

Medidas preventivas y de control para **nanopartículas y nanomateriales**



Con este documento pretendemos facilitar algunas orientaciones en relación con las medidas preventivas a tener en cuenta frente a la exposición a nanomateriales manufacturados en el lugar de trabajo.

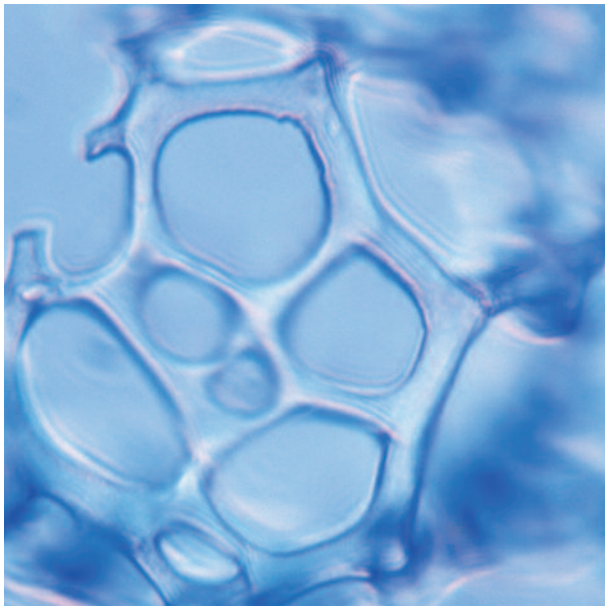


Esta publicación se realiza en el marco del Convenio de Colaboración suscrito con el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, al amparo de la Resolución de Encomienda de Gestión de 7 de abril de 2008, de la Secretaría de Estado de la Seguridad Social, para el desarrollo de actividades de prevención.

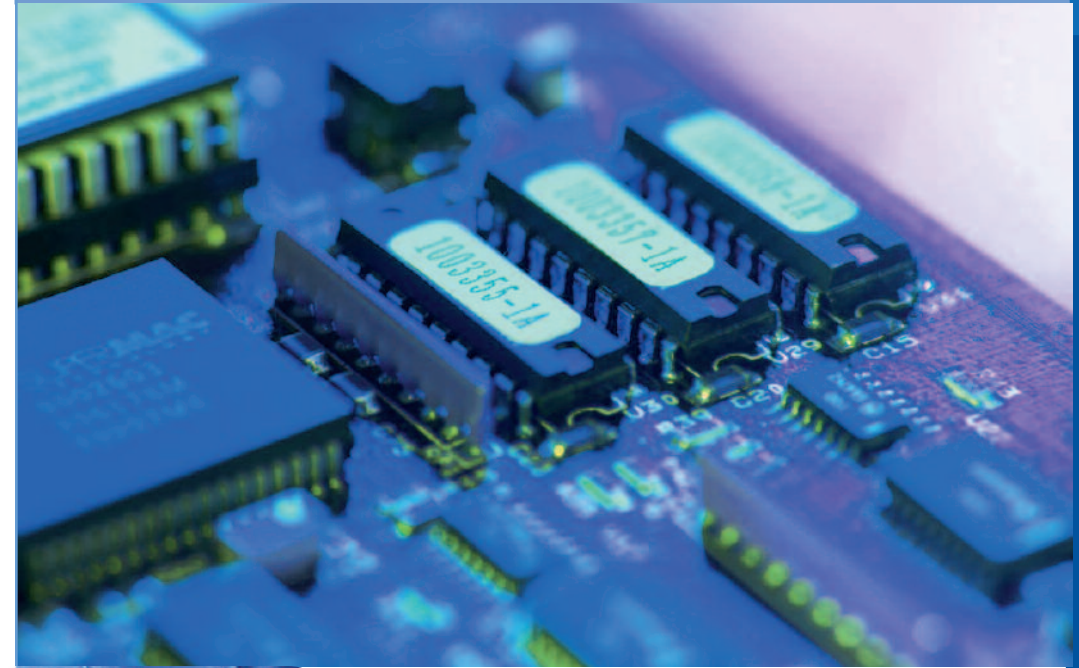
¿Qué son las nanopartículas?

La nanotecnología se describe como la **ciencia aplicada** en el diseño, fabricación y manipulación de la materia a **escala atómica y molecular**, en el rango de 1 a 100 nanómetros (1 metro = 1.000mm = 1.000.000 micras = 1.000.000.000 nanómetros). Si hablamos en términos comparativos una hoja de papel tiene un grosor aproximado de 100,000 nanómetros.

La característica más importante de los nanomateriales es que cambian sus propiedades según se reduce el tamaño, es decir, algunos incrementan su conductividad eléctrica y calórica mejorándola, otros incrementan su resistencia, pueden presentar diferentes propiedades magnéticas e incluso pueden cambiar de color y reflejo de la luz cuando se reduce su tamaño a esta escala. Los nanomateriales además presentan una mayor superficie en relación a su masa, propiedad que les confiere una mayor capacidad de interacción con otros materiales y una mayor reactividad.



* Los nanomateriales presentan una mayor superficie en relación a su masa, propiedad que les confiere una mayor capacidad de interacción con otros materiales y una mayor reactividad



Efectos potenciales sobre la salud

Desde hace mucho se sabe que la exposición laboral a partículas en el lugar de trabajo puede tener consecuencias sobre la salud de las personas expuestas. Entre ellas se incluyen las nanopartículas o, en un sentido más amplio, los nanomateriales. Su variedad supone también la variabilidad en la toxicidad o posibles efectos sobre la salud de estos materiales.

Podemos ver a continuación un resumen de los efectos potenciales de los nanomateriales.

- 1. Translocación:** Debido a su pequeño tamaño las nanopartículas pueden alcanzar zonas del organismo que no son accesibles a partículas de mayor tamaño. Esto significa un incremento de la posibilidad de que **las partículas atraviesen las barreras celulares**, incluyendo que puedan pasar al sistema circulatorio distribuyéndose así a otros órganos o incluso alcanzar el cerebro tras la inhalación desde las vías respiratorias superiores.
- 2.** La toxicidad de partículas insolubles parece estar relacionada con el área superficial de las partículas, en lugar de su masa. Las nanopartículas presentan un área superficial mayor que partículas más grandes de igual masa, lo que se traduciría en un **incremento de la toxicidad** de estos nanomateriales.
- 3.** Ciertos materiales considerados insolubles o poco solubles en mayor tamaño (fuera de la escala nano) ven incrementada su **solubilidad** cuando se producen en escala nano. Este efecto conllevaría una mayor biodisponibilidad de estos nanomateriales, que no existiría, o en todo caso en menor grado, en sus homólogos en la escala «macro».
- 4.** Si las nanopartículas presentan propiedades físico-químicas nuevas a diferencia de las mismas partículas de mayor tamaño, existe la posibilidad de que esto vaya acompañado de **nuevas propiedades toxicológicas**.



- 5.** Aquellas que tienen una estructura fibrosa similar a la de otros materiales como el amianto, podrían tener una mayor persistencia y acumulación en los pulmones y como consecuencia provocar inflamación y otras alteraciones, incluidos posibles efectos cancerígenos.

Sobre este último efecto, ciertos estudios (**Maynard y Donalson, 2008**) sugieren que cierto tipo de nanotubos de carbono podrían ser tan peligrosos como las fibras de amianto si eran inhalados en cantidades suficientes.

Existe, además, preocupación por la entrada de estos materiales a través de la piel y por ingestión. No se ha demostrado su capacidad de penetración a través de la piel, aunque hay estudios (**FP7 de la Comisión Europea, «NanoDerm»**) sobre esta posible vía de entrada. Se da una similar situación con la entrada de nanomateriales por ingestión y se están desarrollando estudios centrados en ambas vías de exposición.

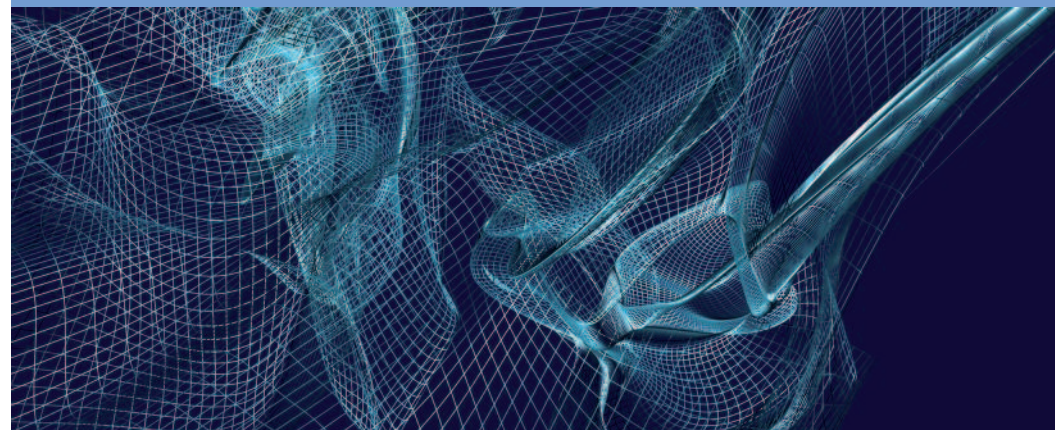
La escasez de estudios toxicológicos, el incremento de la producción y la prevalencia general de estos materiales, hace necesario evaluar los riesgos potenciales asociados y desarrollar por tanto estrategias de precaución y prevención cuando se trata de manejar, utilizar y eliminar estos nanomateriales.

En relación con la seguridad, uno de los factores implicados en la facilidad de ignición y violencia explosiva de una nube de polvo es el tamaño de la partícula o área superficial específica (es decir, el área superficial total por unidad de volumen o unidad de masa del polvo). Al disminuir en tamaño el área superficial específica aumenta. La tendencia general es que con la reducción del tamaño de la partícula la violencia explosiva y la facilidad de ignición se incrementa, aunque para algunos materiales esta tendencia se nivela hasta llegar a cierto tamaño, todavía no se ha determinado este límite inferior. Hay que tener en cuenta, que algunos nanomateriales tienen la potencialidad de causar explosión y, por tanto, requieren condiciones especiales de trabajo (atmósferas inertes).

Enfoque general para gestionar los riesgos de los nanomateriales

La manera de abordar la prevención de los riesgos por exposición a nanopartículas no difiere de la de cualquier otro riesgo laboral. El principio preventivo de primero eliminar el riesgo y evaluarlo cuando lo anterior no ha sido posible, ha de ser aplicado, también a las nanopartículas.

Las incertidumbres derivadas de la falta de conocimiento en torno a las propiedades de las nanopartículas, los efectos sobre la salud y su evaluación, hacen más necesaria, si cabe, la información y formación de los trabajadores, así como su participación en todas las actividades de evaluación y gestión de los riesgos.



El procedimiento de evaluación y gestión de los riesgos debería incluir los elementos siguientes:

- Recolección de información.
- Identificación de peligros y eliminación.
- Evaluar los riesgos:
 - Evaluar la exposición.
 - Valoración del riesgo.
 - Documentación, revisión y seguimiento.
- Definir medidas de precaución.
- Prevenir y/o controlar la exposición.
- Establecer medidas de control: medidas técnicas, medidas organizativas, medidas individuales, etc.
- Monitorizar la exposición.
- Evaluar medidas de control.
- Establecimiento de planes de vigilancia de la salud.
- Planes de formación e información.
- Desarrollo de planes de emergencia.
- Medidas de prevención de incendios y explosión.

Recolección de la información



Recogida de información e identificación de peligros

Aunque todavía no hay estudios concluyentes que demuestren la peligrosidad o inocuidad, toxicidad y ecotoxicidad de todos y cada uno de estos nanomateriales o nanoestructuras, existen suficientes fundamentos para considerarlos un importante peligro potencial. Es por ello, que **se debe aplicar el principio de precaución. Por tanto, se considerarán peligrosos a no ser que haya información suficiente que demuestre lo contrario.**

Hasta ahora, una de las principales fuentes de información (aunque no del todo fiable) eran las **fichas de datos de seguridad (FDS)**. A pesar de que se están elaborando estas fichas para los nanomateriales, la información que aparece en las mismas es todavía incompleta, a falta de resultados de estudios toxicológicos. Tampoco existen **Valores Límite de exposición** para los mismos ni ningún tipo de clasificación de peligros de los mismos (como cancerígenos, mutágenos, irritantes, sensibilizantes, etc.).

Ante la falta de datos toxicológicos, la recogida de información se centrará en la búsqueda de datos sobre sus características y propiedades físicas y químicas.

Una aproximación sobre el tipo de información que debería recogerse en relación con las propiedades y características de dichas nanoestructuras sería la siguiente:

- Nombre comercial y técnico.
- Información de la FDS donde exista.
- Composición química, carga.
- Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).
- Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro).
- Capacidad «pulvígena» del material (*dustiness*).
- Solubilidad/liposolubilidad del material.
- Distribución del tamaño de la partícula.
- Área específica.
- Características del material en la escala macro si existe.

Y toda aquella información que pueda ser útil para la evaluación de peligros y riesgos.

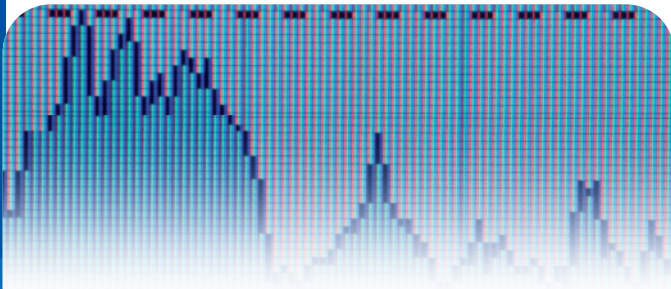
Categorización de peligros

Al no poderse realizar una evaluación ó análisis de peligros, por no disponer de datos suficientes sobre toxicidad, se podría utilizar el enfoque de la [guía de uso y gestión de residuos británica \(BSI PD 6699-2:2007\)](#), según la cual es razonable asumir que el potencial de peligro de los nanomateriales es mayor que sus homólogos fuera de la escala nano, en relación con las siguientes categorías:

- **Nanoestructura fibrosa:** proporción longitud/diámetro material insoluble.
- **CMAR:** cualquier nanomaterial cuya representación en la escala no nano está clasificada como carcinogénica, mutagénica, as- mágena o tóxica para la reproducción.
- **Insoluble:** materiales poco o nada soluble y que no se incluyan en las categorías anteriores.
- **Soluble:** nanomateriales solubles no incluidos en las dos prime- ras categorías.

Eliminación y sustitución

Significa la eliminación o sustitución de la sustancia. Hay que plantearse si realmente es necesaria la utilización de nanomateriales o su incorporación en productos. Se debe considerar si el uso del nanomaterial justifica el incremento del riesgo. Además debería buscarse información sobre sustitutos y alternativas posibles.



Medidas preventivas y de control para

Evaluación de la exposición

Los riesgos van asociados a la naturaleza del material (peligros) y las características de la exposición de los/as trabajadores/as y del medio ambiente. Por tanto es necesario identificar y caracterizar la exposición, las rutas de entrada y la magnitud de la misma.

Para caracterizar estas exposiciones deberá recogerse información como la que se describe a continuación:

- Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.
- Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables.
- Posibles rutas de entrada.
- Cantidad de nanomaterial.
- Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray
- Probabilidad de exposición: tareas habituales, fugas o derrames, llenado, mantenimiento.
- Información sobre procesos, usos o preparaciones de la sustancia que resulten en menor exposición.
- Frecuencia de la exposición y duración de la misma.
- Presencia de nanomateriales: monitorización (contadores de partículas condensadas, muestreadores estáticos selectivos de tamaño, microscopía electrónica, impactadores electrostáticos de baja presión).
- Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto)
- Qué medidas de control podrían ser aplicadas para cada una de las áreas, zonas, tareas, etc.
- Residuos, vertidos y emisiones que pueden contener nanopartículas.
- Qué medidas de control pueden ser aplicadas para evitar la exposición ambiental.

nanopartículas y nanomateriales

Debido a la falta de información, y siempre considerando el **principio de precaución**, se debe establecer un programa de monitorización y mediciones de exposición, tomando como referencia muestras tomadas en ausencia de los nanomateriales y/o antes de iniciar la actividad con los mismos, con el fin de obtener información previa a la introducción de los nanomateriales (*NIOSH, Approaches to safe nanotechnology*).

Es importante advertir que no existen técnicas analíticas y de muestreo homologadas, que los aparatos necesarios para realizar la monitorización y mediciones son sofisticados y que, de momento, la mayoría de los servicios de prevención, no disponen de ellos.

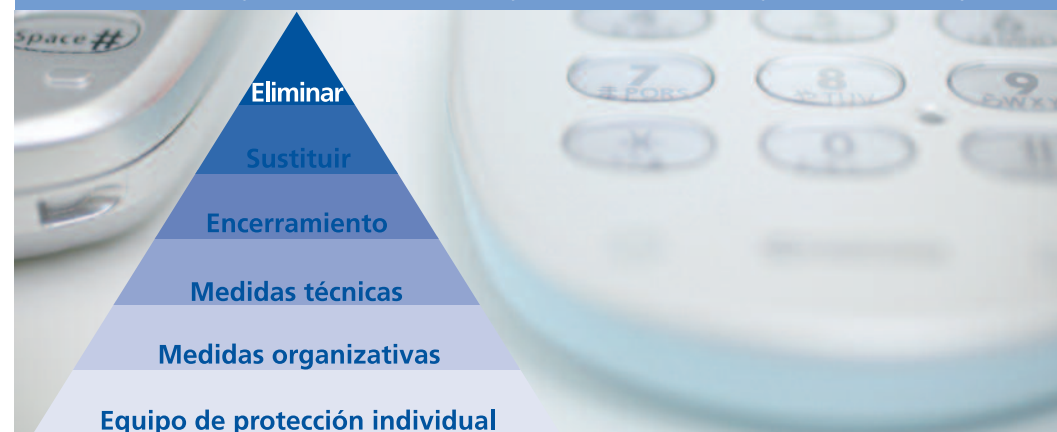
Evaluación y caracterización del riesgo

Los datos sobre la peligrosidad y a la exposición, si son suficientes, pueden permitir realizar una estimación de los riesgos. A partir de ahí, si los riesgos son significativos o podrían llegar a serlo deberán tomarse las medidas y precauciones adecuadas.

Si todos los peligros no pueden controlarse al mismo tiempo, habrá que establecer prioridades en base a los riesgos más serios para la salud, riesgos que pueden ocurrir más rápidamente y riesgos que se pueden solucionar de manera más rápida. La prioridad estará siempre sobre los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Toda la información recogida tendrá que ser revisada y documentada periódicamente, con la aparición de nuevos conocimientos sobre toxicología, medidas de precaución y de control, propiedades intrínsecas de los nanomateriales, caracterización, métrica, monitorización y en general, cualquier información relevante para facilitar el proceso de evaluación y gestión de riesgos.

«Jerarquía de control» en higiene industrial, esquema del concepto



Control de la exposición

La exposición a sustancias peligrosas debe ser evitada siempre que sea posible, preferiblemente, eliminando la sustancia, evitando la exposición o sustituyendo el material por otro que entrañe un menor riesgo. Si esto no es posible, la exposición debería ser controlada aplicando medidas de protección siguiendo un orden prioritario, anteponiendo las medidas colectivas a las individuales.

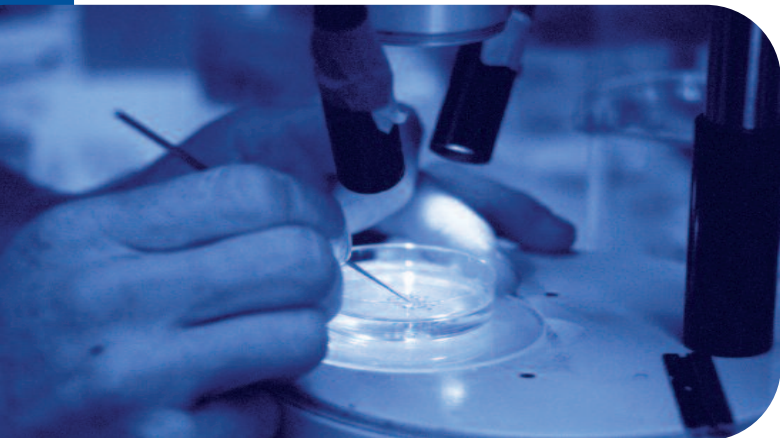
Contención/encerramiento: del proceso o de la persona. Consideraciones de estas medidas de control desde la fase de diseño. Aislamiento y segregación del proceso.

Medidas técnicas: en todos aquellos procesos donde existe la posibilidad de formación de polvo deberían tener sistemas de extracción adecuados (**filtros HEPA de alta eficacia**) dependiendo del tipo de proceso, material, cantidad utilizada y forma de uso. Estos filtros deben ser controlados y mantenidos regularmente para asegurar su adecuado funcionamiento.

Medidas organizativas: reducción del personal expuesto, tiempo de exposición, restricción de acceso a zonas con presencia de nanopartículas, permisos de trabajo, formación e información, instrucciones de trabajo, vigilancia de la salud. Limpieza de ropa y lugar de trabajo frecuente. Los trabajadores/as y sus representantes deben participar en todo el proceso de organización de medidas, diseño del proceso, elección de medidas de control, selección de equipos de protección y desarrollo de la estrategia de gestión de riesgos.

Buenas prácticas de trabajo: Limpiar las áreas de trabajo al final de cada turno mediante aspiradores industriales con filtros HEPA incorporados, utilización de métodos húmedos, no utilizar sistemas de aire comprimido para limpieza, prohibición de beber y comer en el lugar de trabajo, sistemas higiénicos de limpieza personal, etc.

Señalización: sería recomendable señalar todas las zonas de trabajo donde se utilicen nanopartículas y nanomateriales.



Equipos de protección individual

Según un informe del **Proyecto Europeo Integrado en el Sexto Programa Marco (PM6) «Nanosafe»**, publicado en enero de 2008, sobre la eficiencia de determinados materiales y equipos de protección individual, los siguientes materiales y recomendaciones serían los más adecuados para utilizar cuando existe exposición a nanomateriales:

Protección respiratoria:

- P3 y FFP3 (filtros fibrosos, fibra de vidrio, celulosa).
- Realización de Test de estanqueidad de la protección respiratoria: **para cada individuo.**

Protección dérmica (consideraciones a tener en cuenta):

- Idoneidad frente al riesgo y condiciones de trabajo.
- Ergonomía del usuario (individual).
- Idoneidad para el usuario (tamaño).
- Asegurar que no incrementan el riesgo.
- Mantenimiento y eliminación.
- Tejido de polietileno (mejor que algodón y papel).
- Guantes (doble capa): vinilo. No sólo se ha de tener en cuenta el material del que está fabricado sino también el grosor y forma de fabricación (juntas).

Participación, formación e información de los trabajadores/as

Como ya se ha mencionado anteriormente cualquier persona implicada directamente o que podría verse afectada por la utilización de nanomateriales debería estar directamente incluida en las estrategias de gestión de riesgos. Además deberían estar formados/as adecuadamente con el fin de garantizar su seguridad y la de otros. Es necesario informar e implicar a los trabajadores en el proceso de evaluación de riesgos.

Sin la participación competente, informada y activa de los trabajadores, cualquier medida que se identifique necesaria en la evaluación de riesgos es improbable que sea efectiva por completo.

Es por ello que los trabajadores/as deberían tener información sobre:

- Nombres de las sustancias a las que están expuestas y sus peligros.
- Cualquier límite de exposición relevante aunque no estén legalmente establecidos.
- Información que aparece en las FDS, asegurar el correcto entendimiento.
- Informarles sobre los resultados de la evaluación de riesgos y cualquier resultado de muestreos.
- Precauciones que han de tener en cuenta.
- Instrucciones de trabajo.
- Equipos de protección.

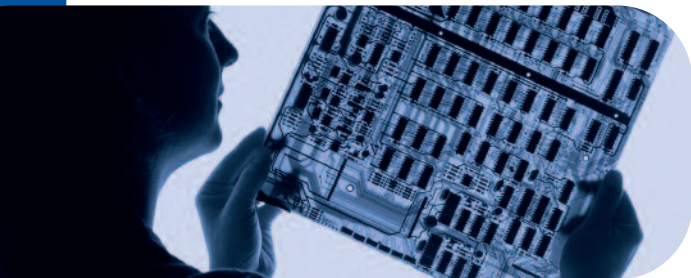
Gestión y almacenamiento de residuos

La falta de conocimiento sobre los posibles efectos que los nanomateriales tienen sobre el medio ambiente es aún mayor que para los efectos sobre la salud humana.

Tampoco se han elaborado normas ni estrategias de gestión de residuos, ni sobre la manera de proceder al respecto. Únicamente se han encontrado algunas pautas que provienen de un [documento elaborado por BSi, PD 6699-2:2007 el cual recoge información del Departamento de energía de los Estados Unidos \(DOE 2007\) y de la agencia de medio ambiente británica \(EA\)](#) que se aplican a residuos que contienen nanomateriales (líquidos y sólidos) y que incluyen:

- Nanomateriales puros.
- Objetos o artículos contaminados con nanomateriales (filtros, equipos de protección como guantes, mascarillas, monos de trabajo desechables, material de laboratorio...).
- Suspensiones líquidas que contengan nanomateriales.
- Matrices sólidas que contienen nanomateriales que son friables o tienen nanoestructuras que se puedan desprender o romper en contacto con el aire o agua o cuando estén sometidos a algún tipo de fuerza mecánica.

Los lugares de trabajo que utilicen nanomateriales deberán desarrollar, por tanto, un plan o programa de gestión de residuos y sobre todo, tomar las medidas oportunas, como si se tratasen de residuos peligrosos. No deben mezclarse con otro tipo de residuos. Y todo equipo utilizado debería ser sometido a procesos de descontaminación antes de ser reutilizado, desechado o reciclado.



Almacenamiento

Pautas para la recogida de residuos que contienen nanomateriales:

- **Almacenamiento en contenedores adecuados:** los residuos deben ir en contenedores estancos o herméticos que no permitan que el nanomaterial pueda ser liberado. Además, deberían ser etiquetados con una descripción del material que contiene y toda la información relevante sobre propiedades y características del mismo., cumpliendo con la normativa de etiquetado de residuos peligrosos. Proponemos la utilización de pictogramas de peligro específicos para este tipo de residuos.
- **Recogida de todos los materiales que hayan estado en contacto con nanopartículas en en bolsas de plástico estancas:** recoger todos los trapos, papeles, mascarillas, ropa de trabajo desechable y otros artículos contaminados con nanomateriales en bolsas que se puedan sellar (todo ello realizado dentro de una campana de extracción) y cuando la bolsa esté llena, introducirla en otra bolsa o contenedor evitando contaminación exterior y etiquetarlo de la misma forma que los contenedores.

Tratamiento

Se desconoce cómo se deberían tratar este tipo de residuos. La única consideración evidente es la de tratarlos como residuos peligrosos. Así por ejemplo, la Agencia británica de Medio Ambiente establece categorías de residuos en función de si son orgánicos o inorgánicos como primera división. Desaconsejamos la incineración de estos residuos, ya que las incineradoras de residuos no son un buen método para gestionar los nanomateriales, ya que las propias incineradoras emiten nanopartículas accidentales y otros compuestos orgánicos persistentes*. En este caso, y con los conocimientos de los que disponemos, además de las medidas preventivas, el confinamiento en vertederos de seguridad podría ser el método de gestión más adecuado.

Se debería informar a los gestores de residuos y de depuradoras de aguas residuales sobre la presencia de nanopartículas o nanomateriales, así como a las autoridades medioambientales y a los trabajadores que manejan residuos.

* Documento publicado por *Health Care Without Harm Europe* donde se incluye información sobre las emisiones de nanopartículas por parte de las incineradoras.



Fuego y explosión

La falta de información sobre la capacidad y violencia explosiva y de ignición de los nanomateriales nos lleva de nuevo al principio de precaución y a la necesidad de más estudios específicos sobre estos riesgos. Las recomendaciones que se manejan a la hora de establecer medidas de precaución son las siguientes:

- Las nubes de polvo serán difíciles de visualizar.
- Diseño de equipo eléctrico protegido para el polvo.
- Reducción de posibles fuentes de ignición.
- Las nanopartículas de metales y óxidos de metales pueden explotar en contacto con el aire, por lo que se deberían disponer de atmósferas inertes o atmósferas controladas en las zonas de manejo y almacenamiento (Hay que tener especial cuidado con este tipo de atmósferas ya que tienen peligro de reducción de oxígeno).
- Utilización de calzado anti-estático para evitar electricidad estática y posible fuente de ignición.

Vigilancia de la salud

En España, no se han desarrollado protocolos específicos sobre la vigilancia de la salud de los trabajadores. No son fáciles de establecer cuando todavía se desconocen todos los efectos que cada uno de estos nanomateriales pueden tener sobre los humanos. Sin embargo, el reconocimiento médico precoz (medicina preventiva) juega un papel muy importante a la hora de determinar posibles cambios fisiológicos, síntomas o alteraciones en la salud de los trabajadores/as. Una manera de enfocarlos sería:

- Considerar la exposición al material fuera de la escala nano, siendo conscientes de que los efectos a escala nano pueden ser diferentes.
- Recoger información sobre el nanomaterial usado y tiempo de exposición para construir un perfil en caso de aparecer síntomas y poder establecer un punto inicial para controlar la salud de los trabajadores/as y detectar posibles cambios sobre la misma.

A modo de guía, el departamento de salud y servicios humanos de NIOSH ha desarrollado una guía para el seguimiento médico de trabajadores potencialmente expuestos a nanopartículas manufacturadas teniendo en cuenta el principio de precaución, desarrollando así una serie de recomendaciones:

- Tomar medidas adecuadas para controlar la exposición de los trabajadores a nanopartículas.
- Utilizar la vigilancia de la salud como una base para implementar medidas de control
- Considerar el establecimiento de unas pautas de vigilancia de la salud que ayuden a evaluar si las medidas de control son efectivas e identificar nuevos problemas (o no conocidos hasta ahora) y efectos sobre la salud.

Trabajadores sensibles

Se debe tener especial cuidado de evitar la exposición de trabajadores sensibles, sobre todo de trabajadoras embarazadas y en período de lactancia a nanopartículas y nanomateriales, por lo que deben estar identificados en la evaluación de riesgos.

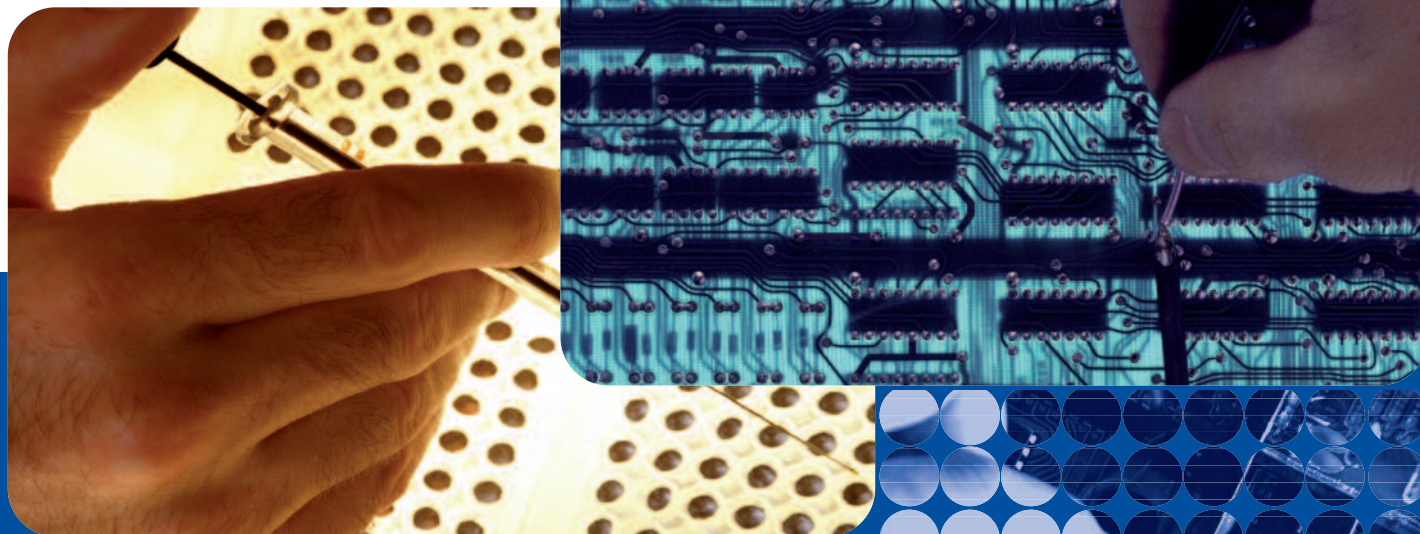
Referencias útiles

- <http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia.htm>
- <http://www.portalciencia.net/nanotecno/>
- <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/>
- <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/>
- <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr274.htm>

También puedes encontrar más información en: www.istas.ccoo.es

- BAuAVCI (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin/Verband der Chemischen Industrie). *Guidance for handling and use of nanomaterials at the workplace*, 2007. http://www.baua.de/nn_49456/en/Topics-from-A-to-Z/Hazardous-Substances/Nanotechnology/pdf/guidance.pdf
- EU (Unión Europea). *Nanosafe: Safe production and use of nanomaterials*. European Integrated Project supported through the Sixth Framework Programme for Research and Technological Development, newsletter 2, Febrero 2008.
- HSE (Health and Safety Executive). RR513. *The assessment of different metrics concentration of nano (Ultrafine) particles in existing and new industries*, 2006. <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr513.pdf>
- ISO (International Standards Organization). *ISO/TC 229 N 230. Nanotechnologies. Business Plan*, 2007.
- NIOSH. *Approaches to Safe Nanotechnology: An information exchange with NIOSH*, 2006. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/>
- U.S DOE (Department of Energy). *Nanoscale Science Research Centers, Approach to nanomaterials ES&H*, 2007. http://www.er.doe.gov/bes/DOE_NSRC_Approach_to_Nanomaterial_ESH.pdf
- US ORC Task Force on Nanotechnology, 2008. <http://www.orc-dc.com/Nano.Guidelines.Matrix.htm>

Medidas preventivas y de control para nanopartículas y nanomateriales



Medidas preventivas y de control
para nanopartículas y
nanomateriales