

## LOS NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA ASISTENCIA SANITARIA: RIESGOS PROFESIONALES Y SU PREVENCIÓN

El campo de la nanotecnología avanza con rapidez y el uso de nanomateriales se hace cada vez más corriente. Como sucede en una amplia serie de sectores, en la asistencia sanitaria la influencia de la nanotecnología es cada vez más evidente, lo que entraña un mayor riesgo de exposición de los trabajadores a los nanomateriales en sus entornos profesionales. La nanotecnología y los nanomateriales en las aplicaciones sanitarias pueden ofrecer diversas ventajas, por ejemplo, las técnicas y los planteamientos de miniaturización se han combinado con la síntesis química y el control de la organización molecular, con lo que ofrecen interesantes oportunidades para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. No obstante, 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 de qué manera los trabajadores sanitarios pueden encontrarse con nanomateriales al desempeñar sus actividades cotidianas en su lugar de trabajo, y ofrece también información sobre las medidas que pueden adoptarse para evitar posibles exposiciones.

### 1 Introducción

#### 1.1 El sector de la asistencia sanitaria

Una gran proporción de la población activa de la UE trabaja en el sector de la asistencia sanitaria. De conformidad con el Plan de acción para el personal sanitario de la UE [1], las oportunidades de trabajo en este sector están creciendo a causa del envejecimiento de la población y los consiguientes aumentos de la demanda de atención sanitaria.

El sector de la asistencia sanitaria comprende empresas y servicios públicos que prestan, directa o indirectamente, distintos tipos de servicios sanitarios, como los de diagnóstico, tratamiento y cuidados preventivos. Los lugares en los que se presta la atención sanitaria pueden variar, e incluyen hospitales, clínicas dentales, servicios médicos de urgencia móviles y los propios hogares de los pacientes. Esta hoja informativa electrónica se ocupa en especial de las personas que prestan servicios médicos de forma directa (médicos, personal de enfermería o farmacéuticos), así como de los trabajadores estrechamente relacionados con el sector de la asistencia sanitaria, como las personas que trabajan en laboratorios o en actividades de limpieza. La hoja no cubre el personal administrativo ni los trabajadores que fabrican equipos médicos.



Fotografía de: Raya Gergovska

## 1.2 ¿Qué son los nanomateriales?

Los nanomateriales son materiales que contienen partículas con una o más dimensiones entre 1 y 100 nm <sup>(1)</sup>, 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 centra la atención esta hoja informativa electrónica sobre la asistencia sanitaria.

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 [3, 4].

Una gran proporción de nanomateriales se fabrican y se colocan en el mercado por sus propiedades y comportamiento específicos, que se derivan principalmente de su pequeño tamaño (y, por tanto múltiples áreas de superficie mayores), o de otras características como las superficies (revestidas) modificadas o una morfología específica (forma de las partículas). Esta hoja informativa electrónica se centra sólo en los nanomateriales que se encuentran en el sector de la asistencia sanitaria, y no en los que son consecuencia involuntaria de las actividades humanas, por ejemplo, las nanopartículas presentes en los humos de escape de los motores diesel.

## 2 Los nanomateriales en el sector de la asistencia sanitaria

Una vez en el interior del cuerpo, los nanomateriales pueden desplazarse de un lugar a otro, puesto que entran y salen de los vasos sanguíneos, se introducen en las células e interactúan con las biomoléculas tanto en la superficie de la célula como en su interior, en numerosas áreas del cuerpo humano [5]. Al estar dotados de estas capacidades, los nanomateriales en la asistencia sanitaria pueden detectar enfermedades, facilitar tratamientos y permitir la prevención por métodos nuevos.

Los beneficios terapéuticos principales del uso de nanomateriales son los siguientes: solubilidad (para fármacos insolubles hasta ahora), capacidad para transportar entidades hidrofóbicas, capacidad multifuncional, selección de objetivos activa y pasiva, ligandos (exclusión de tamaño) y menor toxicidad [6]. Además, por sus propiedades específicas, los nanomateriales se usan asimismo en las herramientas de diagnóstico, en los medios y métodos que utilizan imágenes, y en los implantes y productos de ingeniería tisular.

En consecuencia, las propiedades y los comportamientos de los nanomateriales permiten el diagnóstico, la vigilancia, el tratamiento y la prevención de enfermedades como las cardiovasculares, el cáncer, las musculoesqueléticas e inflamatorias, las neurodegenerativas y psiquiátricas, la diabetes y las enfermedades infecciosas [p. ej., infecciones bacterianas y virales, como el VIH (virus de inmunodeficiencia humana)] [7].

En el cuadro 1 se detallan algunos de los nanomateriales que ya se utilizan en el sector de la asistencia sanitaria.

---

<sup>(1)</sup> 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».

**Cuadro 1: Principales tipos de nanomateriales presentes en aplicaciones del sector sanitario**

Tipo de nanomaterial	Aplicaciones en la asistencia sanitaria
Partículas metálicas [p. ej., óxido de hierro (III), oro o plata]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tratamiento del cáncer por hipertermia</li> <li>▪ Bioseparaciones magnéticas selectivas</li> <li>▪ Recubiertos de anticuerpos de antígenos específicos de células, para separación de la matriz circundante</li> <li>▪ Estudio de transporte de membranas</li> <li>▪ Administración de medicamentos</li> <li>▪ Medio de contraste en imágenes por resonancia magnética</li> </ul>
Nanopartículas de plata	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agentes antimicrobianos</li> <li>▪ Incorporados a una amplia serie de productos sanitarios, entre ellos el cemento óseo, los instrumentos quirúrgicos, las mascarillas quirúrgicas</li> </ul>
Nanopartículas de corteza de oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejoran la solubilidad de los fármacos</li> <li>▪ Permiten la ulterior conjugación</li> </ul>
Nanomateriales de carbono [fulerenos y nanotubos de carbono (NTC)]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las denominadas «buckyballs» (estructuras en forma de balón de fútbol compuestas de 60 átomos de carbono) se usan en sistemas de administración de medicamentos, para contribuir al transporte del fármaco y su liberación óptima en el objetivo correcto dentro del cuerpo [5].</li> <li>▪ Revestimientos para prótesis e implantes quirúrgicos</li> <li>▪ Nanotubos de carbono funcionalizados: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ para administración terapéutica</li> <li>○ para aplicaciones biomédicas como endoprótesis vasculares y crecimiento y regeneración neuronal</li> <li>○ terapia génica, p. ej., una hebra de ADN puede enlazarse a un nanotubo</li> </ul> </li> </ul>
Puntos cuánticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Etiquetado de múltiples biomoléculas para vigilar cambios celulares complejos y reacciones asociadas a las enfermedades</li> <li>▪ Tecnología óptica [8]</li> <li>▪ Diagnóstico de enfermedades y tecnologías de selección</li> </ul>
Dendrimeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Macromoléculas polimerizadas -estructuras muy ramificadas con nanocavidades o canales interiores con propiedades distintas a las exteriores</li> <li>▪ Uso como transportadores para una serie de fármacos (p. ej., antitumorales, antivíricos, antibacterianos, etc.) con capacidad para mejorar la solubilidad y biodisponibilidad de fármacos con escasa solubilidad</li> </ul>
Nanopartículas basadas en lípidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se pueden fusionar con la membrana de la célula e introducir moléculas en las células</li> </ul>
Nanopartículas cerámicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas inorgánicos utilizados como vehículos para el fármaco (si son porosos y biocompatibles); utilizados en aplicaciones cosméticas (óxido de zinc, dióxido de titanio)</li> </ul>
Nanotubos, nanoalambres, nanopartículas magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnóstico de enfermedades y tecnologías de selección, incluidos los «laboratorios en un chip» [8]</li> </ul>

Compilado por los autores a partir de una gama de fuentes [5, 6, 8–11].

El plazo desde la invención de un producto sanitario hasta su aprobación para uso clínico es extremadamente largo. No obstante, en la actualidad ciertas aplicaciones de la nanotecnología están en proceso de desarrollo y estarán disponibles de manera inminente. Con ellas se abordará, por ejemplo, la mejora de los sistemas de imágenes médicas [5], el uso de chips subcutáneos que pueden vigilar de manera continua los parámetros clave, incluido el pulso, la temperatura y los niveles de glucosa en sangre [5], y la reducción al mínimo del crecimiento y la transferencia de patógeno [8].

### 3 Riesgos de los nanomateriales para los trabajadores sanitarios

Aunque los nanomateriales en el sector de la asistencia sanitaria pueden ofrecer numerosos beneficios para los pacientes, también pueden exponer al personal sanitario a nuevos riesgos.

Existe todavía un vacío de conocimientos en la información disponible sobre la toxicidad de los nanomateriales fabricados, lo que dificulta las evaluaciones de riesgos [véase la hoja informativa electrónica 72 en: (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures/view>), relativa a las herramientas de gestión del riesgo de los nanomateriales]. La mayor dificultad reside en conocer los posibles peligros a los que puede enfrentarse el personal sanitario al trabajar con nanomateriales fabricados o nanodispositivos. Habida cuenta de las propiedades exclusivas de estos materiales de escala nanométrica –principalmente vinculados a su pequeño tamaño, pero también a la forma de las partículas, la naturaleza química, el estado de la superficie (p. ej. área de superficie, funcionalización de la superficie, tratamiento de la superficie) y al estado de agregación/aglomeración [8, 12]–, sus interacciones con el cuerpo humano y, en consecuencia, sus efectos sobre la salud se espera que sean diferentes de los asociados a los materiales de la misma composición a escala macro. Por consiguiente, los efectos sobre la salud que puedan derivarse de las exposiciones profesionales a los nanomateriales suscitan preocupación.

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 [8, 12]. 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 [13]. 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 [14].

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 [8, 12].

Los nanomateriales pueden introducirse en el cuerpo humano a través de diversas vías y entrañar riesgos profesionales para la salud:

- **Inhalación:** es la vía más común de exposición a las nanopartículas que se propagan por el aire en el lugar de trabajo [15, 16]. 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 también 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 [15, 16]. 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 [15, 16]. La piel intacta parece ser una buena barrera frente a la absorción de nanomateriales [17]. 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.

Los nanomateriales pueden introducirse también en el cuerpo humano por vía parenteral <sup>(2)</sup> y, de manera accidental, al pincharse con una aguja, cortarse o lesionarse la piel de otras maneras [15].

Habida cuenta de las actividades que se realizan en el sector sanitario, los trabajadores que mayor probabilidad tienen de exposición a nanomateriales son los encargados de preparar o administrar nanomedicamentos, o los que trabajan en zonas en las que se utilizan estos fármacos, ya que pueden entrar con facilidad en contacto con estos agentes propagados por el aire (p. ej., el personal de farmacia o de enfermería, los médicos, los trabajadores de servicios medioambientales, el personal de expediciones y entregas).

Entre otras situaciones de exposición a nanomateriales en entornos sanitarios [15] pueden citarse las siguientes:

- eliminación de los excrementos de los pacientes que reciben nanofármacos;
- vertidos de nanomateriales;
- manipulación de objetos contaminados con nanomateriales;
- consumo de alimentos y bebidas que han estado en contacto con nanofármacos, y
- limpieza y mantenimiento de zonas en las que se manipulan los nanofármacos.

Se pueden producir situaciones de exposición en los procedimientos dentales y quirúrgicos que incluyan operaciones de lijado, taladrado, desbastado y pulido de materiales sanitarios que contengan nanomateriales. Un ejemplo de este tipo de exposición es el tratamiento de caries dentales en odontología, que suele hacerse mediante la aplicación de empastes que incluyen nanomateriales (p. ej., empastes cerámicos) que se ajustan a la forma anatómica lijando la superficie con instrumental de alta velocidad. Durante este procedimiento hay riesgo de que las nanopartículas se propaguen por el aire y las inhalen tanto el paciente como el personal sanitario.

Algunos de los posibles riesgos en materia de SST que entrañan los nanomateriales en el sector sanitario se presentan en el cuadro 2.

---

<sup>(2)</sup> Introducir un medicamento o cualquier otra sustancia en el cuerpo por vía parenteral significa que se utiliza una vía distinta de la gastrointestinal (p. ej., una inyección).

**Cuadro 2: Ejemplos de nanomateriales usados en el sector de la asistencia sanitaria y posibles peligros para la salud y riesgos de SST.**

Ejemplo de nanomateriales	Posibles peligros para la salud y riesgos de SST
Nanomateriales de carbono	Hay pruebas de que la inhalación de algunos tipos de nanomateriales de carbono pueden causar trastornos pulmonares, incluidos efectos similares a los que produce el amianto [9]
Dendrimeros	<p>A pesar de su amplia capacidad de aplicación en el terreno farmacéutico, por ejemplo, en la administración de medicamentos contra el cáncer, el uso de dendrimeros en el cuerpo humano está restringido a causa de su toxicidad inherente [11].</p> <p>Ha habido un caso de dermatitis de contacto similar a eritema multiforme a consecuencia de la exposición a dendrimeros [14].</p>
Nanopartículas de plata	<p>De acuerdo con ENRHES [18], el uso de nanopartículas de plata representa un posible riesgo para la salud humana; no obstante, el estudio de su toxicidad se encuentra aún en las fases iniciales. Se solicitó al Comité Científico de Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados de la UE un dictamen científico acerca de los efectos de la nanoplata sobre la seguridad, la salud y el medio ambiente, así como sobre su función de resistencia antimicrobiana [19]. Existen serios motivos de inquietud por que las nanopartículas de plata puedan tener, en dosis elevadas, efectos perjudiciales para la salud, como edema pulmonar y manchas en la piel [3]. De hecho, la respuesta más común de las personas expuestas de forma prolongada a la nanoplata es la 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) [20], enfermedades que no se pueden revertir y son incurables [20].</p> <p>En el sector de la asistencia sanitaria, la nanoplata se ha utilizado como agente antibacteriano en vendas, para proteger de infecciones a pacientes con quemaduras graves. Este es uno de los principales riesgos de exposición para los trabajadores sanitarios. Por otra parte, también son motivo de inquietud los efectos adversos indirectos de la nanoplata en la salud humana debido a una creciente resistencia de los microorganismos a la plata [19].</p> <p>En estudios realizados con ratas se documentó que las nanopartículas de plata pueden llegar al cerebro a través de las vías respiratorias altas [12].</p>
Dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado las partículas de TiO <sub>2</sub> inhaladas como posible carcinógeno humano (del grupo 2B) [21]. 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 TiO <sub>2</sub> : 0,3 mg/m <sup>3</sup> para nanopartículas de TiO <sub>2</sub> (< 100 nm), frente a 2,4 mg/m <sup>3</sup> para partículas finas (> 100 nm) [22].
Nanopartículas de oro	En algunos estudios de toxicidad de las nanopartículas de oro realizados con ratones se observó que, al inhalarlas, se acumulan en los pulmones y los riñones [23].

Fuente: Compilado por los autores.

Además de los riesgos para la salud, la propagación por el aire de nanopolvos o nanopartículas combustibles puede representar un riesgo de explosión o incendio.

Es importante evaluar y gestionar correctamente los posibles riesgos de SST de los nanomateriales en el sector de la asistencia sanitaria para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores de manera adecuada.

## 4 Prevención

De conformidad con la Directiva 89/391/CEE [24], los empresarios deben realizar evaluaciones periódicas del lugar de trabajo y adoptar las medidas de prevención adecuadas, y este criterio debe aplicarse 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 [25] 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».

En consecuencia, la evaluación de riesgos obligatoria en el lugar de trabajo y la jerarquía de medidas de control [eliminación, sustitución, medidas técnicas en origen, medidas organizativas y equipos de protección personal (EPP), como último recurso] que se establecen en las Directivas de protección de estos trabajadores deben aplicarse también al sector de la asistencia sanitaria y los nanomateriales.

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 [26]. En cualquier caso, debe consultarse la legislación nacional, que puede tener disposiciones más estrictas.

No obstante, 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. los conocimientos sobre las propiedades peligrosas de los nanomateriales;
2. 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 [13, 27-29]. En consecuencia, las organizaciones recomiendan que se solicite más información directamente a los proveedores.

Además, 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) [30] y el Reglamento sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas a (CLP) [41]. Por otra parte, las modificaciones realizadas en el anexo II de REACH [31], 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 [32], 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]. En el sector de la asistencia sanitaria no hay, a día de hoy, directrices específicas para la prevención de los riesgos en materia de SST que presentan los nanomateriales. No obstante, las medidas recomendadas en otros sectores (p. ej., laboratorios de investigación [33]) son aplicables en parte, y los principios y enfoques principales pueden transferirse al sector de la asistencia sanitaria.

## 4.1 Eliminación y sustitución

Al igual que con el resto de las sustancias peligrosas, la eliminación y sustitución debe ser una cuestión prioritaria con respecto a otras medidas de prevención (es decir, el propósito es evitar el riesgo de exposición a nanomateriales a todos los trabajadores). Sin embargo, en muchos casos, en el sector sanitario se utilizan nanomateriales que contienen agentes químicos, fármacos o dispositivos por sus propiedades específicas y porque cumplen una función concreta. Por tanto, en tales casos, si un nanomaterial entraña riesgo para la salud de los trabajadores, su eliminación o sustitución por otra alternativa menos peligrosa puede no ser viable, puesto que el sustituto tal vez no tenga las mismas propiedades ni los efectos (positivos) que se desean. 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. Además, tal vez sea posible:

- evitar la presencia de nanomateriales que podrían propagarse por el aire (como talcos o polvos) con la utilización de formas menos peligrosas, p. ej., solubilizando los nanomateriales en forma de polvo y convirtiéndolos en líquidos, pastas, granulados o compuestos, o solidificándolos, y
- reducir el comportamiento peligroso mediante la modificación de la superficie del nanomaterial, por ejemplo, recubriéndolo para ajustar el grado de polvo, su solubilidad y otras propiedades.

## 4.2 Controles técnicos

Dada la naturaleza del trabajo en el sector de la asistencia sanitaria, la mayoría de los lugares de trabajo –como las habitaciones de los pacientes en hospitales e incluso las casas de los pacientes– pueden no disponer de sistemas técnicos para reducir o evitar la exposición a los nanomateriales en origen, por ejemplo, sistemas cerrados que crean una barrera física entre una persona y el nanomaterial. No obstante, los controles técnicos en origen son viables en otras operaciones, como la preparación de medicamentos que contengan nanomateriales, p. ej., comprimidos o pomadas en envases.

Otra medida de prevención eficaz es mantener los bancos de trabajo limpios y utilizar filtros de alta eficiencia para partículas en suspensión (HEPA) en actividades como la preparación de nanofármacos; de muestras de tejidos de pacientes, fluidos corporales o excrementos que pudieran contener nanomateriales (si el paciente recibe tratamiento de nanofármacos); o la preparación o análisis de muestras utilizando sustancias químicas analíticas que contengan nanomateriales. La exposición a vertidos, polvos o vapores de nanomateriales procedentes de muestras o productos para la preparación de muestras debe controlarse mediante la utilización de un sistema de ventilación de alto rendimiento en combinación con equipos de protección personal (EPP), en particular, guantes y máscaras (véase el apartado 4.4).

En los laboratorios, salas de quirófano o zonas que exigen un elevado nivel de seguridad (por el riesgo de infección, por ejemplo) y en las áreas de almacenamiento suele haber sistemas locales de ventilación y extracción. Estos sistemas también captan nanomateriales. No obstante, en el caso de los nanomateriales, se recomienda el uso de filtros multietapa normales, con filtros de alta eficiencia para partículas en suspensión (HEPA H14) o filtros de aire de penetración ultrabaja (ULPA), como filtro final antes de la reintroducción del aire extraído. En cualquier caso, la idoneidad de los sistemas de filtrado debe evaluarse.

## 4.3 Medidas organizativas

Las medidas de prevención de riesgos en los lugares de trabajo del sector de la asistencia sanitaria en los que se usan nanomateriales incluyen las siguientes:

- las áreas o lugares de trabajo dedicados expresamente a la manipulación de nanomateriales deben separarse de otras zonas de trabajo y estar claramente señalizadas;
- reducción al mínimo del número de trabajadores expuestos a los nanomateriales;
- reducción al mínimo de la duración de la exposición de los trabajadores a los nanomateriales;
- prohibición del acceso a personal no autorizado;
  - limpieza periódica (en húmedo) de las zonas de trabajo en las que se utilizan o manipulan nanomateriales, y
  - control de los niveles de concentración de aire, p. ej., en comparación con los niveles de referencia cuando no se manipulan nanomateriales.

QAutor: Jim Holmes

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) [41] 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.

Además, deben seguirse asimismo algunos principios generales que se aplican con independencia de que intervengan nanomateriales o no:

- La planificación del trabajo de mantenimiento debe basarse en la evaluación de riesgos e incluir la participación del trabajador. Si el trabajo se realiza en zonas en las que se manipulan nanomateriales cuya toxicidad y comportamiento se desconocen, estos aspectos 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 por falta de tiempo.
- 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.
- Deben darse siempre instrucciones e información a todos los trabajadores, en particular, cuando éstos han sido contratados para una única tarea y/o si no están familiarizados con los riesgos químicos en general y los riesgos de los nanomateriales en concreto (p. ej., personal de limpieza, asistentes estudiantes). Esto debe incluir medidas de protección, por ejemplo: cómo manipular correctamente los productos farmacéuticos o las muestras que contengan nanomateriales; cómo desbastar o pulir materiales de relleno y superficies que contengan nanomateriales, y cómo eliminar los productos. La información debe también estar documentada en las instrucciones del lugar de trabajo.
- Adopción de un enfoque de cautela en la prevención de riesgos en el caso de los nanomateriales: deben implantarse todas las medidas disponibles, de conformidad con la jerarquía de medidas de prevención, para reducir la liberación de nanomateriales.

Los trabajadores que manipulen nanomateriales (o se expongan a ellos por cualquier otra causa) peligrosos en potencia, deben ser incluidos en programas de control de la salud con documentación pormenorizada de las situaciones de exposición.

## 4.4 Equipos de protección personal (EPP)

Los EPP deben utilizarse como último recurso cuando la exposición no puede reducirse de forma eficaz con las medidas anteriores. 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. Los trabajadores del sector de la asistencia sanitaria tienen posibilidades de tener que usar EPP en sus actividades a causa de otros riesgos para la salud (por ejemplo, agentes biológicos) <sup>(3)</sup> [34]. No obstante, debe evaluarse la idoneidad del EPP que se utilice en relación con 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 el trabajo de manera segura mientras lo utilizan, y que pueden usar 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, hay otros riesgos, aparte del que entrañan los nanomateriales, que pueden interferir y reducir la eficacia de los EPP. Por tanto, es preciso tener presentes todos los peligros del lugar de trabajo 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.

### 4.4.1 Protección de las vías respiratorias

Para actividades en las que intervienen nanomateriales en suspensión, por ejemplo, desbastado, bruñido o lijado de puentes o implantes que contengan nanomateriales, tal vez no sea suficiente un sistema de ventilación y extracción local. En estos casos debe emplearse también un sistema de protección de las vías respiratorias. Los filtros HEPA, los cartuchos y máscaras respiratorias con materiales de filtrado de fibras resultan eficaces contra los nanomateriales que se propagan por el aire. Las máscaras que cubren toda la cara o sólo la mitad, con filtros P3/FFP3 o P2/FFP2, se consideran eficaces como protección frente a tales situaciones de exposición. Los filtros con protección de factor 3 son mejores que los de factor 2 [35, 36]. Las máscaras deben ajustarse completamente a la cara [36] y deben realizarse pruebas de ajuste periódicas con todos los usuarios.

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.

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

### 4.4.2 Guantes

Los guantes son una prenda de uso habitual en el sector de la asistencia sanitaria. Sólo deben utilizarse guantes que cumplan los requisitos de la serie EN 374 <sup>(4)</sup> de la normativa sobre protección frente a peligros químicos en general. En el caso de los nanomateriales, los guantes de polímeros sintéticos, como el látex, el nitrilo o el neopreno, han demostrado ser eficaces [36]. La eficacia de los guantes en relación con un nanomaterial específico dependerá de la forma que éste adopta en el lugar de trabajo (polvo, líquido, etc.), un aspecto que debe verificarse específicamente con los

<sup>(3)</sup> La Directiva 89/686/CEE regula el diseño y el uso de los EPP y garantiza que cumplan la función prevista de proteger a los trabajadores frente a riesgos específicos.

<sup>(4)</sup> EN 374-1:2003: Guantes de protección contra los riesgos químicos y los microorganismos - Parte 1: Terminología y prestaciones exigidas, EN 374-2:2003: Guantes de protección contra los riesgos químicos y los microorganismos - Parte 2: Resistencia a la penetración, y EN 374-3:2003: Guantes de protección contra los riesgos químicos y los microorganismos - Parte 3: Resistencia a la penetración de productos químicos.

proveedores de los guantes. 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 [37].

#### 4.4.3 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, y se recomienda no usar prendas protectoras con tejido de algodón [36].

Si se emplea ropa protectora reutilizable, como monos de trabajo, debe lavarse regularmente y evitar exposiciones secundarias. Es preciso adoptar 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.

### 4.5 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 <sup>(5)</sup> [38]. Se debe tener cuidado cuando se generen nanopolvos (p. ej., operaciones de desbastado, bruñido o pulido de implantes o puentes que contengan nanomateriales) o se manipulen nanopolvos (p. ej., al mezclar, limpiar o eliminar estos polvos).

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 inflamables 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. Entre ellas se incluyen:

- Los farmacéuticos deberían, por ejemplo, limitar la manipulación de tales materiales a zonas Ex específicas y desempeñar su trabajo en atmósferas inertes.
- Los materiales deben solubilizarse humedeciendo los lugares de trabajo (prevención de formación de polvo).
- Los equipos propensos a la formación de chispas y otras fuentes de ignición o condiciones propicias a las cargas electrostáticas deben eliminarse del lugar de trabajo y utilizarse, en su lugar, 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 han de 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.

### 4.6 Comprobación de la eficacia de las medidas

La evaluación de riesgos ha de revisarse periódicamente, y la eficacia de las medidas de gestión de riesgos seleccionadas así como su aplicación deben 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 cámaras 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.

---

<sup>(5)</sup> 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.

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 fabricados. Pueden aplicarse también otras medidas indirectas para verificar 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 <sup>(6)</sup> [39, 40]; 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. Comisión Europea (CE), *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión: Action Plan for the EU Health Workforce (Plan de acción para el personal sanitario de la UE)*, SWD(2012) 93 final, Estrasburgo, 18 de abril de 2012. Disponible en: [http://ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/docs/swd\\_ap\\_eu\\_healthcare\\_workforce\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/docs/swd_ap_eu_healthcare_workforce_en.pdf)
2. 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:EN:PDF>
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, 3 de octubre de 2012. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF> <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](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles)
5. 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>
6. Kale, S.N., *Nanomaterials and their Applications in Healthcare (Los nanomateriales y sus aplicaciones en la asistencia sanitaria)*, presentación en ICS-UNIDO, seminario de SISSA sobre diseño informático y de posibles fármacos para países en desarrollo, 2009.
7. Filipponi, L., Sutherland, D., *Medicine and Healthcare. Module 2—Applications of Nanotechnologies (Medicina y asistencia sanitaria. Módulo 2. Aplicaciones de la nanotecnología)*, Interdisciplinary Nanoscience Centre (iNANO), 2010. Disponible en: <http://nanoyou.eu/>
8. Ellis, J.R., *Nanomaterials and Their Potential in Therapy (Los nanomateriales y su potencial terapéutico)*, 2012. Disponible en: <http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/nanomaterials-and-their-potential-therapy> (fecha de acceso a la página web: 20 de octubre de 2012).

<sup>(6)</sup> Véase, por ejemplo, Consejo Social y Económico (SER) de los Países Bajos (2012), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials (Valores de referencia provisionales para los nanomateriales artificiales)*, y Nanowerk (2012), *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)*.

9. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology (Introducción a la nanotecnología)*, 2012. Disponible en: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (fecha de acceso a la página web: 19 de octubre de 2012).
10. Mody, V.V., Siwale, R., Singh, A., Mody, H.R., «Introduction to metallic nanoparticles» (Introducción a las nanopartículas metálicas), *Journal of Pharmacy & BioAllied Science*, 2012, 2(4): págs. 282-289.
11. Jain, K., Kesharwani, P., Gupta, U., Jain, N.K., «Dendrimer toxicity: let's meet the challenge» (Toxicidad de los dendrímeros: afrontemos el reto), *International Journal of Pharmaceutics*, 2010, 394(1–2): págs. 122-142.
12. 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.
13. 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)*. Disponible en: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>
14. Toyama T., Matsuda H., Ishida I., Tani M., Kitaba S., Sano S., Katayama I., «A case of toxic epidermal necrolysis-like dermatitis evolving from contact dermatitis of the hands associated with exposure to dendrimers» (Un caso de dermatitis similar a la necrosis epidérmica tóxica derivada de una dermatitis de contacto por las manos asociada a exposición a dendrímeros), *Contact Dermatitis*, 2008, 59(2): págs. 122-123.
15. Murashov, V., «Occupational exposure to nanomedical applications» (Exposición profesional a aplicaciones nanomédicas), *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009, 1: págs. 203-213.
16. 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
17. 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.
18. El proyecto ENRHES, Comisión Europea (CE), *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (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>
19. Comité Científico de Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSEI), *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/scenih\\_r\\_q\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_q_027.pdf)
20. 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](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf)

21. 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>.
22. 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/>.
23. 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.
24. 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 de junio de 1989. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:EN:PDF>
25. 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). Disponible en: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:EN:P DF>
26. Directiva 2004/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 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). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:EN:HTML>
27. 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](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile)
28. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands (Buenos usos de los nanomateriales en los Países Bajos)*, 2008. Disponible en: <http://www.nano4all.nl/Reporthortsummary.pdf>
29. 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](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf)
30. 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:en:NOT>
31. 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. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010R0453:en:NOT>

32. 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/10162/17235/sds\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_en.pdf)
33. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories (Prácticas generales seguras para trabajar con nanomateriales artificiales en laboratorios de investigación)*, DHHS (NIOSH) Publicación nº No. 2012–147. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/>
34. Directiva 89/656/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual (tercera Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). Disponible en: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>
35. 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](http://www.hessen-nanotech.de)
36. 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](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf)
37. 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](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf)
38. 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).
39. Consejo Social y Económico (SER) de los Países Bajos, *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials (Valores de referencia provisionales para los nanomateriales artificiales)*, 2012. Disponible en: [http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012\\_01.aspx](http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx) (fecha de acceso a la página web: 20 de octubre de 2012).
40. Nanowerk, *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. Disponible en: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php> (fecha de acceso a la página web: 20 de octubre de 2012)
41. 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>

## Bibliografía recomendada

- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), *Base de datos en línea 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](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.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site\\_www.igbce.de/static\\_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf](http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf)
- Comisión Europea (CE), *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión: Action Plan for the EU Health Workforce (Plan de acción para el personal sanitario de la UE), que acompaña a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo y el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones «Hacia una recuperación generadora de empleo»*, Estrasburgo, 18 de abril de 2012, SWD(2012) 93 final.
- 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) - *Salud y seguridad del personal sanitario*. Disponible en: <http://osha.europa.eu/en/sector/healthcare>.