulterior absorción, distribución y metabolismo. Por ejemplo, se han encontrado nanomateriales en pulmones, hígado, riñones, corazón, aparato reproductor, fetos, cerebro, bazo, esqueleto y tejidos blandos [5]. Hay interrogantes en relación con la bioacumulación de nanomateriales y los mecanismos para eliminarlos de las células y los órganos. Otro problema es que, aunque un nanomaterial no sea tóxico en sí mismo, puede servir como caballo de Troya si un material más tóxico se uniera a él y accediera así a los órganos o las células corporales [6].

Los efectos más importantes de los nanomateriales se producen en los pulmones e incluyen inflamación, daños a los tejidos, estrés oxidativo, toxicidad crónica, citotoxicidad, fibrosis y generación de tumores. En algunos casos pueden afectar incluso al sistema cardiovascular. Hay investigaciones en curso sobre las propiedades potencialmente peligrosas de los nanomateriales fabricados [3, 4].

En el cuadro 1 se ofrecen ejemplos de nanomateriales a los que pueden estar expuestos los trabajadores de mantenimiento y los peligros que entrañan para la salud. Estos nanomateriales revisten especial importancia en las actividades de mantenimiento, dado que se usan en pinturas, desinfectantes, agentes de limpieza y otros productos

Cuadro 1: Ejemplos de nanomateriales a los que pueden estar expuestos los trabajadores de mantenimiento y posibles peligros para su salud

Tipo de nanomaterial:	Riesgos para la salud
Nanopartículas de plata	El uso de nanopartículas de plata representa un riesgo potencial para la salud humana [8], por lo que se solicitó una opinión científica al Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados de la UE acerca de los efectos de las

Tipo de nanomaterial:	Riesgos para la salud
	<p>nanopartículas de plata sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente, así como el papel que desempeñan en la resistencia a los antibióticos [9].</p> <p>Existen motivos de inquietud por que las nanopartículas de plata puedan tener efectos perjudiciales para la salud, como alergias [10], edema pulmonar [11] y argiria o argirosis (es decir, decoloración gris o azul grisáceo, o pigmentación negra, de la piel, las uñas, los ojos, las membranas mucosas o los órganos internos producida por depósitos de plata), que no se pueden revertir y son incurables [12]. Se ha documentado también en ratones que las nanopartículas de plata pueden llegar hasta el cerebro a través de las vías respiratorias altas [13].</p>
<p>Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂)</p>	<p>El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado las partículas de dióxido de titanio inhaladas como posible carcinógeno humano (del grupo 2B) [14]. El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH) de los Estados Unidos recomendó límites de exposición más bajos en relación con las partículas ultrafinas de TiO₂: 0,3 mg/m³ para nanopartículas de TiO₂ (< 100 nm), frente a 2,4 mg/m³ para partículas finas (> 100 nm) [15].</p>
<p>Nanopartículas de sílice</p>	<p>Los estudios disponibles acerca de la toxicidad de las nanopartículas de sílice están basados en los efectos sobre la salud que tiene este compuesto tras la exposición (aguda o subaguda) al mismo a través de las vías respiratorias. La inflamación pulmonar, la formación de granulomas y el enfisema focal son algunos de los efectos sobre la salud notificados [16].</p>

Hay tres principales vías de exposición posible a los nanomateriales en el lugar de trabajo [2, 3, 6, 17–19]:

- **Inhalación:** es la vía más común de exposición a las nanopartículas que se propagan por el aire en el lugar de trabajo. Las nanopartículas inhaladas pueden depositarse en las vías respiratorias y en los pulmones, según sea su forma y su tamaño. Después de la inhalación, pueden atravesar el epitelio pulmonar, introducirse en el flujo sanguíneo y llegar a otros órganos y tejidos. Se han encontrado también algunos nanomateriales inhalados que habían llegado al cerebro a través del nervio olfativo.
- **Ingestión:** puede producirse por contacto involuntario mano-boca después de tocar superficies contaminadas o por ingestión de alimentos o agua contaminados. La ingestión puede ocurrir como consecuencia de la inhalación de nanomateriales, dado que las partículas inhaladas que se eliminan de las vías respiratorias a través de la escalera mucociliar pueden tragarse. Algunos nanomateriales ingeridos pueden atravesar el epitelio intestinal, introducirse en el flujo sanguíneo y alcanzar otros órganos y tejidos.
- La penetración **dérmica** es aún objeto de investigación [2, 18]. La piel intacta parece ser una buena barrera frente a la absorción de nanomateriales [20]. Si la piel tiene heridas, al parecer resulta menos eficaz, pero el nivel de absorción es probable que sea menor que el producido por inhalación [20]. No obstante, teniendo en cuenta lo anterior, el contacto con la piel debe evitarse y controlarse igualmente.

En consecuencia, el potencial de exposición depende principalmente de la posibilidad de que los materiales se propaguen por el aire y, por tanto, en forma de polvo o aerosol presentan un riesgo potencial mayor que las suspensiones en líquidos, pastas, materiales granulares o compuestos. Por su parte, los nanomateriales en líquidos entrañan un potencial de riesgo mayor que las nanoestructuras fijas o con componentes fuertemente ligados, como es el caso de una matriz polimérica [21].

2.2 Actividades de mantenimiento con riesgo de exposición a nanomateriales

Los trabajadores encargados del mantenimiento pueden estar expuestos a nanomateriales fabricados en las situaciones siguientes:

- al usar productos de mantenimiento que contienen nanomateriales;
- al realizar las operaciones de mantenimiento de instalaciones en las que hay nanomateriales presentes (p. ej., una línea de producción en la que se usan o se procesan nanomateriales o productos que contienen nanomateriales), y cuando estos nanomateriales se han depositado (p. ej., en la superficies de tales instalaciones), y
- cuando el propio proceso de mantenimiento genera nanomateriales, por ejemplo, en el esmerilado y el pulido.

El cuadro 2 ofrece ejemplos de productos que pueden utilizar, manipular o transformar los trabajadores de mantenimiento y que contienen nanomateriales a los que pueden exponerse mientras realizan su trabajo.

Cuadro 2: Ejemplos de productos utilizados en las actividades de mantenimiento que contienen nanomateriales

Tipos principales de nanomateriales	Ejemplos de productos utilizados en las actividades de mantenimiento
Dióxido de titanio (TiO ₂)	Pinturas, revestimientos antibacterianos, productos de limpieza, hormigones, baldosas, recubrimientos de paredes, revestimientos antisuciedad para ventanas, revestimientos de automóviles (en todos estos productos se resaltan las propiedades de esterilización, deodorización, antiempañamiento y autolimpieza del TiO ₂ a escala nanométrica); y en el caso del cristal, se subraya su capacidad para cambiar de color al exponerse a la luz [6, 22–24]
Sílice (SiO ₂)	Pinturas, hormigón y productos de limpieza [6, 23]
Nanopartículas de plata	Se usan como biocidas en tintes/pinturas y barnices, polímeros, fregaderos y artículos cerámicos sanitarios, así como diversas aplicaciones «para el consumidor», como los productos desinfectantes y de limpieza.
Nanotubos de carbono	Pinturas [23], construcciones de peso ligero
Negro de carbono	Pigmentos
Carburos (p. ej., CW, CTi, CSi), nitruros (p. ej., NTi, NCr), metales (p. ej., W, Ti, Mo) o productos cerámicos (p. ej., Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃)	Revestimientos tribológicos aplicados a la superficie de un componente para controlar la fricción y el desgaste [25].
Óxidos de hierro	Aditivos en productos adhesivos; fórmulas para permitir la unión y la separación a voluntad [25]
Dióxido de zirconio	Aditivos para hormigón, aditivos para plásticos
Óxidos de cobre	Conservantes para la madera
Nanopartículas de oro	Automóviles y lubricantes [26]

Algunas de las actividades de mantenimiento que podrían entrañar peligro de exposición a nanomateriales para los trabajadores incluyen las siguientes:

- **Uso de productos líquidos que contengan nanomateriales:**
 - manipulación de productos líquidos (p. ej., lubricantes, pinturas, revestimientos, adhesivos) o productos de limpieza de derrames, que pueden producir exposición dérmica de zonas de la piel sin protección;
 - en ciertas circunstancias, las actividades de mantenimiento implican la preparación de productos líquidos y esto puede incluir operaciones de vertido o mezcla que exigen sacudidas violentas del producto, lo que genera aerosoles que pueden ser inhalados (y, por tanto, ingeridos en parte) o depositados en la piel sin la adecuada protección, lo que entraña peligro de exposición dérmica;
 - pulverización, por ejemplo de un nanorrevestimiento o una nanopintura, que puede entrañar peligro de exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel, y
 - pulverización de nanomateriales combustibles líquidos también aumenta el riesgo de explosión o incendio.
- **Uso de polvos de nanomateriales:**
 - la manipulación (p. ej., pesado, vertido o mezcla) de polvos que contienen nanomateriales para la preparación de productos necesarios en las actividades de mantenimiento puede hacer que los materiales se propaguen por el aire y entrañar riesgos de exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel.
- **Uso de nanoestructuras fijas o con componentes fuertemente ligados (matriz polimérica):**
 - Con las operaciones de mecanizado, lijado, perforado o cualquier otra actividad que pueda dañar la estructura de la matriz, se pueden liberar nanopartículas al aire, lo que podría causar penetración dérmica, inhalación o ingestión de nanopartículas. Los nanomateriales contenidos en la matriz que se está rebajando no necesariamente se liberan en forma de partículas primarias, ya que pueden ligarse a otras partículas del aerosol que se genera en el proceso; no obstante, es posible que estos nanomateriales ligados se separen de las partículas del aerosol una vez inhaladas y se liberen en el cuerpo humano.
- **Mantenimiento de equipos utilizados para producir o procesar nanomateriales o productos que contienen nanopartículas:**
 - se pueden liberar nanomateriales, en algunos casos de forma involuntaria, con posibles riesgos de exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel.
- **Limpeza de sistemas de recogida de polvo utilizados para captar nanomateriales:**
 - puede exponer a los trabajadores a altas concentraciones de nanomateriales depositados o en suspensión, lo que puede entrañar riesgos de exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel.
- **Limpeza de vertidos que contienen nanomateriales:**
 - puede causar exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel.
- **Transporte y eliminación de materiales de desecho que contienen nanomateriales:**
 - puede causar exposición por inhalación, por ingestión y por contacto con la piel.

Además, la propagación de nanopolvos por el aire aumenta el riesgo de explosión o incendio.

El nivel de exposición irá en aumento si las actividades se realizan en espacios cerrados, como depósitos, sin las medidas adecuadas de control.

3 Prevención

De conformidad con la Directiva 89/391/CEE [5], los empresarios deben realizar evaluaciones periódicas del lugar de trabajo y adoptar las medidas de prevención adecuadas. Esta regla se aplica también a los posibles riesgos de presencia de nanomateriales en el lugar del trabajo. Además, la Directiva 98/24/CE relativa a los agentes químicos en el lugar de trabajo [27] impone disposiciones más estrictas en relación con la gestión de riesgos derivados de las sustancias presentes en el lugar de trabajo, que también se aplican a los nanomateriales, dado que están incluidos en la definición de «sustancias». Por otra parte, si un nanomaterial (o el material de la misma composición a escala macro) es carcinógeno o mutagénico, debe cumplirse la Directiva 2004/37/CE relativa a la presencia de estos agentes en el lugar de trabajo [28]. En cualquier caso, debe consultarse la legislación nacional, que puede tener disposiciones más estrictas.

Dado que los nanomateriales se consideran sustancias, también son pertinentes en este sentido el Reglamento relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) [29] y el Reglamento sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas a (CLP) [30].

3.1 Dificultades en la prevención de los riesgos que entrañan los nanomateriales en las actividades de mantenimiento

La realización de evaluaciones de riesgos en el lugar de trabajo relativas a los nanomateriales puede, en general, presentar dificultades por las limitaciones actuales en relación con:

1. la limitación de los conocimientos sobre las propiedades peligrosas de los nanomateriales;
2. la limitación de los métodos y dispositivos disponibles para identificar los nanomateriales y las fuentes de emisión, así como para medir los niveles de exposición, y
3. la falta de información sobre la presencia de nanomateriales, en particular en mezclas o artículos, así como en eslabones posteriores de la cadena más próximos al usuario en los que se usan o se procesan nanomateriales o productos que los contienen.

Las fichas de datos de seguridad (FDS), que son una herramienta importante de información para la prevención de los riesgos que presentan las sustancias peligrosas en los lugares de trabajo, contienen en general poca o ninguna información sobre la presencia de nanomateriales y sus características, los riesgos para los trabajadores y su prevención [31–34]. Es un aspecto particularmente problemático en eslabones posteriores de la cadena de suministro o contractual. Por ejemplo, en torno a un 75 % de los trabajadores y empresarios de la construcción no son conscientes de la presencia de nanoproducidos en sus lugares de trabajo [35]. En consecuencia, las organizaciones recomiendan que se solicite más información directamente a los proveedores. Hay también una serie de bases de datos útiles que identifican los productos comerciales que contienen nanomateriales [36–38]. Además, las modificaciones realizadas en el anexo II de REACH [39], el marco jurídico para las FDS, así como las orientaciones de la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (ECHA) en relación con las FDS [40], que ofrecen más información sobre cómo abordar las características de los nanomateriales, se espera que mejoren la calidad de la información incluida en las FDS.

La hoja informativa electrónica n.º 72 (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) presenta orientaciones y herramientas disponibles que pueden ayudar a gestionar los riesgos de los nanomateriales en el contexto actual. No obstante, podrían presentarse otras dificultades específicas en relación con la gestión de los riesgos de los nanomateriales y la protección de los trabajadores en relación con las actividades de mantenimiento.

La subcontratación de los trabajos de mantenimiento es muy habitual. Los contratistas suelen realizar su trabajo en instalaciones que no conocen bien y, si no han sido correctamente informados, pueden exponerse a nanomateriales sin ser conscientes de ello. La falta de información sobre los nanomateriales que pueden estar presentes en la maquinaria (p. ej., en las líneas de producción en las que se usan o se procesan nanomateriales o productos que los contienen), los equipos (p. ej., sistemas de extracción de gases de escape) o los edificios (p. ej., superficies pintadas con pinturas que contienen nanomateriales) que se someten a mantenimiento puede dificultar la correcta evaluación y prevención de riesgos. Tales situaciones se derivan principalmente de una deficiente planificación de actividades, una escasa organización del trabajo y una pobre comunicación en ambos sentidos de la cadena contractual.

Otra dificultad es la asociada al hecho de que las situaciones de mantenimiento suelen implicar unas condiciones operativas y utilización de equipos anómalas. Las medidas de control de riesgos se desactivan en algunos casos mientras se realizan las operaciones de mantenimiento, por ejemplo, al abrir sistemas cerrados para que puedan entrar los trabajadores y comprobar el funcionamiento de una máquina que produce o procesa nanomateriales, o cuando se realiza el mantenimiento del propio dispositivo de control de riesgos técnicos. Las directrices disponibles para la prevención de los riesgos de SST que entrañan los nanomateriales suelen abordar las condiciones operativas normales, pero la exposición de los trabajadores en estas condiciones operativas «anómalas» durante las operaciones de mantenimiento podría ser notablemente distinta. Si no se adoptan las medidas de control adecuadas durante las operaciones de mantenimiento, los trabajadores encargados de éste correrían riesgos, pero es posible que también afectara a los trabajadores de la empresa cliente.

Los posibles riesgos profesionales asociados con los nanomateriales deben ser correctamente identificados, evaluados y comunicados antes de programar y llevar a cabo operaciones de mantenimiento (subcontratadas) [41]. Es importante que se informe debidamente a los trabajadores de mantenimiento sobre la presencia, las características, los posibles riesgos y las medidas de prevención adecuadas en relación con los nanomateriales que se utilicen, manipulen o procesen en los lugares de trabajo en los que tienen que realizar las operaciones de mantenimiento, así como en relación con cualquier otro peligro del lugar de trabajo. Asimismo es esencial facilitar una formación apropiada e instrucciones de trabajo a los trabajadores.

3.2 Medidas preventivas

La elección de las medidas de prevención debe basarse en la evaluación de riesgos del lugar de trabajo en cuestión y deben ser acordes con la jerarquía de control, otorgando prioridad a la eliminación y sustitución, seguidas de medidas técnicas en origen, medidas organizativas y, como último recurso, uso de equipos de protección personal. En caso de duda sobre los riesgos de los nanomateriales, debe aplicarse el principio de cautela en la elección de las medidas de prevención para evitar exposiciones.

3.2.1 Eliminación y sustitución

Deben examinarse las posibilidades de eliminación o sustitución de nanomateriales peligrosos con la empresa para la que se vayan a realizar las operaciones de mantenimiento. Si se realiza el mantenimiento en lugares de trabajo en los que se generan o usan nanomateriales por los beneficios que representan las propiedades específicas de estos materiales, o si el mantenimiento se realiza en edificios existentes que ya contienen nanomateriales, la eliminación y sustitución tal vez sean inevitables. No obstante, siempre deben tenerse presentes el equilibrio entre las propiedades y los efectos que se desean, por una parte, y los riesgos para la salud, por otra, y la eliminación y la sustitución deben considerarse detenidamente. En casos en los que los nanomateriales peligrosos estén en los productos que se utilizan, por ejemplo, para limpieza o reparación, debe evaluarse la disponibilidad de alternativas menos peligrosas.

En todo caso, cualquier forma de nanomaterial que pueda propagarse por el aire (como los polvos) debe sustituirse por materiales en estado líquido o solubilizado, granulados, pastas o nanomateriales ligados formando un sólido, y debe evitarse el uso de polvos en la medida de lo posible.

Asimismo, debe reducirse el comportamiento peligroso de los nanomateriales mediante su modificación, por ejemplo, revistiéndolos para ajustar el grado de polvo, su solubilidad y otras propiedades.

Pueden emplearse herramientas específicas basadas en la web, como Stoffenmanager [42] o GISBAU [43], para buscar posibilidades de sustitución.

3.2.2 Controles técnicos

Deben aplicarse medidas técnicas de prevención en la fuente de emisión de nanomateriales. El control técnico más eficiente en origen es la contención por medio de la utilización de sistemas cerrados e instalaciones completamente cerradas. Los sistemas locales de ventilación por aspiración eficaces, con un filtro de partículas de aire de alta eficiencia (HEPA) o un filtro con penetración ultrabaja de aire (ULPA) son también útiles para capturar nanomateriales en origen en casos en que no es viable la contención.

No obstante, en algunos casos las operaciones de mantenimiento pueden consistir en inspeccionar y reparar los propios controles técnicos, con lo que la función preventiva de estos controles técnicos debe desactivarse. Por ejemplo, cuando un contenedor de producción de nanomaterial (suelen ser sistemas cerrados) se abre para realizar tareas de mantenimiento y, por tanto, el sistema extractor se detiene, el trabajador puede recurrir a equipos de protección personal (véase el apartado 4.4).

Los sistemas locales de extracción de aire (portátiles) pueden resultar de especial utilidad para proteger a los trabajadores de la exposición durante las operaciones de mantenimiento, por ejemplo, al retirar pintura de superficies, en las que se forman partículas. La eficiencia de captura de partículas de los sistemas locales de ventilación por aspiración en el caso de nanomateriales no es menor que en el caso de materiales gruesos. Cuando se usen dispositivos de extracción de aire portátiles, las zonas de respiración para los trabajadores no deben encontrarse en el flujo de aire entre la posible fuente de emisión de nanomateriales y el sistema de extracción.

Los sistemas de ventilación que se emplean para controlar la exposición a los nanomateriales deben tener filtros en distintas fases, con filtros HEPA (H14) o ULPA colocados al final. Investigaciones realizadas sobre la eficacia de materiales de filtrado para nanopartículas y aerosoles mostraron que, en muchos casos, los filtros tradicionales de fibra de vidrio y los filtros de electretes son eficaces para las nanopartículas y los aerosoles en general.

En espacios cerrados, el aire extraído debe sustituirse por aire fresco.

3.2.3 Medidas organizativas

Las medidas de organización desempeñan una función importante en la prevención. Habida cuenta de la amplia variedad de lugares y operaciones de mantenimiento, resulta crucial realizar una correcta planificación de procesos y otras medidas organizativas. Entre ellas figuran las siguientes:

- Designación de áreas específicas para la realización de trabajos de mantenimiento a través de los cuales podrían liberarse nanomateriales (ya sea procedentes de los productos de mantenimiento o de los objetos sometidos a mantenimiento). Estas áreas deben aislarse o separarse, por ejemplo, mediante muros que las separen de otros lugares de trabajo, y deben estar claramente señalizadas.
- Reducción al mínimo del número de trabajadores potencialmente en situación de riesgo, así como la duración de la exposición a nanomateriales.
- Prohibición del acceso a personas no autorizadas a la zona en la que se realizan las operaciones de mantenimiento, por ejemplo, colocando señales que acordonen la zona.
- Limpieza periódica (en húmedo) de la zona de trabajo en la que se utilizan o manipulan nanomateriales.
- Vigilancia de los niveles de concentración en el aire, por ejemplo, en comparación con los niveles de referencia cuando no se manipulen nanomateriales.

Dado que en la actualidad no existe un enfoque normalizado para el empleo de señales de seguridad o para el etiquetado de contenedores o de lugares de trabajo en los que hay nanomateriales, se recomienda adoptar un planteamiento diligente mediante la utilización de expresiones de riesgo y seguridad ya recogidas en el Reglamento de la UE sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP) [30] y señales de advertencia, de modo que se facilite información adecuada, oportuna y específica sobre cualquier riesgo real o potencial para la salud y la seguridad que entrañe la utilización o manipulación de nanomateriales.

Los procesos de mantenimiento deben seguir una serie de principios generales que se aplican con independencia de si hay o no nanomateriales:

- La planificación del trabajo de mantenimiento debe basarse en la evaluación de riesgos e incluir la participación del trabajador. Si el mantenimiento se realiza en lugares de trabajo en los que se manipulan nanomateriales cuya toxicidad y comportamiento se desconocen, éstos deben tenerse en cuenta. Las prioridades en la gestión de riesgos deben otorgarse no sólo a los riesgos conocidos, sino también a la evaluación y gestión de nanomateriales en los lugares de trabajo en los que no se dispone de información sobre riesgos y exposición, o ésta es incompleta o incierta.
- Deben evitarse las presiones en cuanto al tiempo y planificar un plazo suficiente para realizar las operaciones de mantenimiento.
- Debe facilitarse la formación suficiente para garantizar que los trabajadores encargados del mantenimiento tienen las capacidades y conocimientos necesarios para realizar el trabajo de forma segura y para protegerse de exposiciones a cualquier liberación de nanomateriales.
- Las instrucciones y la información sobre el mantenimiento deben facilitarse siempre a todos los trabajadores de mantenimiento, en particular si éstos han sido contratados sólo para la tarea en cuestión y/o no están familiarizados con los riesgos químicos en general y con los riesgos de los nanomateriales en particular. La información debe también estar documentada en las instrucciones del lugar de trabajo.
- Adopción de un enfoque cauteloso en relación con la prevención de los riesgos que presentan los nanomateriales; deben implantarse todas las medidas disponibles, de conformidad con la jerarquía de medidas de prevención, para reducir la liberación de nanomateriales.

- Una vez terminadas las operaciones de mantenimiento, el lugar de trabajo debe limpiarse, y el proceso de mantenimiento en su totalidad debe documentarse.

Los trabajadores que se exponen a nanomateriales peligrosos durante las operaciones de mantenimiento deberían incluirse en los programas de vigilancia, con documentación detallada sobre las situaciones de exposición.

3.2.4 Equipos de protección personal

Los equipos de protección personal (EPP) deben utilizarse como último recurso cuando la exposición no puede reducirse de modo suficiente con las medidas mencionadas anteriormente. Si en la evaluación de riesgos se decide que es necesario un EPP, debe diseñarse un programa al respecto. Un programa sobre EPP satisfactorio constará de los elementos siguientes: selección de EPP apropiados, colocación, formación y mantenimiento de EPP.

Las recomendaciones en relación con los equipos de protección frente a los nanomateriales son en la actualidad las mismas que las referentes a la prevención de exposiciones a polvos, aerosoles o, según el tipo de exposición de que se trate, exposición dérmica [44]. Estas medidas de protección se consideran eficaces igualmente para los nanomateriales.

Es necesario evaluar el ritmo de trabajo y la aptitud médica del usuario del EPP para garantizar que éste ofrece el nivel de protección correcto y puede ser utilizado de forma adecuada. Las pruebas realizadas con el EPP deben garantizar que sus usuarios pueden realizar su trabajo de manera segura cuando lo están usando y que les permite utilizar simultáneamente otros equipos (p. ej., gafas) o herramientas que necesiten. Debe tenerse en cuenta que el nivel de protección del EPP puede debilitarse mientras se usa simultáneamente con otros EPP. Asimismo, otros riesgos, aparte del que entrañan los nanomateriales, pueden interferir y reducir la eficacia de los EPP. Por tanto, todos los peligros del lugar de trabajo deben tenerse presentes al escoger un EPP. Todos los EPP deben tener marcas «CE» y han de utilizarse de conformidad con las instrucciones del fabricante, sin ninguna modificación.

Es posible que los trabajadores de mantenimiento tengan que llevar un EPP que tal vez no sea necesario durante las operaciones normales en el lugar de trabajo en el que se está realizando el mantenimiento. Si por ejemplo, se abre un contenedor de producción en el que hay mezclas de pinturas que contienen nanomateriales, el trabajador debe llevar un respirador con una toma de aire del exterior para evitar la inhalación de tales materiales. Durante las operaciones normales, el contenedor permanece cerrado y no es necesario llevar ningún protector respiratorio.

▪ Sistema de protección respiratoria

Si no se puede evitar la exposición a los nanomateriales en suspensión en el aire con las medidas mencionadas en las secciones 4.1 a 4.3, se recomienda la utilización de una protección respiratoria adecuada, por ejemplo, máscaras (cubren toda la cara) o mascarillas (la mitad de la cara) con filtros P3/FFP3 o P2/FFP2, dispositivos de filtrado de partículas con ventilador y casco (THP3 o MHP2), o bien dispositivos de filtración de partículas con ventilador y máscara completa o de media cara (TMP2 y TMP3)⁽²⁾ [45].

Los filtros HEPA, los cartuchos respiratorios y las máscaras con materiales de filtrado fibrosos se consideran eficaces para los nanomateriales.

La elección del dispositivo de protección respiratoria (DPR) dependerá de lo siguiente:

- tipo, tamaño y concentración de nanomateriales en suspensión;
- factor protector asignado al DPR (que comprende la eficacia de filtrado y el grado de ajuste a la cara), y
- condiciones de trabajo.

La eficacia de filtración de los respiradores y los filtros es un factor importante al evaluar un EPP. Otros factores, como el grado de ajuste a la cara, el tiempo que se lleva puesto y si el EPP se somete al debido mantenimiento, pueden influir también en la reducción de la exposición. En relación con las

² De acuerdo con algunos estudios, la penetración de partículas en los filtros P2 es de 0,2 %, y en los filtros P3, de 0,011 %, en relación con nanopartículas de cloruro de potasio. Las pruebas realizadas con diversos tamaños de partículas de grafito mostraron una penetración máxima del 8 %. Esto indica que los filtros P3 ofrecen una mayor protección, pero los resultados no pueden generalizarse a todas las nanopartículas (véase [45]).

mascarillas de filtrado, un factor dominante de riesgo es la falta de ajuste entre la cara y el dispositivo [44]. La reducción de la exposición debe considerarse siempre como una combinación de la eficacia de filtrado y las características de uso del respirador, que se expresa mediante los denominados factores del respirador en algunos países de la UE.

Cuando los respiradores no cubren los ojos, deben utilizarse también protectores para éstos (gafas de seguridad con protección ocular hermética).

▪ **Ropa protectora**

Es preferible utilizar textiles no tejidos (materiales herméticos), como el polietileno de alta densidad (baja retención de polvo y baja liberación de polvo), en lugar de los tejidos. Se recomienda no usar prendas protectoras con tejido de algodón [44].

Si se emplea ropa protectora reutilizable, como monos de trabajo, debe lavarse regularmente y evitar exposiciones secundarias. Deben adoptarse las medidas oportunas para permitir que ni los trabajadores ni el lugar de trabajo en general se contaminen cuando éstos se pongan o se quiten las prendas protectoras.

▪ **Guantes**

Los guantes son especialmente importantes durante las operaciones de mantenimiento, dado que los trabajadores suelen estar en contacto directo con los nanomateriales, ya procedan de los productos que utilizan o de los objetos y materiales sometidos a mantenimiento. Al igual que sucede con los productos químicos en general, la eficacia de los materiales protectores es específica de las características de los nanomateriales. Deben tenerse en cuenta las recomendaciones de los proveedores específicas para el nanomaterial en cuestión, por ejemplo, las que figuren en la ficha de datos de seguridad. Para las partículas de dióxido de titanio y platino, se ha averiguado que son eficaces el nitrilo, el látex y el neopreno [44]. El grosor de los guantes es un factor esencial para determinar el índice de difusión del nanomaterial. En consecuencia, se recomienda la utilización de dos pares de guantes al mismo tiempo [46].

No obstante, con esta afirmación no se cuestiona la eficacia de los guantes para manipular líquidos o coloides. El proveedor de los guantes debe comprobar de manera específica la eficacia de éstos en relación con un nanomaterial concreto en la forma en la que se presente en el lugar de trabajo (polvo, líquido, etc.).

3.3 Prevención de explosiones y/o incendios

A consecuencia de su pequeño tamaño, los nanomateriales en forma de polvo pueden entrañar riesgo de explosión, cosa que no sucede con sus correspondientes materiales en bruto ⁽³⁾ [47]. Por consiguiente, debe prestarse atención en las actividades en las que se generan o manipulan nanomateriales en forma de polvo, por ejemplo, el esmerilado, el lijado o el pulido de materiales que contengan nanomateriales.

Las medidas de prevención frente a los nanomateriales en forma de polvo son esencialmente las mismas que las referentes a cualesquiera otros materiales en bruto explosivos o inflamable y nubes de polvo explosivas, y deben cumplir los requisitos de la Directiva 99/92/CE relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas. Tales medidas incluyen:

- La manipulación debe limitarse, en la medida de lo posible, a zonas Ex específicas y efectuarse en atmósferas inertes.
- Los materiales deben solubilizarse humedeciendo los lugares de trabajo (prevención de formación de polvo).
- Los equipos proclives a la formación de chispas y otras fuentes de ignición o condiciones propicias a las cargas electrostáticas deben eliminarse del lugar de trabajo y utilizar, en su lugar,

⁽³⁾ El potencial explosivo de la mayoría de los polvos orgánicos y muchos de los metálicos aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas. El tamaño límite de las partículas de una atmósfera explosiva en forma de nube polvo parece ser de 500 µm. En la actualidad no hay un límite de tamaño por debajo del cual se puedan excluir las explosiones de polvo (véase [47]).

equipos intrínsecamente seguros (circuitos de control y señales que funcionen con corrientes y tensiones bajas) en la medida de lo posible.

- Las capas de polvo deben eliminarse por métodos de limpieza en húmedo.
- El almacenamiento de materiales explosivos o inflamables en el lugar de trabajo debe reducirse al mínimo. Se pueden utilizar bolsas antiestáticas.

3.4 Comprobación de la eficacia de las medidas de prevención

La evaluación de riesgos debe revisarse periódicamente, y la eficacia de las medidas de gestión de riesgos seleccionadas así como de su aplicación debe comprobarse y controlarse con regularidad. Esto significa garantizar el debido funcionamiento de todos los equipos de protección, como la limpieza de los bancos de trabajo o las cabinas de flujo laminar, e inspeccionar periódicamente todos los equipos de ventilación y sus respectivos sistemas de filtrado. Además, debe comprobarse y actualizarse, en su caso, la idoneidad de los EPP.

Por otra parte, se puede evaluar la eficacia de una medida de reducción del riesgo con el análisis de la concentración de nanomateriales en el aire antes y después de aplicar la medida de prevención. Los niveles de exposición medidos al aplicar medidas de gestión de riesgos no deben ser muy distintos de las concentraciones de referencia cuando no hay una fuente de nanomateriales manufacturados. Pueden aplicarse también otras medidas indirectas para la eficacia de las medidas técnicas de prevención, como pruebas de humo y/o mediciones de la velocidad de control.

Tal vez en el futuro se establezcan los valores límite de exposición profesional (OEL) para nanomateriales ⁽⁴⁾ [48]; sin embargo, el principal objetivo en la gestión de riesgos en el lugar de trabajo debe ser la reducción al mínimo de la exposición y, en consecuencia, no basta con cumplir tales valores límite.

Referencias

1. Recomendación de la Comisión de 18 de octubre de 2011 relativa a la definición de nanomaterial, DO L 275, págs. 38-40. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:ES:PDF>
2. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology - Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials (Enfoques sobre la seguridad en la nanotecnología: gestión de los problemas relativos a la salud y la seguridad asociados con los nanomateriales artificiales)*, Departamento de Salud y Servicios Humanos, Centros para Control y Prevención de Enfermedades, publicación nº 2009-125, 2009.
3. Comisión Europea (CE), *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión [Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects (Tipos de nanomateriales y sus usos, incluidos los aspectos de seguridad)], que acompaña a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo y el Comité Económico y Social Europeo sobre la segunda revisión del marco reglamentario en relación con los nanomateriales*, SWD(2012) 288 final, Bruselas, 2012. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
4. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles (Exposición a nanopartículas en el lugar de trabajo)*, Observatorio Europeo de Riesgos, revisión bibliográfica, 2009. Disponible en: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles
5. Directiva 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo, DO L 183, 29.6.1989. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:ES:NOT>

⁽⁴⁾ Véase, por ejemplo, el Consejo Social y Económico (SER) de los Países Bajos [48], Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Valores de referencia provisionales para nanomateriales fabricados), 2012, y Nanowerk [42], SAFENANO team complete BSI British Standards guide to safe handling of nanomaterials (Guía completa del equipo SAFENANO sobre normativas británicas de BSI para la manipulación segura de los nanomateriales), 2012.

6. Senjen, R., «Nanomateriales: aspectos problemáticos en relación con la salud y el medio ambiente», *Nanotecnologías en el siglo XXI*, Oficina Europea de Medio Ambiente, número 2, julio de 2009. Disponible en: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
7. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology (Introducción a la nanotecnología)*, 2012. Disponible en: http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
8. The ENRHES project, *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES) (El proyecto ENRHES - Nanopartículas artificiales: análisis de la seguridad en materia de salud y medio ambiente)*, 2009. Disponible en: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report> (fecha de acceso a la página web: 29 de abril de 2013).
9. Comité Científico de Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSERI), *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance (Solicitud de un dictamen científico sobre la nanoplata: efectos sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente, y su función en la resistencia antimicrobiana)*, 2012. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf
10. Bundesministerium für Gesundheit (BMG, Ministerio de Sanidad austriaco) *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien - Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte (La nanoplata en los cosméticos, los artículos para la higiene y los materiales en contacto con los alimentos - Aspectos relacionados con los productos, la salud y normativos)*, Viena, 2010. Disponible en: http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf
11. Comisión Europea (CE), *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión: [Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects (Tipos de nanomateriales y sus usos, incluidos los aspectos de seguridad)]*, que acompaña a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo y el Comité Económico y Social Europeo sobre la segunda revisión del marco reglamentario en relación con los nanomateriales, SWD(2012) 288 final, Bruselas, 3 de octubre de 2012. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
12. Luoma, S.N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges? (Nanotecnologías en relación con la plata: ¿viejos problemas o nuevos retos?)*, Pew Charitable Trust y Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008. Disponible en: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf
13. Haase, A., Rott, S., Mantion, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., «Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses» (Efectos de las nanopartículas de plata en los cultivos celulares neurales mixtos), *Toxicology Science*, 2012, 126(2): págs. 457–468.
14. Organización Mundial de la Salud (OMS), *Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc (Blanco de carbono, dióxido de titanio y talco)*, Monografías sobre evaluación de los riesgos carcinogénicos para las personas, vol. 93, 2010. Disponible en: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>.
15. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH), «Occupational exposure to titanium dioxide» (Exposición profesional al dióxido de titanio), *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>.
16. Napierska, D., Thomassen, L.C.J., Lison, D., Martens, J.A., Hoet, P.H., «The nanosilica hazard: another variable entity» (El peligro de las nanopartículas de sílice: otra entidad variable), *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7: pág. 39.
17. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies* (El tamaño sí importa: oportunidades y riesgos de la nanotecnología), informe del Allianz Center for Technology y la OCDE, sin fecha. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
18. Murashov, V., «Occupational exposure to nanomedical applications» (Exposición profesional a aplicaciones nanomédicas), *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1: págs. 203-213.

19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively (Es necesario que la EPA gestione los riesgos de los nanomateriales con mayor eficacia)*, Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, informe nº 12-P-0162, 2011. Disponible en: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
20. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., «Penetration of quantum dot particles through human skin» (Penetración de los puntos cuánticos a través de la piel humana), *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): págs. 586–595.
21. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories (Prácticas generales seguras para trabajar con nanomateriales artificiales en laboratorios de investigación)*, Departamento de Salud y Servicios Humanos, número de publicación 2012-147, 2012.
22. Elvin, G., *Nanotechnology for Green Building (Nanotecnología para edificaciones ecológicas)*, Green Technology Forum, 2007. Disponible en: http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf
23. Responsible Nano Forum, *Nano Products - Where and How Nanotechnologies are Used Now, (Nanoproductos: ¿dónde y cómo se usa la nanotecnología ahora)*, sin fecha. Disponible en: <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
24. Oficina de Responsabilidad del Gobierno (GAO) de los Estados Unidos, *Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research (Mejora de la información sobre el rendimiento necesaria para la investigación en materia de medio ambiente, salud y seguridad)* (2012). Disponible en: <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
25. Observatory NANO, *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry (Revestimientos, adhesivos y sellantes para la industria del transporte)*, 2010. Disponible en: http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
26. Sung, J.H., Ji, J.H., Park, J.D., Song, M.Y., Song, K.S., Ryu, H.R., Yoon, J.U., Jeon, K.S., Jeong, J., Han, B.S., Chung, Y.H., Chang, H.K., Lee, J.H., Kim, D.W., Kelman, B.J., Yu, I.J., «Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles» (Toxicidad subcrónica por inhalación de nanopartículas de oro), *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8: pág. 16.
27. Directiva 98/24/CE, de 7 de abril de 1998, relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (decimocuarta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE), DO L 131, 5 de mayo de 1998. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:ES:PDF>
28. Directiva 2004/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo (sexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE), DO L 158, 30 de abril de 2004. Disponible en: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):ES:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):ES:NOT)
29. Reglamento nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) nº 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión. DO L 396, 30 de diciembre de 2006. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:es:NOT>
30. Reglamento nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (Reglamento CLP), DO L 353, 31 de diciembre de 2008. Disponible en: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>

31. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K.A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., «Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles» (Evaluación y control de los riesgos profesionales para la salud derivados de las nanopartículas), *TemaNord* 2007: 581, Consejo Nórdico de Ministros, Copenhague, 2007. Disponible en: http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile
32. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands (Buenos usos de los nanomateriales en los Países Bajos)*, presentado y difundido en Nano4All, 15 de octubre de 2008.
33. Inspección Central de Trabajo de Austria (ACLI), *Use of Nano at the Workplace (Uso de nanomateriales en el trabajo)*, 2009. Disponible en: http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf
34. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials (Evaluación de TME y etiquetas asociadas al uso de nanomateriales artificiales)*, 2010. Disponible en: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
35. Van Broekhuizen, F.A., Van Broekhuizen, J.C., *Nanotechnology in the European Construction Industry— State of the art 2009 - Executive Summary* (La nanotecnología en el sector de la construcción europeo - Situación en 2009 - Resumen ejecutivo), Federación Europea de Trabajadores de la Construcción y la Madera (EFBWW), Federación Europea del Sector de la Construcción (FIEC), Ámsterdam, 2009. Disponible en: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20GB%20Summary.pdf>
36. Organización Europea de Consumidores (ANEC/BEUC), *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market* (Inventario de productos que supuestamente contienen nanopartículas de plata y que están disponibles en el mercado de la UE), 2012. Disponible en: <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
37. Biblioteca Nacional de Medicina, base de datos de información sobre productos de consumo *Base de datos sobre productos de uso doméstico*, 2011. Disponible en: <http://hpd.nlm.nih.gov/about.htm> (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
38. Comisión Europea (CE), *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión - [Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects (Tipos de nanomateriales y sus usos, incluidos los aspectos de seguridad)], que acompaña a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo y el Comité Económico y Social Europeo sobre la segunda revisión del marco reglamentario en relación con los nanomateriales*, SWD(2012) 288 final, 2012. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
39. Reglamento (UE) nº 453/2010 de la Comisión, de 20 de mayo de 2010, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), DO L 133, 31 de mayo de 2010.
40. Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (ECHA), orientaciones sobre el cumplimiento de las fichas de seguridad, diciembre de 2011. Disponible en: http://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_es.pdf
41. Nunes, I.L., «The nexus between OSH and subcontracting (El nexo entre la SST y la subcontratación)», *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 2012, 41, suplemento 1: págs. 3062-3068.
42. Ministerio Neerlandés de Empleo y Asuntos Sociales, *Stoffenmanager 4.5*, sin fecha. Disponible en: <https://www.stoffenmanager.nl/> (Neerlandés, inglés y finés) (fecha de acceso a la página web: 3 de diciembre de 2012).
43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU - GISBAU (Sistema de información sobre sustancias peligrosas en BG-BAU)*. Disponible en: <http://www.gisbau.de/index.html> (fecha de acceso a la página web: 3 de diciembre de 2012).

44. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols? (Los dispositivos de protección convencionales, como los medios de filtrado fibrosos, los cartuchos respiradores, la ropa y los guantes de protección, ¿son eficaces para los nanoaerosoles?)*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Disponible en: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf
45. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, «Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche - Ein Betriebsleitfaden (Aplicación segura de los nanomateriales en el sector de la pintura - directrices)», *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Disponible en: www.hessen-nanotech.de
46. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles (Primeros resultados sobre la aplicación de procedimientos seguros en la manipulación de nanopartículas)*, DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008. Disponible en: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf
47. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Protección frente a explosiones: necesidad de tomar medidas en relación con los nanopolvos)*, sin fecha. Disponible en: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (fecha de acceso a la página web: 3 de diciembre de 2012).
48. Instituto de Tecnología (OAWITA), *Assessment of the Austrian Academy of Science (Evaluación de la Academia de Ciencias Austriaca)*, 2010. Disponible en: <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (fecha de acceso a la página web: 10 de junio de 2011).

Bibliografía recomendada

- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), Base de datos de estudios de caso, 2012. Disponible en: http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical_solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search (fecha de acceso a la página web: 23 de julio de 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), Nanomaterialien - Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz (Nanomateriales: un reto para la salud y la seguridad en el trabajo), Hauptvorstand, 2011. Disponible en: <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), Mantenimiento seguro llevado a la práctica, 2010. Disponible en: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), Magazine 12. «Trabajos saludables» Campaña europea sobre mantenimiento seguro, 2011 Disponible en: <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), Mantenimiento seguro para empresarios - Trabajadores seguros: ahorro económico, Facts 89, 2011. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/publications/factsheets/89>
- Health and Safety Executive (HSE), Risk Management of Carbon Nanotubes (Gestión de riesgos en relación con los nanotubos de carbono), Crown, 2009. Disponible en: www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf (acceso a página web).