

**DIRECTRICES DE TRABAJO CON  
NANOMATERIALES**

## ÍNDICE

1. QUÉ SON LOS NANOMATERIALES .....	3
2. EFECTOS SOBRE LA SALUD .....	6
3. EFECTOS SOBRE LA SEGURIDAD .....	8
4. VALORES LÍMITE AMBIENTALES .....	9
5. EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	9
5.1. Identificación de peligros .....	9
5.2. Valoración de los riesgos .....	10
5.3. Actualización y revisión de la evaluación de riesgos .....	11
6. MEDIDAS PREVENTIVAS .....	12
6.1. Prevención en la fase de diseño .....	12
6.2. Medidas Preventivas .....	13
7. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	15
8. VIGILANCIA DE LA SALUD .....	16
9. GESTIÓN DE RESIDUOS .....	17
10. PAUTAS DE TRABAJO .....	18
10.1. Qué hacer en caso de derrame .....	18
10.2. Recomendaciones para el almacenamiento de nanomateriales .....	19
10.3. Pautas de trabajo en el laboratorio.....	19

## 1. QUÉ SON LOS NANOMATERIALES

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.

Por tanto, los nanomateriales difieren en sus propiedades de los mismos materiales a una escala mayor. Debido a tales diferencias, los nanomateriales brindan oportunidades nuevas y apasionantes en ámbitos como la ingeniería, la tecnología de la información y la comunicación, la medicina y los farmacéuticos, por nombrar sólo algunos. Sin embargo, estas mismas características que les confieren sus propiedades singulares, son responsables además de sus efectos en la salud humana y el medio ambiente.

Las principales organizaciones coinciden en su definición de los nanomateriales:

“son materiales que contienen partículas con una o más dimensiones en la nanoescala, es decir: desde aproximadamente un nanómetro a 100 nanómetros. El nanómetro (nm) equivale a una milmillonésima parte de un metro (1 nm = 10<sup>-9</sup> m)”.

Según la Comisión Europea:

“un nanomaterial es un material natural, incidental o fabricado que contiene partículas, en un estado no unido o como agregado o como aglomerado y donde, para 50% o más de las partículas en la distribución de tamaños numéricos, una o más dimensiones externas está en el intervalo de tamaños 1 nm - 100 nm.”

En casos específicos y cuando se justifiquen las preocupaciones por el medio ambiente, la salud, la seguridad o la competitividad, el umbral de distribución del tamaño numérico del 50% puede ser sustituido por un umbral entre el 1 y el 50%”

Además, la recomendación de la Comisión Europea también indica que 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 ser considerados como nanomateriales.

La Comisión Europea recomienda utilizar esta definición de nanomaterial cuando se adopten y apliquen legislación, políticas y programas de investigación sobre productos de nanotecnologías. Los nanomateriales se pueden clasificar en 3 grandes categorías:

- **De origen natural:** existen nanopartículas de origen biológico (virus, bacterias), de origen mineral (polvo de arena) o de origen medioambiental (nieblas y humos derivados de fuegos forestales o actividad volcánica).
- **Generadas por la actividad humana de forma involuntaria,** como subproducto no intencionado de un proceso industrial, por ejemplo los humos de soldadura o los productos de combustión.
- **Generadas por la actividad humana de forma voluntaria:** incluye los nanomateriales manufacturados diseñados intencionadamente con unas propiedades específicas (mecánicas, eléctricas, ópticas, catalíticas, etc.) muy diferentes, en muchos casos, a las que presenta el mismo material a tamaño no nano. Estos nanomateriales manufacturados pueden presentarse en forma de:
  - **Nano-objetos:** son materiales que se caracterizan por tener una, dos o tres dimensiones externas en la nanoescala, o de material nanoestructurado que se caracteriza por tener la estructura interna o la estructura superficial en la nanoescala.

Los nano-objetos se denominan:

- nanoplaca,
- nanofibra
- nanopartícula

Dependiendo de si tienen una, dos o tres dimensiones externas, respectivamente, en la nanoescala. Normalmente, durante el proceso de producción de los nano-objetos, las partículas primarias, que son aquellas que se generan inicialmente en el proceso, tienden a unirse unas con otras para dar lugar a aglomerados o agregados en los que las dimensiones externas pueden alcanzar tamaños superiores a 100 nm. En los aglomerados las partículas están débilmente unidas y la superficie externa resultante es próxima a la suma de las áreas superficiales de los componentes individuales. Por el contrario, en los agregados las partículas están fuertemente enlazadas o fusionadas y la superficie externa resultante puede ser significativamente menor que la suma de las áreas superficiales calculadas de los componentes individuales.

- Materiales nanoestructurados: se caracterizan por tener la estructura interna o la estructura superficial en la nanoescala. Estos materiales pueden presentar una distribución de tamaño de grano en la cual una fracción significativa del material está en la nanoescala, o tener espacios y poros en la nanoescala o precipitados en la nanoescala (normalmente, nano-objetos incorporados en una matriz sólida). También se incluyen en este grupo las superficies que han sido intencionadamente modificadas para tener heterogeneidades morfológicas o químicas en la nanoescala.
- Los nanomateriales nanoestructurados pueden presentarse en forma de:
  - o polvo nanoestructurado,
  - o nanocompuesto,
  - o nanoespuma sólida,
  - o material nanoporoso
  - o nanodispersión fluida.

Algunos de los tipos de nanomateriales manufacturados más comunes, basándose en la clasificación propuesta en el documento de trabajo de la Comisión de la Unión Europea son:

1. **Nanomateriales inorgánicos no metálicos:** principalmente son óxidos de elementos no metálicos.
2. **Metales y aleaciones:** La mayoría de los metales y sus aleaciones pueden producirse en dimensiones nanométricas (por ejemplo, nanohilos, nanopartículas), siendo las de oro, las de plata y las aleaciones de platino y paladio las de mayor producción.
3. **Nanomateriales** con base de carbono:
  - **Fullerenos:** están constituidos únicamente por átomos de carbono y tienen un número par variable de átomos de carbono, que puede oscilar desde 28 hasta más de 100 átomos, adoptando la forma de una esfera hueca. Tienen una estructura de anillos hexagonales de carbono similar al grafito, aunque también tienen anillos pentagonales y heptagonales que son los que permiten que se formen estructuras tridimensionales. La forma más conocida de los fullerenos es la que contiene 60 átomos de carbono, Los fullerenos son materiales químicamente estables e insolubles en disoluciones acuosas.
  - **Grafeno:** es un material con estructura bidimensional que se presenta en forma de nanoplacas. Las nanoplacas son láminas constituidas por una red hexagonal de átomos de carbono dispuestos en un mismo plano, como en el grafito, cuyo espesor es del orden del nanómetro.
  - **Nanotubos de carbono:** poseen estructura cilíndrica y están compuestos por una o más láminas tubulares similares al grafeno, denominándose nanotubos de carbono de pared simple (*SWCNT*) o de pared múltiple (*MWCNT*). El diámetro puede variar entre

aproximadamente 1 nm para los de pared simple hasta más de 100 nm para los de pared múltiple, mientras que la longitud puede sobrepasar algunos centenares de micrómetros. Presentan una gran resistencia a la deformación y al estiramiento.

- **Nanofibras de carbono:** están formadas por láminas de grafeno. Presentan una estructura en forma de copa por lo que algunas propiedades mecánicas y eléctricas serán diferentes a las de los nanotubos de carbono.
  - **Negro de humo:** es prácticamente carbono puro elemental en forma de partículas que se producen por combustión incompleta o descomposición térmica de los hidrocarburos en condiciones controladas. Las partículas primarias del negro de humo son de tamaño inferior a 100 nm, aunque tienden a agruparse dando lugar a aglomerados y agregados de tamaño superior a este valor.
4. **Nanopolímeros:** son materiales poliméricos que pueden presentar una o varias dimensiones en la escala nano.
  5. **Dendrímeros:** son macromoléculas de tamaño nanométrico que se caracterizan por tener una estructura ramificada tridimensional compuesta por un núcleo, unas ramificaciones que forman la matriz dendrítica y la periferia constituida por un gran número de grupos funcionales.
  6. **Puntos cuánticos:** son nanocristales de materiales semiconductores con tamaños de 2 nm a 10 nm. Son semiconductores con propiedades electrónicas, ópticas, magnéticas y catalíticas.
  7. **Nanoarcillas:** son materiales cerámicos de silicatos minerales en forma de láminas. Pueden existir de forma natural o ser sintetizadas para que tengan propiedades específicas.

## 2. EFECTOS SOBRE LA SALUD

Los datos científicos de los efectos sobre la salud y seguridad de los nanomateriales sobre los trabajadores son escasos. Por ello, se ha de considerar si la partícula nanométrica supone un riesgo diferente al de las partículas de la misma composición de tamaño no nano.

Conforme disminuye el tamaño de las partículas, aumenta el área superficial específica y por tanto su reactividad. Debido a este aumento, las partículas de tamaño nanométrico pueden ocasionar en el organismo efectos adversos para la salud diferentes a los ocasionados por las partículas de tamaño no nano a igual composición química, ya que pueden interactuar en el organismo de forma diferente.

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. Por tanto, los riesgos asociados a los nanomateriales van a estar principalmente relacionados con el tamaño de partícula.

Algunas de las propiedades toxicológicas de los nanomateriales, son:

1. **Translocación:** Dada su dimensión nanométrica, los nanomateriales pueden alcanzar partes de los sistemas biológicos que no son normalmente accesibles a partículas más grandes. Esto incluye una mayor posibilidad de atravesar los límites celulares, o de pasar desde los pulmones a la corriente sanguínea y desde aquí a todos los órganos del cuerpo, o incluso a través de su deposición en la nariz, de pasar directamente al cerebro. Este proceso se conoce como translocación y, en general, los nano-objetos pueden translocarse mucho más fácilmente que otras estructuras mayores.
2. **Toxicidad:** los nano-objetos tienen un área superficial mucho mayor que la misma masa de partículas grandes. En la medida en que el área superficial es un factor de toxicidad, esto implica claramente un posible aumento de los efectos tóxicos de las partículas a escala nanométrica.
3. **Biospersistencia:** algunos nano-objetos (por ejemplo, los nanocables), muestran un elevado ratio de aspecto biopersistente, con similar morfología y durabilidad que las fibras de amianto, por lo que es probable que persistan en los pulmones si son inhalados, causando inflamación y en último término enfermedad.
4. **Solubilidad:** la reducción de tamaño en algunos nano-objetos se ha demostrado relacionada con un aumento de la solubilidad. Este efecto podría conducir a un aumento de la biodisponibilidad de materiales que se consideran insolubles o poco solubles en el tamaño de partícula grande.

Los **efectos toxicológicos de los nanomateriales** en el organismo dependen principalmente de:

1. **Factores relacionados con la exposición:** vías de entrada en el organismo, duración y frecuencia de la exposición y concentración ambiental.

Las vías de entrada en el organismo, pueden ser:

- La *vía inhalatoria*: es la principal vía de entrada de los nanomateriales en el organismo, como lo es en general para la gran mayoría de los agentes químicos, y desde el punto de vista de salud laboral, es la más preocupante. Dependiendo de su tamaño, forma y composición química, son capaces de penetrar y depositarse en los diferentes compartimentos del aparato respiratorio.
- La *vía dérmica*: es una posible vía de entrada de los nanomateriales en el organismo. Los factores a considerar son la zona y las condiciones de la piel expuesta así como las propiedades fisicoquímicas del nanomaterial.
- La *vía digestiva* es la vía de entrada menos probable y principalmente está asociada a la falta de medidas higiénicas durante la manipulación de nanomateriales.

2. **Factores relacionados con el trabajador expuesto:** susceptibilidad individual, actividad física en el lugar de trabajo, lugar de depósito y ruta que siguen los nanomateriales una vez que penetran en el organismo.
3. Factores relacionados con los nanomateriales: toxicidad intrínseca del mismo.

La información de la que se dispone sobre los efectos de los nanomateriales para la salud del ser humano es limitada. Los estudios realizados, indican que los efectos más importantes sobre la salud se han observado en los pulmones. El sistema cardiovascular también puede verse afectado. Además, los nanomateriales pueden alcanzar otros órganos y tejidos, como son, el hígado, los riñones, el corazón, el cerebro, el esqueleto y diversos tejidos blandos.

El Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSERI) determinó que existen riesgos comprobados para la salud vinculados a varios nanomateriales manufacturados. Sin embargo, no todos los nanomateriales ejercen necesariamente un efecto tóxico, y conviene adoptar un enfoque de actuación «caso por caso» al respecto.

### 3. EFECTOS SOBRE LA SEGURIDAD

Aunque existe muy poca información respecto a los peligros para la seguridad que pueden entrañar los nanomateriales, se conoce que los riesgos que más preocupan son los de incendio y de explosión.

El tamaño de la partícula o área superficial específica es uno de los factores implicados en la facilidad de ignición y violencia explosiva de una nube de polvo. Debido a su tamaño, pueden **permanecer en el aire** durante **largos periodos de tiempo**, aumentando así la posibilidad de crear nubes de polvo potencialmente explosivas y debido a su **mayor área superficial**, las nanopartículas pueden ser fácilmente **cargadas electrostáticamente**, aumentando así el riesgo de ignición.

Sin embargo, los nanomateriales particulados en forma de polvo pueden plantear riesgos de explosión, mientras que sus correspondientes materiales puede que no. Por regla general, las **cantidades** que se manipulan son **pequeñas**, por lo que el riesgo de explosión se reduce en gran medida.

Ha de considerarse que algunos nanomateriales tienen la potencialidad de causar explosión y, por tanto, requieren condiciones especiales de trabajo (atmósferas inertes).

#### 4. VALORES LÍMITE AMBIENTALES

Los valores límite ambientales (VLA) son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire y representan condiciones a las que se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para la salud. Los VLA establecidos para algunos agentes químicos (por ejemplo: grafito, sílice, dióxido de titanio, ciertos óxidos, etc.) no deberían utilizarse para las formas nano, ya que, aunque se trate de la misma composición química, las características de peligrosidad pueden ser diferentes, tal y como se ha indicado en el punto anterior.

La dificultad para el establecimiento de VLA para nanomateriales radica en su gran heterogeneidad, en el continuo desarrollo de nuevos nanomateriales y, sobre todo, en la falta de información toxicológica adecuada procedente de estudios epidemiológicos y estudios a largo plazo con animales. Además, la comunidad científica todavía no ha llegado a un consenso sobre cuál es la métrica (número de partículas, área superficial, masa de las partículas) que mejor se relaciona con los efectos toxicológicos causados por los nanomateriales.

#### 5. EVALUACIÓN DE RIESGOS

La evaluación de riesgos se realiza para estimar la magnitud de los riesgos de derivados del trabajo, para ello se identifican los peligros y se valoran los riesgos. **El Servei de Prevenció i Medi Ambient de la Universitat de València, realizará la correspondiente evaluación de riesgos.**

##### 5.1. Identificación de peligros

Ante la escasa información que existe en la actualidad, la recogida de información para identificar los peligros se debe centrar en la búsqueda de datos sobre sus características y propiedades físico-químicas. La información se puede obtener de las etiquetas (pictogramas), fichas de datos de seguridad, recomendaciones de la Comisión Europea y otras fuentes como bases de datos o literatura científica.

Puede suceder que en ficha de datos de seguridad no hayan datos de la sustancia en la escala nanométrica o bien que carezca o sea insuficiente la información sobre las características fisicoquímicas. En estos casos, los **investigadores deberían solicitar a los proveedores** la información necesaria y suficiente para permitir al menos una caracterización parcial de los nanomateriales y su perfil de riesgo potencial.

Se recomienda obtener la siguiente información:

- Clasificación de la forma nano,
- Distribución de tamaño en número de partículas,
- Superficie específica,
- Información morfológica (forma y tamaño, especialmente en el caso de fibras y en relación con la aplicabilidad de los criterios de la OMS),
- Modificación en superficie de los nanomateriales,
- Biopersistencia, solubilidad en agua o medios biológicos,
- Datos sobre capacidad de emisión de polvo del producto
- Datos sobre inflamabilidad.

Siempre, en caso de duda o falta de información, se adoptará un enfoque basado en el “principio de precaución”, es decir: los nanomateriales se considerarán peligrosos a no ser que haya información suficiente que demuestre lo contrario.

Si la evaluación de riesgos se realiza teniendo en cuenta exclusivamente los datos de la sustancia en la forma no nano, esta circunstancia deberá quedar claramente reflejada en la evaluación de riesgos.

Por otra parte, la información recogida sobre los peligros potenciales de los nanomateriales debe ser evaluada en términos de cantidad y calidad, pero se admite y es razonable suponer que todos los nanomateriales identificados tienen un peligro potencial igual o mayor que el de las presentaciones no nano. Por tanto, si la forma no nano de una sustancia está clasificada como cancerígeno, mutagénico, tóxico para la reproducción u otra toxicidad significativa, se debe suponer que la forma nano mostrará también estas propiedades a menos que se demuestre lo contrario. Se ha de considerar que, actualmente, las propiedades y características de los nanomateriales no siempre se pueden predecir a partir de la sustancia igual o semejante

## **5.2. Valoración de los riesgos.**

Para la estimación de los riesgos que pueden dañar la salud es necesario conocer la exposición potencial de los trabajadores. La información que se debe recabar para caracterizar esta exposición sería:

- Cuáles son los procesos que pueden conducir a la liberación de partículas nanométricas en el aire o a su deposición sobre las superficies de trabajo. (deben considerarse operaciones como corte, trituración, abrasión u otra liberación mecánica de nanopartículas o materiales que contengan nanopartículas)

- Las tareas en las que se puede dar la exposición
- Las cantidades manipuladas
- Cuál es el estado físico de los nanomateriales en cada etapa del proceso, (polvo, suspensión o líquido, vinculado a otros materiales)
- Quiénes pueden estar expuestos en cada tarea y los factores individuales, (como es su estado de salud y susceptibilidad personal, el sexo, la situación de embarazo y lactancia natural en las trabajadoras)
- Cuáles son las posibles vías de entrada
- Cuál es la frecuencia de la probable exposición
- A qué concentraciones y durante cuánto tiempo están expuestos
- Las medidas de control existentes.

Las situaciones de trabajo con riesgo de exposición van a depender sobretodo de la forma en que se presente el nanomaterial (polvo, disolución,...) y de la tipología de proceso (equipos, variables de proceso, etc.).

En el caso de identificar nanomateriales que puedan presentar riesgo de incendio y explosión, es necesario analizar cada parte de los distintos procesos para poder estimar la posibilidad de que se generen nubes de polvo inflamables así como atmósferas explosivas cuando las nanopartículas se dispersen en el aire. En este caso se designarán las áreas de riesgo y se clasificarán en zonas en función de la frecuencia y duración de la posible atmósfera explosiva.

De todas formas, muchas aplicaciones los nanomateriales se utilizan en cantidades tales que no se alcanzaría la concentración mínima de explosión.

### **5.3. Actualización y revisión de la evaluación de riesgos**

Una vez establecidas las medidas preventivas se comprobarán su adecuación mediante verificaciones periódicas. Las conclusiones obtenidas en la evaluación de riesgos quedarán documentadas y registradas.

Es importante, que **los usuarios informen al *Servei de Prevenció i Medi Ambient* de los cambios** que llevan a cabo, como son, la incorporación de nuevos nanomateriales y de nuevas actividades y procesos, para llevar una adecuada revisión y actualización de la evaluación de riesgos.

## 6. MEDIDAS PREVENTIVAS.

La exposición a nanomateriales puede suponer un riesgo para los trabajadores/as expuestos por lo que se deben tomar las medidas preventivas adecuadas para eliminar o reducir la exposición.

Las medidas preventivas que se han de establecer se adaptarán a cada situación laboral según los nanomateriales empleados y la información disponible relativa a la exposición. Para seleccionar estas medidas de manera adecuada se tendrá que conocer el tipo de proceso, las características de los nanomateriales presentes, las exposiciones potenciales (frecuencia y duración de operaciones), los procedimientos, las características del lugar de trabajo, etc.

Cuando priorizamos la medida preventiva aplicar se debe tener en cuenta la gravedad del daño para la salud, el número de trabajadores que podrían estar expuestos, los riesgos que se pueden materializar en un plazo breve y los riesgos que pueden ser tratados más fácilmente. El establecimiento de las medidas preventivas se realizará conforme a los principios generales de la acción preventiva, eligiendo en primer lugar medidas que combatan el riesgo en el origen, es decir, en la fuente de emisión; posteriormente medidas para evitar la transmisión y dispersión; y, por último, medidas de protección sobre el trabajador.

Una vez establecidas las medidas preventivas se comprobarán su adecuación mediante **verificaciones periódicas por parte del *Servei de Prevenció i Medi Ambient***.

### 6.1. Prevención en la fase de diseño

Esta es la fase inicial en la que es posible evitar y reducir el riesgo incluso antes de iniciarse las actividades donde vayan a emplearse nanomateriales. Es necesario conocer exactamente qué tipo de exposiciones se podrían producir según la actividad para poder incorporar las medidas más adecuadas. Algunas de las medidas que se pueden plantear cuando se diseña el proceso son:

- Limitar las cantidades de nanomaterial
- Disminuir la liberación del nanomaterial: reduciendo los procesos abrasivos, trabajando a presiones más bajas, empleando temperaturas medias,...
- Diseñar procesos cerrados, evitando la carga y descarga manual y el transporte del nanomaterial a lo largo del proceso
- Aislar y automatizar los procesos utilización que puedan suponer liberación de nanomateriales.

## 6.2. Medidas Preventivas

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 la utilización y la generación de nanomateriales no puede eliminarse ni sustituirse por materiales y procesos menos peligrosos, la exposición de los trabajadores se reducirá al mínimo mediante medidas técnicas de control en origen; medidas organizativas y los equipos de protección personal, como último recurso.

En la aplicación de las medidas preventivas, es recomendable seguir una jerarquía de control bien establecida:

1. Eliminación/sustitución: los potenciales riesgos de los nanomateriales pueden eliminarse bien evitando su uso, o reemplazando el nanomaterial por uno menos peligroso, teniendo en cuenta las características y condiciones de uso para asegurarse de que el riesgo se ha reducido. Debe buscarse información sobre sustitutos y alternativas posibles. La guía de la Comisión Europea "Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterial at work" indica que si el material está clasificado como cancerígeno o mutágeno, tanto en la escala nano como en la macro, su eliminación o sustitución debería ser prioritaria.
2. Modificación del proceso: con el fin de minimizar la exposición se pueden realizar cambios en los procedimientos de trabajo, como puede ser reducir la cantidad de nanomaterial en determinadas actividades o sustituir los nanomateriales en forma de polvo por otra forma de presentación en la que el nanomaterial esté en medio líquido o embebido en una matriz sólida.
3. Aislamiento/confinamiento: las operaciones que impliquen una potencial liberación de nanomateriales en el lugar de trabajo se llevarán a cabo en instalaciones independientes o en instalaciones en las que la manipulación se realice desde un área protegida.
4. Medidas técnicas de control: están dirigidas a reducir la emisión del contaminante en la fuente de emisión, creando una barrera física entre el trabajador y el nanomaterial. Entre las medidas técnicas de control se encuentran los sistemas de extracción localizada.

El diseño de la vitrina y el caudal de trabajo serán fundamentales para un correcto funcionamiento. En relación con estos sistemas de control, es importante considerar los siguientes aspectos:

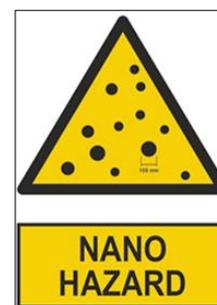
- Utilizar vitrinas que encierren el foco al máximo y situadas lo más cerca posible del mismo.
- Emplear sistemas de recolección por filtración con filtros de alta eficacia HEPA de clase H14 o ULPA.

## DIRECTRICES DE TRABAJO CON NANOMATERIALES

- Los conductos del sistema de extracción tienen que ser resistentes a los nanomateriales manipulados, ya que éstos pueden ser más reactivos que sus pares en la escala no nano, prestando especial atención a las juntas para evitar posibles fugas.
- Emplear alfombras adherentes fuera de las áreas de uso para evitar la dispersión de los nanomateriales.

### 5. Medidas organizativas:

- Reducir al mínimo el número de trabajadores expuestos.
- Reducir el tiempo de exposición.
- Delimitar y señalizar las zonas de trabajo con pictogramas que indiquen la posible presencia de nanomateriales y las medidas de protección a adoptar. *NOTA: A pesar de no existir una señal armonizada para indicar la presencia de nanomateriales, algunas organizaciones europeas han propuesto una señalización de la presencia de nanomateriales en los lugares de trabajo.*
- Minimizar la cantidad de nanomaterial particulado en uso en un momento dado.
- Formar e informar regularmente a los trabajadores expuestos de los riesgos potenciales, así como de las medidas preventivas a adoptar. Además, cada trabajador debe informar al Servei de Prevenció i Medi Ambient de cualquier defecto o deficiencia en las medidas de control.
- Mantener el local de trabajo en correctas condiciones de orden y limpieza. Limpiar regularmente suelos, equipos, herramientas y superficies de trabajo utilizando paños húmedos o aspiradora equipada con filtro “absoluto” de aire de muy alta eficacia grupo H (HEPA) de clase H14 o superior (ULPA). No se debe utilizar aire a presión, escobas, cepillos ni chorros de agua potentes.



### 6. Otras medidas:

En el caso de un nanomaterial que pueda generar un riesgo de incendio y/o explosión, habría que tener en cuenta las disposiciones del Real Decreto 681/2003 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de la formación de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo y las consideraciones descritas en el mismo. Con el fin de reducir el riesgo de incendio y explosión, se deberán adoptar medidas técnicas de protección adecuadas como: disponer de instalaciones eléctricas antiexplosivas y equipos eléctricos protegidos frente al polvo y, en su caso, estancos a vapores; utilizar equipos intrínsecamente seguros; evitar situaciones en las que se pueda generar electricidad estática; evitar las fuentes de ignición; utilizar ropa y en especial calzado antiestático; manipular y

almacenar los nanomateriales en atmósferas controladas, así como medidas encaminadas a atenuar los efectos de una potencial explosión.

## **7. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.**

Los equipos de protección individual (EPI) deben utilizarse como último recurso. Todos los EPI deben tener el marcado CE, y han de utilizarse de conformidad con las instrucciones del fabricante, sin ninguna modificación. La protección efectiva sólo se consigue mediante el EPI apropiado, correctamente ajustado y usado, y mantenido adecuadamente.

Las exigencias mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de EPI por los trabajadores se encuentran recogidas en el Real Decreto 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Esta normativa indica, en su artículo 5.3, que los EPI que se utilicen en el lugar de trabajo deben cumplir con los requisitos legales relativos al diseño y fabricación que les sean de aplicación.

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:

- ✓ Ropa de protección:
  - Bata abrochada que no sea de algodón, sin bolsillos ni pliegues.
- ✓ Protección respiratoria:
  - Máscaras autofiltrantes contra partículas de tipo FFP3 perfectamente ajustadas.
- ✓ Protección dérmica:
  - Los guantes seleccionados deben cumplir los requisitos de la norma EN 374.
  - Se sabe que los guantes de látex, nitrilo, o neopreno son eficaces para la manipulación de nanomateriales. Se recomienda también la utilización de doble guante para conseguir una protección apropiada
  - La eficacia de los guantes para un nanomaterial específico depende de la forma física del nanomaterial presente en el lugar de trabajo (polvo, líquido, etc.); este extremo ha de verificarse y confirmarse con el proveedor de los guantes. El grosor del material de los guantes es un factor esencial para determinar el índice de difusión del nanomaterial.
  - Si se trabaja con otros productos químicos (p.eje. Disolventes), elegir el guante específico para dichos productos.

## DIRECTRICES DE TRABAJO CON NANOMATERIALES

- Se deben aumentar la frecuencia de sustitución, cuando se detecte desgaste por el uso, o la tarea requiera de operaciones manuales continuadas.
- Quitar los guantes siempre de forma aséptica.
- ✓ Protección ocular: La protección ocular a utilizar depende de la tarea que se lleve a cabo y de la forma de presentación de los nanomateriales:

- Cuando se manipulen sólidos o se realicen operaciones que generen polvo, se recomienda el uso de gafas de montura universal para evitar el riesgo de contacto accidental mano-ojo.



- si se manipulan líquidos que contienen nanomateriales (por ejemplo: disoluciones o partículas en suspensión en un líquido), se recomienda el uso de pantallas faciales con protección frente a salpicaduras, para evitar exposiciones frontales a dichos líquidos.



- las pantallas faciales y las gafas de montura universal no protegen adecuadamente cuando hay exposición a nanomateriales en forma de aerosoles. En este caso, es aconsejable el uso de gafas de montura integral junto con la media máscara.



Se deberá prestar especial atención a la compatibilidad de uso simultáneo de protección ocular y respiratoria, con objeto de que la utilización de uno no interfiera en el ajuste del otro, mermando su capacidad de protección.

### 8. VIGILANCIA DE LA SALUD

Se conoce la vigilancia de la salud como una medida preventiva más y contribuye a:

- identificar los problemas de manera individual (detección precoz de efectos sobre la salud, identificación de trabajadores sensibles, adaptación de la tarea al individuo) y colectiva (diagnóstico de situación y detección de nuevos riesgos);
- planificar la acción preventiva estableciendo las prioridades de actuación;
- evaluar las medidas preventivas existentes, ya que la aparición de daños en los trabajadores alertaría sobre la ineficacia de las mismas.

En el caso de los nanomateriales, debido a la incertidumbre actual sobre sus efectos en la salud, es importante aplicar medidas de control con una vigilancia periódica de la salud de los trabajadores expuestos, lo que permitirá detectar de forma precoz cualquier efecto adverso, disfunción o síntomas que estos puedan presentar.

La vigilancia deberá extremarse en el caso de personas especialmente sensibles o de trabajadoras embarazadas y madres lactantes. Además de la vigilancia periódica obligatoria, cuando tenga lugar un incidente por derrame, emisión accidental, etc., es aconsejable la realización de exámenes de salud a las personas potencialmente afectadas.

Los conocimientos actuales son insuficientes para recomendar exámenes médicos específicos para los trabajadores expuestos a nanomateriales, pero aun así, se debe prestar especial atención a los órganos que se conozca o sospeche que pueden verse afectados por los materiales nanométricos a los que los trabajadores están potencialmente expuestos, como pueden ser el sistema respiratorio, los órganos diana o la piel y, en su caso, realizar exámenes complementarios que incluyan pruebas de función pulmonar, renal, hepática o hematopoyética. NIOSH publicó en 2009 una guía provisional, *Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles*, para los exámenes médicos y la vigilancia de riesgos para los trabajadores potencialmente expuestos a nanopartículas manufacturadas.

En cualquier caso, sabiendo que no hay garantía de que las pruebas actuales de detección médica sean las más apropiadas para los trabajadores expuestos a nanomateriales, siempre que existan protocolos para las mismas sustancias de tamaño no nano se recomienda seguir las pautas establecidas en dichos protocolos de vigilancia de la salud.

Se ha de considerar que para que un conocimiento integral de los nanomateriales permita avanzar hacia un trabajo seguro es importante recordar que el reconocimiento médico debe ser una parte de un programa completo de gestión de la prevención en la empresa. Asimismo, es recomendable, de cara a facilitar futuros estudios epidemiológicos, establecer un registro de exposición de todos los trabajadores que trabajan con nanomateriales, indicando el tipo o tipos de nanomateriales y la fase del proceso en la que pueden estar expuestos.

## **9. GESTIÓN 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. No se han elaborado normas ni estrategias de gestión de residuos, ni sobre la manera de proceder al respecto.

Se ha de llevar a cabo una gestión adecuada de los residuos generados en las actividades que implican el uso de nanomateriales. No deben mezclarse con otro tipo de residuos. En este sentido, se deben gestionar como peligrosos los restos de nanomateriales puros, las suspensiones líquidas o las matrices con nanomateriales, los objetos o envases contaminados, los filtros de ventilación, las bolsas de la aspiradora, los equipos desechables de protección

respiratoria y de la piel, etc., a menos que se tenga absoluta certeza de que no presentan peligros potenciales.

Para ello se procederá a:

- Clasificarlos según compatibilidad para poder segregarlos. Se gestionarán como *grupo 13: Altament perillosos*. Debe acompañarse de su Ficha de Datos de Seguridad o, en su defecto, de la información disponible. [Más información](#).
- Situar contenedores para los residuos lo más cerca posible de la zona donde se generan.
- los residuos deben ir en contenedores estancos o herméticos que no permitan que el nanomaterial pueda ser liberado. Además, deben ser etiquetados con una descripción del material que contiene y toda la información relevante sobre propiedades y características del mismo.
- Almacenarlos en locales bien ventilados evitando fuentes de calor, ignición y productos inflamables.
- Recoger los materiales que hayan estado en contacto con nanopartículas 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.
- Gestionar la retirada y el transporte por un gestor autorizado. Para la elaboración del procedimiento interno de gestión de residuos se tomarán en consideración las indicaciones aportadas por el gestor contratado.
- Acordar con el gestor la retirada de los residuos del almacenamiento provisional con una periodicidad no superior a seis meses.

## 10. PAUTAS DE TRABAJO

### 10.1. Qué hacer en caso de derrame

El control de derrames debe basarse en las buenas prácticas de trabajo junto con la reducción del riesgo de exposición y valorando la importancia de las diferentes rutas de entrada en el organismo.

En caso de una liberación accidental por un derrame de polvo, todas las personas deben ser evacuadas y la zona del derrame estará restringida hasta que se haya procedido a su limpieza por personal formado y protegido con los EPI adecuados: gafas de seguridad, mascarilla de partículas P3 y FFP3, guantes y bata abrochada.

Las pautas a seguir son:

- Utilizar un aspirador equipado con filtro HEPA.
- Humedecer el polvo.
- Emplear bayetas humedecidas
- Utilizar adsorbentes si el derrame es de un líquido.
- Gestionar el material generado en la recogida del derrame como un residuo. (Grupo 13)
- Evaluar la necesidad de la utilización de EPI. La exposición por inhalación y dérmica será probablemente el mayor riesgo.

## 10.2. Recomendaciones para el almacenamiento de nanomateriales

En el almacenamiento de nanomateriales se han de tener en cuenta las siguientes sugerencias:

- Tanto si están en disolución como en forma de polvo se almacenarán los productos en contenedores, preferiblemente rígidos, impermeables, cerrados y etiquetados.
- En la etiqueta se indicará la presencia de nanomateriales y los peligros potencialmente asociados.
- El almacenamiento debe realizarse en locales frescos, bien ventilados y lejos de fuentes de calor, ignición o productos inflamables.

## 10.3. Pautas de trabajo en el laboratorio

Algunas normas de trabajo como las que se detallan a continuación pueden ayudar a minimizar la exposición a nanomateriales:

- Orden y limpieza
- Buenas prácticas de laboratorio.
- No guardar o consumir comida y bebidas en el puesto de trabajo, siguiendo unas estrictas medidas de higiene personal.
- Separar las zonas de trabajo.
- Restringir la entrada al área de trabajo sólo a personal autorizado,
- Señalizar
- guardar la ropa de calle y de trabajo separadamente en taquillas o vestuarios;
- garantizar la limpieza de la ropa de trabajo.
- Quitarse la ropa de protección o batas para acceder a otras áreas de trabajo como administración, cafetería, sala de relax, etc.
- Reducir el tiempo de exposición
- Emplear los EPI's establecidos.

## DIRECTRICES DE TRABAJO CON NANOMATERIALES

- Lavarse las manos después de quitarse los guantes y antes de salir del laboratorio.
- El personal deberá evitar tocarse la cara u otras partes del cuerpo expuestas con los dedos contaminados. El uso de EPI, como máscaras, puede ayudar a evitar el potencial de transferencia de los nanomateriales. La exposición por ingestión puede ser consecuencia del contacto entre mano y boca por tanto todas las estrategias para reducir la exposición dérmica también reducirán la exposición por ingestión.
- Recomendar el trabajo siempre en forma de suspensión líquida, en gel, en forma de agregados, aglomerados o en pastillas.
- Limpiar regularmente las zonas de trabajo y como mínimo al final de la jornada laboral, tanto el suelo como las superficies de trabajo con medios húmedos (bayeta húmeda) o con aspiración de alta eficacia. Evitar aire comprimido cepillos, escoba...
- Si no es posible conseguir un cerramiento completo para el área de trabajo se pueden emplear sistemas de extracción localizados, habilitando recintos o cabinas de presión negativa equipadas con ventilación de extracción localizada. Como última alternativa se sugiere utilizar durante estas manipulaciones vitrinas de gases o dispositivos de flujo laminar.