

## **Comisión Sectorial CRUE Sostenibilidad**

### **Grupo de Trabajo de Prevención de Riesgos Laborales**

---

#### **NOTA DIVULGATIVA TÉCNICO-PREVENTIVA SOBRE NANOMATERIALES**

Redactada por	Verificada por	Aprobada por
Proyecto Nanomateriales	Comisión Sectorial CRUE Sostenibilidad	Plenario de la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas
Fecha 25-09-2023	Fecha 27-10-2023	Fecha

## Proyecto de Nanomateriales

### Coordinación:



Ciro Luis Salcines Suárez

### Colaboraciones (por orden alfabético):



Pablo García Castell

Julián Gómez González



Raquel Garrido Font



Ana Belén Muñoz Aguado



Juan Oreiro Formoso

María Ángeles Tallón Nieto



Juan Pérez Crespo



Manuel del Pino Santiago



## Sumario

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. ¿QUÉ SON LOS NMs? .....	4
3. DÓNDE SE PUEDEN DAR LAS EXPOSICIONES LABORALES A NMs.....	5
4. RIESGOS RELACIONADOS CON LOS NMs.....	5
4.1. Riesgos para la salud.....	6
4.2. Factores que influyen en los efectos toxicológicos de los NMs.....	6
4.3. Vías de entrada al organismo .....	7
4.4. Riesgos para la seguridad .....	7
5. VALORES LÍMITE AMBIENTALES.....	7
6. EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	8
7. MÉTODOS CUALITATIVOS DE EVALUACIÓN.....	9
7.1. Método CB NANOTOOL 2.0.....	10
7.2. Stoffenmanager nano.....	10
7.3. Guía de la Comisión Europea.....	10
8. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LA EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN.....	10
8.1. Mediciones con equipos de lectura directa.....	10
Equipos portátiles .....	11
8.2. Mediciones indirectas (toma de muestra y análisis) .....	11
Caracterización física y química de NMs .....	11
9. MEDIDAS PREVENTIVAS.....	11
10. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.....	13
10.1. Equipos de protección respiratoria.....	13
10.2. Protección ocular.....	13
10.3. Ropa de protección.....	14
10.4. Guantes de protección.....	14
11. MODELO DE COMUNICACIÓN SOBRE NMs .....	15
12. CARTEL NMs.....	16
13. REFERENCIAS, ESTILO “IEEE” .....	17

## 1. INTRODUCCIÓN.

La nanotecnología es para muchos la nueva revolución tecnológica, y como tal está presente en nuestros centros de investigación y enseñanza desde hace unos años. En especial, en aquellos relacionados con los ámbitos de las ciencias experimentales, tecnológicas y de la salud.

La síntesis y utilización de nanomateriales (NM/NMs) en nuestras Universidades supone un reto para nuestras organizaciones y, en especial, para los Servicios de Prevención. Como toda nueva condición de trabajo tiene que ser adecuadamente analizada desde la perspectiva del posible riesgo que su presencia o utilización pueda suponer tanto para las personas trabajadoras como para el estudiantado expuesto.

El documento que presentamos se elabora, por tanto, en el marco de la responsabilidad que la Universidad tiene respecto a su personal trabajador. Pero también como entidad socialmente responsable y comprometida con los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y más concretamente en su objetivo número 3 “Salud y Bienestar” promoviendo así una investigación y docencia responsables [1], [2].

Con la redacción de la presente instrucción técnica pretendemos:

- Facilitar en un solo documento, de manera resumida, la principal información existente sobre los riesgos derivados de la generación y utilización de NMs.
- Facilitar un registro con las principales variables que deben tenerse en cuenta para objetivar y analizar el riesgo, como la Nanoficha elaborada por este Grupo de Trabajo [3], y, especialmente en todo lo referente a las pautas de trabajo y medidas de prevención.
- Crear y mantener una base de datos derivada de la utilización de la Nanoficha por parte de las diferentes Universidades.

## 2. ¿QUÉ SON LOS NMs?

Según la recomendación de la Comisión Europea [4], [5], por NM se entiende un material natural, accidental o manufacturado consistente en partículas sólidas (se excluyen líquidos y gases) que están presentes en forma aislada o formando agregados o aglomerados, y donde el 50% o más de estas partículas cumplen las siguientes condiciones:

- Una o más de las dimensiones externas de la partícula están en el rango 1 a 100 nm;
- La partícula tiene forma elongada, donde dos dimensiones externas son menores de 1 nm y la otra es mayor a 100 nm;
- Las partículas tienen forma de disco, donde una dimensión externa es menor a 1 nm y las otras son mayores de 100 nm.

Un nanómetro (nm), es la milmillonésima parte de un metro o en notación científica  $10^{-9}$  m.

La enorme variedad de los NMs atendiendo a su tamaño, origen (natural, incidental o manufacturados), morfología (nanofibras, nanoplacas, fullerenos, ...), composición (orgánicos, puntos cuánticos, metálicos, con base de carbono, ...), carga superficial, funcionalización o solubilidad, hace muy complejo restringirlos a una sola clasificación. Debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas, la respuesta biológica y medioambiental debe ser tenida en cuenta para valorar su toxicidad. Todo ello suele derivar en que, con frecuencia, se caractericen y estudien de modo individual.

El gran interés suscitado con estos materiales deriva de las nuevas propiedades y funciones que aparecen en los mismos cuando se utilizan en la escala nanométrica. Cambios en relación a las características eléctricas, mecánicas, magnéticas, ópticas o químicas, que abren multitud de nuevas

y mejoradas aplicaciones (materiales más resistentes y ligeros, superconductores, sustancias más solubles o con mayor capacidad de catálisis, medicamentos más eficaces, etc.).

Prestaremos especial atención en este documento en aquellos NMs que se utilizan con más frecuencia en nuestros centros, independientemente de si se han sintetizado o se han adquirido de manera comercial.

### 3. DÓNDE SE PUEDEN DAR LAS EXPOSICIONES LABORALES A NMs.

La exposición laboral se puede dar en cada una de las etapas del ciclo de vida del NM:

- Fase de síntesis o fabricación:
  - En métodos en fase gaseosa, en operaciones de recuperación del material y limpieza del reactor o por fuga en el reactor.
  - En métodos en fase líquida o coloidal, por la formación de aerosoles.
  - En operaciones de caracterización, purificación o modificación por adición de recubrimiento superficial, en la manipulación del material en forma de polvo, en la pesada o en el vertido.
  - En operaciones de envasado, en la pesada, la mezcla, el tamizado o el envasado del producto.
- En la incorporación del NM al producto intermedio o final. Por manipulación de NM en forma de polvo, en la carga de ingredientes en las tolvas y en operaciones de pesada, mezcla, molienda, tamizado o vertido.
- En la utilización profesional de productos que contienen NMs por liberación de partículas de tamaño nanométrico, incluyendo procesos mecánicos y térmicos.
- En el proceso de eliminación de residuos, en aquellas actividades que supongan generación de polvo procedente de los residuos o en la gestión como residuo peligroso.
- Las operaciones de mantenimiento deben ser consideradas como el punto más crítico. Pueden darse exposiciones procedentes de los productos que utilizan, de los equipos e instalaciones a mantener, de los depositados en las superficies de trabajo y de las operaciones inherentes al propio mantenimiento (limpieza, corte, pulido, rascado, etc.).

### 4. RIESGOS RELACIONADOS CON LOS NMs.

A pesar de que los datos científicos de cualquier nuevo material sobre los efectos en la salud y seguridad son escasos, y de la ausencia de información detallada en las fichas de datos de seguridad de los NMs, hay que tener presente que el Real Decreto 371/2001, sobre agentes químicos [6] recoge en el artículo 3 apartado 8: “En el caso de una nueva actividad en la que se utilicen agentes químicos peligrosos, el trabajo deberá iniciarse únicamente cuando se haya efectuado una evaluación del riesgo de dicha actividad y se hayan adoptado las medidas preventivas correspondientes”.

La Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo del INSST [7] lo acompaña con el siguiente contenido:

- La definición de “actividad con agentes químicos peligrosos” se encuentra recogida en el artículo 2 del Real Decreto 374/2001.
- Ante la imposibilidad de realizar mediciones ambientales antes del inicio de la actividad (puesto que ésta todavía no se está llevando a cabo), la evaluación del riesgo de dicha actividad podrá

hacerse por similitud a otras actividades cuyos riesgos hayan sido directamente evaluados; es decir, la exposición a una determinada sustancia puede estimarse conociendo la exposición que producen otras sustancias de similar volatilidad o igual estado físico (polvo, gas, etc.) en las mismas condiciones de uso.

- A la hora de diseñar un puesto de trabajo, los métodos cualitativos y los modelos matemáticos de estimación de la exposición permiten estimar la exposición y ver qué efecto tendría la aplicación de diferentes medidas de prevención sobre la misma, siendo esto de mucha utilidad a la hora de elegir cuáles serían las mejores medidas a aplicar, sin perjuicio de que siempre deberán considerarse las precauciones para la manipulación de los productos indicadas en las correspondientes fichas de datos de seguridad.

En la actualidad, las fichas de datos de seguridad habitualmente no incluyen información detallada de la versión nanométrica de los productos químicos. El Observatorio de NMs de la Unión Europea [8] dispone de documentación actualizada en abierto y gratuito. Como herramienta de trabajo alternativa o complementaria, disponemos de la Nanoficha de CRUE [3] que propone una recogida de información básica para caracterizar la exposición.

Es una fuente de información que habitualmente se encuentra ausente en las fichas de datos de seguridad.

Como herramienta de trabajo, la información que se debería recabar para caracterizar la exposición sería, al menos, la que se solicita en la Nanoficha [3].

#### **4.1. Riesgos para la salud.**

No se conocen con certeza los efectos que pueden tener para la salud de los seres vivos. Dada la incertidumbre existente, la Agencia Europea de Seguridad y Salud en el Trabajo recogió que los NMs manufacturados entrañan mayores riesgos para la salud que el mismo material en tamaño micrométrico [9].

Según establece la Guía de la Comisión Europea para la protección de la seguridad y salud de los trabajadores de los riesgos potenciales relacionados con los NMs en el trabajo [10], éstos deben manejarse aplicando el principio de precaución. Para la estimación de los riesgos para la salud es clave un conocimiento detallado de la exposición potencial de los trabajadores para que se tenga en cuenta durante la evaluación de riesgos y en la coordinación con Vigilancia de la Salud. En este sentido el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) propone un protocolo de actuación frente a nanotubo y nanofibras de carbono [11].

#### **4.2. Factores que influyen en los efectos toxicológicos de los NMs.**

La Exposición: vías de entrada, duración, frecuencia de exposición y concentración ambiental.

La persona trabajadora: susceptibilidad, actividad física en el trabajo, lugar de depósito y ruta de entrada al organismo.

Las características intrínsecas de los NMs: composición química, solubilidad en fluido biológico (las partículas insolubles o poco solubles son de especial interés. Tamaño y área superficial (incrementándose significativamente cuanto más pequeñas son), que conlleva una mayor reactividad, forma (mayor toxicidad forma tubular o fibra), estructura cristalina y estado de aglomeración (varía el lugar de depósito en el sistema respiratorio).

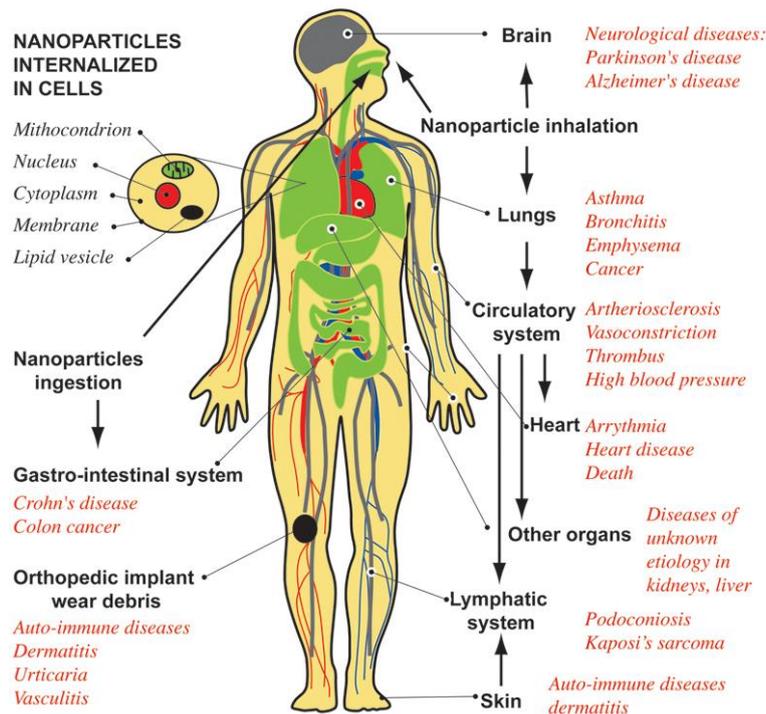


Ilustración 1. Diseases associates to nanoparticles exposure. Fuente: Buzea C, Pacheco II, Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*. 2007 Dec;2(4):MR17-71. doi: 10.1116/1.2815690. PMID: 20419892.

#### 4.3. Vías de entrada al organismo

La principal vía es la inhalatoria, pudiendo depositarse en diferentes regiones del tracto respiratorio. La deposición depende principalmente del tamaño, y nunca es uniforme.

La vía dérmica, dependiendo de las propiedades fisicoquímicas del NM y la forma, con mayor penetración de las esferas que las elípticas.

La vía digestiva como menos probable, y asociada a falta de medidas higiénicas.

La vía parenteral, por una herida en la piel, llaga, corte o inyecciones accidentales.

#### 4.4. Riesgos para la seguridad

A pesar de la poca información con la que se cuenta, determinadas características físicas de los NMs, como es el área superficial, hacen que se produzca un aumento de la reactividad de los materiales, que incrementan significativamente la posibilidad de la aparición de incendios y explosiones, relacionados con las condiciones de trabajo y el almacenamiento de los NMs.

Para valorar la posibilidad de aparición de estos riesgos, se recomienda tomar como punto de partida la información del tamaño micrométrico de la partícula.

### 5. VALORES LÍMITE AMBIENTALES.

En la actualidad en España no hay límites de exposición profesional aplicables a los NMs. Los valores límite ambiental existentes para determinados agentes químicos no deben utilizarse sin comprobar previamente que para la forma nanométrica presentan el mismo efecto y mecanismo biológico que la forma micrométrica, ya que, la peligrosidad pudiera ser diferente.

Mientras no se establezcan valores límite de obligado cumplimiento, distintas organizaciones de reconocido prestigio presentan como alternativa unos límites de exposición recomendados para llevar a cabo evaluaciones de riesgo de exposición por inhalación de NMs. A continuación, se presentan algunos de estos límites recomendados.

NM	ENTIDAD	MASA	CONCENTRACIÓN
CNT / CNF	NIOSH <sup>1</sup>	1 µg/m <sup>3</sup> 8h día/40 semana	--
Fino TiO <sub>2</sub>		2,4 mg/m <sup>3</sup> 10h día/40 semana	--
Ultrafino TiO <sub>2</sub>		0,3 mg/m <sup>3</sup> 10h día/40 semana	--
Plata		0,9 mg/m <sup>3</sup> 8h día/40 semana	
Nanofibras	BSI <sup>2</sup>	0,01 fibras/cm <sup>3</sup>	--
NMs clasificados (CMAR)		0,1 x VLA material padre	--
NMs insolubles		0,066 x VLA	20.000 partículas/cm <sup>3</sup>
NMs solubles		0,5 x VLA	--
NM granulado con densidad >6000kg m <sup>-3</sup>	IFA <sup>3</sup>	--	20.000 partículas/cm <sup>3</sup>
NM granulado con densidad <6000kg m <sup>-3</sup>		--	40.000 partículas/cm <sup>3</sup>
NM granulado		0,1 mg/m <sup>3</sup> . Concentración de NPs ≠ en función de densidad y tamaño para 0,1 mg/m <sup>3</sup>	
Nanotubos de carbono			0,01 fibras/cm <sup>3</sup>
Nanofibras rígidas, biopersistentes con efectos similares al amianto no excluidas	SER <sup>4</sup>	0,01 fibras/cm <sup>3</sup>	--
NMs granulados biopersistentes entre 1-100 nm y >6000kg m <sup>-3</sup>		--	20.000 partículas/cm <sup>3</sup>
NMs granulados biopersistentes entre 1-100 nm y <6000kg m <sup>-3</sup>		--	40.000 partículas/cm <sup>3</sup>
NMs granulados no biopersistentes entre 1-100 nm		--	VLA aplicable
<sup>1</sup> National Institute for Occupational Safety and Health. EE.UU. <sup>2</sup> British Standard Institution. Gran Bretaña. <sup>3</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Alemania. <sup>4</sup> Social and Economic Council of the Netherlands. Países Bajos.			

Tabla 1. Límites de exposición recomendados en distintos países a través de sus instituciones de referencia.

## 6. EVALUACIÓN DE RIESGOS.

El planteamiento para abordar la evaluación de riesgos en la manipulación de NMs sería el utilizado habitualmente para los agentes químicos siguiendo los criterios y recomendaciones de la Guía de Agentes Químicos del INSST [7].

Hay lagunas en la información necesaria para la evaluación de riesgos, por lo que es esencial recoger la máxima información posible sobre los materiales, los procesos y los trabajadores potencialmente expuestos, documentarla y conservarla durante el mayor tiempo posible y, como mínimo, lo requerido por la legislación aplicable. Para recoger esta información se propone la cumplimentación del documento conocido como Nanoficha [3], desarrollado para este fin, centrándose en la búsqueda de datos sobre las características y propiedades fisicoquímicas.

Las actuaciones deberán ir encaminadas, por tanto, a prevenir la exposición y, si no es posible, a reducirla al nivel más bajo técnicamente posible, y a controlarla mediante la aplicación de medidas de protección en el marco de la legislación laboral y con las orientaciones que puedan proporcionar organizaciones de reconocido prestigio.

En caso de duda o falta de información, para poder llevar a cabo la evaluación de riesgos, se adoptará un enfoque razonable basado en el Principio de Precaución [12], es decir: los NMs 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 macro, esta circunstancia deberá quedar claramente reflejada en la evaluación de riesgos.** Por otra parte, la información recogida sobre los peligros potenciales de los NMs debe ser evaluada en términos de cantidad y calidad, pero se admite, y es razonable suponer, que todos los NMs identificados tienen un peligro potencial igual o mayor que el de las presentaciones a granel [9]. Así, si la forma macro de una sustancia está clasificada como carcinógeno, mutágeno, tóxico para la reproducción, sensibilizante o con otra toxicidad significativa, se debe suponer que la forma de rango nanométrico mostrará también estas propiedades a menos que se demuestre lo contrario.

Las situaciones de trabajo con riesgo de exposición van a depender en gran medida del formato de presentación del NM (polvo, disolución, matriz) y de la tipología de proceso (equipos, variables de proceso, etc.).

La metodología de evaluación a utilizar, que dependerá de los datos recogidos y de los medios disponibles, podrá ser cualitativa o cuantitativa, y preferentemente una combinación de ambas. Para llevarla a cabo existen herramientas que pueden ser genéricas o más específicas, por actividad y riesgo. **Siempre que sea posible es conveniente evaluar de forma cuantitativa la naturaleza, magnitud y probabilidad de los riesgos identificados.**

En el caso de haber identificado la presencia de NMs que pueden presentar riesgo de incendio y explosión, es necesario analizar los 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 su caso, se designarán las áreas de riesgo y se clasificarán en zonas en función de la frecuencia y duración de la posible atmósfera explosiva. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que en muchas aplicaciones (sobre todo en tareas de investigación) los NMs se utilizan en cantidades tales que (dependiendo del proceso) no se alcanzaría la concentración mínima de explosión.

Para priorizar la actuación preventiva se debería tener en cuenta la gravedad del daño para la salud, el número de personas que podría estar expuesto, los riesgos que se pueden materializar en un plazo breve y los riesgos que pueden ser tratados más fácilmente.

**Una vez implementadas las medidas de control se debe comprobar su adecuación mediante verificaciones periódicas. Las conclusiones de la evaluación deben quedar documentadas y registradas.** También es importante que se archive toda la información recogida para poder utilizarla posteriormente, cuando se disponga de más datos.

Debido a que actualmente se están desarrollando muchos estudios sobre los NMs, es aconsejable que se planifiquen revisiones de la evaluación de riesgos a medida que se disponga de más información sobre los aspectos de seguridad y salud relacionados con los NMs (riesgos para la salud y la seguridad, metodologías de evaluación, medidas preventivas, etc.) con la frecuencia que sea necesaria [8], [13].

## 7. MÉTODOS CUALITATIVOS DE EVALUACIÓN.

Según la Guía de Agentes Químicos del INSST [7], los métodos cualitativos o métodos simplificados de evaluación no están concebidos como una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición a agentes químicos, sino como una herramienta adicional para el proceso de evaluación. Estos métodos se pueden emplear para realizar una primera aproximación o diagnóstico sobre la situación higiénica derivada de la presencia de agentes químicos y sobre las medidas preventivas

necesarias en cada caso. Teniendo en cuenta la citada guía, la aplicación de métodos cualitativos resulta también de interés para aquellos agentes químicos que no tienen establecido un valor límite ambiental con el que realizar la evaluación cuantitativa de la exposición.

Así, en el caso de los NMs, además de la ausencia de valores límite, tampoco se dispone aún de equipos sencillos para el muestreo personal, por lo que para valorar la exposición puede ser de utilidad la utilización de métodos cualitativos mientras se avanza en el conocimiento de las exposiciones laborales, siendo prioritaria la contrastación con métodos cuantitativos [12].

En general, los métodos cualitativos de evaluación parten de la recopilación de datos tanto de las características fisicoquímicas del NM como de las características de la exposición, estableciendo así bandas de peligro y de exposición que ayudarán a establecer un nivel de riesgo potencial. En algunos casos, el nivel o banda de riesgo resultante puede llevar asociadas unas medidas de control y, en otros, el nivel de riesgo potencial servirá para establecer la prioridad en la acción preventiva.

A continuación, se describen, en general, los principales métodos cualitativos de evaluación que pueden ayudar al profesional en la toma de decisiones sobre la evaluación y prevención de los riesgos por exposición a NMs, facilitando su gestión. En la selección de un método, es importante considerar las diferencias que presentan ya que pueden afectar a la consistencia de los resultados obtenidos. Las diferencias se encuentran en su estructura, su campo de aplicación y en la asignación de las bandas de peligro y de exposición.

#### **7.1. Método CB NANOTOOL 2.0.**

Su concepto se basa en gestionar las exposiciones potenciales a NMs a través de la aplicación de cuatro modalidades de control (ventilación general, extracción localizada, confinamiento y asesoramiento externo de un experto). La premisa es que, a pesar de la gran cantidad de productos químicos peligrosos, solamente hay un número limitado de medidas de prevención disponible [14].

#### **7.2. Stoffenmanager nano.**

El modelo se basa en los niveles de exposición por tareas [14]. Toma como base las propiedades fisicoquímicas y la información sobre las propiedades peligrosas existentes, de tal forma que establece una prioridad sobre los riesgos asociados al manejo de NMs. Es decir, no incluye las medidas correctoras asociadas al riesgo detectado, pero sí aporta una jerarquización de los riesgos existentes en las tareas evaluadas.

#### **7.3. Guía de la Comisión Europea.**

Recoge una amplia descripción de la acción preventivas y proporciona una herramienta para cumplir con los aspectos específicos de la prevención de los trabajadores, tales como la evaluación y la gestión del riesgo [10]. Esta guía se desglosa en siete pasos; identificación, evaluación del riesgo, evaluación de la exposición, clasificación del riesgo (cualitativa), evaluación del riesgo detallada (cuantitativa), gestión del riesgo y revisión.

### **8. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LA EXPOSICIÓN POR INHALACIÓN.**

#### **8.1. Mediciones con equipos de lectura directa.**

Los equipos de medida de lectura directa proporcionan datos en el momento de la medida que permiten el estudio a tiempo real. Según el modelo utilizado, proporcionan datos agrupados en un rango establecido o por canales, permitiendo en ocasiones conocer la concentración de partículas nanométricas, submicrométricas y micrométricas en la misma medición.

En general, los equipos empleados en las mediciones de NMs proporcionan una medida del número de partículas, diámetro medio o área, independientemente de la naturaleza del material y, por tanto, no pueden diferenciar las partículas nanométricas manufacturadas objeto del estudio de una posible contaminación.

### Equipos portátiles

Estos equipos pueden ser útiles para localizar las fuentes de emisión de partículas nanométricas, determinar los niveles de concentración en alguno de los parámetros de interés, así como para comprobar la eficacia de las medidas preventivas adoptadas.

Permiten medir en la zona de respiración. Suelen proporcionar datos agrupados en un rango establecido que habitualmente se encuentra entre 20 nm y 1.000 nm.

### Equipos de mesa

En el mercado también existen equipos de mayor complejidad de uso, tamaño y peso, y de coste más elevado que los equipos anteriores. Estos equipos habitualmente se utilizan en trabajos de investigación y permiten una caracterización más exhaustiva de las exposiciones a NMs.

Operativos para mediciones ambientales en el entorno del trabajo, proporcionan información por canales dentro de un rango establecido que suele oscilar entre 300 nm y 10.000 nm.

## 8.2. Mediciones indirectas (toma de muestra y análisis)

### Caracterización física y química de NMs

Utilizando unos equipos llamados impactadores [13], se permite seleccionar el rango de tamaño y recoger muestras de distintos tamaños en una sola medición para su análisis posterior.

La caracterización se puede llevar a cabo mediante técnicas de microscopía electrónica de alta resolución, como son la microscopía electrónica de transmisión (TEM, *Transmission electron microscopy*), la de barrido (SEM, *Scanning electron microscopy*), o con espectroscopía Raman.

La microscopía electrónica de alta resolución permite el estudio morfológico. Cuando se combinan sus resultados con los de espectrometría de rayos X de energía dispersiva (EDX), se consigue información sobre la composición elemental de los NMs analizados. Con espectroscopía Raman se consigue mayor detalle en la composición química y el estudio de la estructura cristalina, permitiendo distinguirlos mejor de posibles contaminaciones de la muestra.

## 9. MEDIDAS PREVENTIVAS.

Las medidas preventivas a implementar deben adaptarse a cada situación de trabajo en función de los NMs manejados y de la información disponible relativa a la exposición. Por tanto, para seleccionar estas medidas se tendrá que conocer bien el tipo de proceso, las características del o de los NMs presentes, las exposiciones presenciales (frecuencia y duración de operaciones), los procedimientos, las características del lugar de trabajo, etc. De ahí la importancia de recabar información fiable.

El establecimiento de las medidas preventivas, conforme a los principios generales de la acción preventiva, deberá realizarse eligiendo en primer lugar medidas que combatan el riesgo en origen; posteriormente medidas para evitar la transmisión y dispersión; y, por último, medidas de protección sobre el trabajador.

Durante la fase de diseño de las actividades, se deben considerar los principios de la acción preventiva y la jerarquía de control [15]. Para ello, debemos contar con información detallada, que nos ayuda a poder incorporar las medidas más adecuadas: limitación de cantidades, diseño de procesos para disminuir la posible liberación de NM, emplear sistemas de seguridad, diseñar procesos cerrados en los que se minimicen o anulen las operaciones manuales, aislar y automatizar los procesos, tanto de fabricación como de utilización, que puedan suponer una liberación de NMs. Además, se deben contemplar todas las tareas de mantenimiento necesarias, así como las de limpieza.

En la aplicación de las medidas preventivas es recomendable seguir una jerarquía de control bien establecida: **eliminación, sustitución, modificación, confinamiento, ventilación, medidas organizativas, y protección personal**. Lo más probable es que sea necesaria una combinación de medidas técnicas y organizativas para conseguir una eficaz protección de la seguridad y salud de las personas trabajadoras. Las medidas a implementar serán de tipo técnico, organizativo, y en último lugar, protecciones personales.

Las **medidas técnicas** principales serán:

- **Sustitución** de las sustancias, procesos y equipos: el primer paso para el control del riesgo es la aplicación del principio de sustitución, aplicable también a los procesos (prioridad del húmedo frente al seco) y a equipos antiguos u obsoletos.
- **Diseño**: disponer de instalaciones seguras, teniendo en cuenta la reglamentación vigente, con el fin de eliminar situaciones de riesgo, sobre todo cuando se trabajan con NMs que puedan dar lugar a la formación de atmósferas explosivas (instalaciones y equipos ATEX, estancos a vapores, evitar la generación de electricidad estática, etc.).
- **Aislamiento o encerramiento del proceso**: este es el principal método para evitar emisiones, teniendo en cuenta que, en caso de fuga, las partículas nanométricas se le entiende un comportamiento parcialmente asimilado a un gas y se dispersarán llegando a cualquier parte del local pudiendo permanecer en suspensión por tiempo prolongado.
- **Ventilación**: la extracción localizada es la opción más eficaz para evitar propagaciones cuando no se trabaja en confinamiento, teniendo en cuenta también la ventilación general por dilución para poder controlar el nivel de contaminación ambiental de nanopartículas. Las operaciones de limpieza, mantenimiento o reparación deben realizarse mediante aspiración. Un sistema de extracción con un filtro de partículas de eficacia mínima HEPA H14 o ULPA, puede evitar que los NMs pasen al ambiente. [13], [16].
- **Recirculación del aire y filtración**: la filtración del aire recirculado o su descarga al exterior juegan un papel importante en el control de la exposición a nanopartículas, siendo eficaz el uso dimensionado de filtros a partir de HEPA H14. [16]. Existen estos ensayos que confirman la eficacia de retención por difusión para nanomateriales [17]–[20].

Las **medidas organizativas** principales serán [13][21]:

- Establecimiento de **prácticas de trabajo seguras**, tanto en las operaciones de manipulación, como en las de mantenimiento o reparación de los equipos y las de limpieza, tanto de equipos como de utensilios y de los locales.
- **Limitar la exposición** reduciendo al mínimo el número de personas trabajadoras potencialmente expuestas, estableciendo zonas de acceso restringido.
- **Señalización** de las áreas de trabajo con los pictogramas correspondientes a los riesgos y a las medidas de protección a adoptar.



Ilustración 2. Pictogramas propuestos de advertencia de NMs.

- **Formación e información** del personal de manera regular y cíclica: riesgos potenciales, medidas preventivas, jerarquía de mando y de comunicación de medidas, deficiencias o sugerencias.
- **Orden y limpieza** de laboratorios y locales en los que se trabaje con NMs, priorizando métodos de aspiración con filtros desde HEPA H14 o ULPA y de limpieza húmedos sobre otros, evitando en todo caso el uso de aire comprimido, cepillos, escobas o chorros de agua. La limpieza se llevará a cabo, como mínimo, al final de la jornada laboral, y siempre que se produzca un vertido accidental.
- **Establecimiento de medidas y protocolos de actuación en caso de vertidos y derrames accidentales:** utilizar un aspirador con filtro HEPA H14 o superior, humedecer el polvo, emplear bayetas humedecidas, utilizar adsorbentes si el derrame es de un líquido, gestionar el material utilizado en la recogida del derrame como un residuo, utilizar los EPI adecuados a estas operaciones.
- Establecimiento de medidas y protocolos de almacenamiento de NMs, teniendo en cuenta su naturaleza y las posibles incompatibilidades.
- **Establecimiento de medidas de higiene adecuadas:** separación de zonas de trabajo de las zonas de tránsito, vestuarios o taquillas para guardar separadamente la ropa de calle de la de trabajo, garantizar la limpieza de la ropa de trabajo (el personal trabajador no debe llevar la ropa a limpiar a su domicilio), disponer de duchas y lavabos para garantizar una estricta higiene personal, quitarse la ropa de trabajo para acceder a otras zonas de trabajo.
- **Establecimiento de medidas y protocolos de gestión de los residuos,** asegurando su clasificación, la colocación en contenedores adecuadamente etiquetados, gestionando la retirada y transporte por un gestor autorizado.

## 10. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL.

Son el último recurso entre las medidas de control posibles. Se utilizarán cuando las medidas de control técnico y organizativo no aseguren un nivel adecuado de protección. La protección efectiva o real solo se consigue mediante el EPI apropiado, correctamente ajustado y usado, y con mantenimiento adecuado [22].

Las exigencias mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización del EPI están recogidas en el Real Decreto 773/1997 sobre equipos de protección individual [23]. El **mercado CE** no garantiza que sea un equipo adecuado para cualquier situación o usuario. El proceso de selección de un EPI para tareas con NMs debe tener en cuenta las condiciones del trabajo y del personal. No existen normas armonizadas para verificar los niveles de protección ofrecidos por guantes, ropa, equipo protección respiratoria y ocular, por lo que solo se pueden hacer recomendaciones razonadas.

### 10.1. Equipos de protección respiratoria.

Tienen como finalidad la protección frente a la inhalación de NMs. Se recomienda, de forma general, equipos filtrantes de partículas clase 3, filtros P3 o mascarillas autofiltrantes FFP3 [24] y la realización de pruebas de ajuste.

En la elección del equipo de protección respiratoria se debe comprobar su adaptación, la talla y la forma que mejor adapte, además de haber recibido la formación e información necesaria para conocer el uso correcto y poder detectar cualquier desajuste. Estos equipos de protección respiratoria deben proteger aislando la vía de entrada o por mecanismo de filtración eficiente, como los de presión positiva.

### 10.2. Protección ocular.

Su uso dependerá de la tarea y la forma de presentación del NM. En operaciones que generen

polvo, se recomienda el uso de gafas estancas de montura integral [25] y evitar el contacto accidental mano-ojo.

Durante la manipulación de líquidos se recomienda uso de pantallas faciales con protección frente a salpicaduras [25], [26]. Si se generan aerosoles se aconseja uso de mascarera completa [27].

### **10.3. Ropa de protección.**

Los materiales “no tejidos” (polietileno de alta densidad) han demostrado ser más efectivos que tejidos convencionales como el algodón o mezcla con poliéster.

En trabajos con NMs en estado polvo, se recomienda traje desechable contra riesgos químicos Tipo 5 con capucha, cubre-zapatos, sujeción en el cuello y puños [28], [29]. Frente a salpicaduras, de Tipo 6 [30]. Si la exposición se limita a una parte del cuerpo, podrán usarse prendas de protección parcial desechables [30], [31].

### **10.4. Guantes de protección.**

Se recomienda seleccionar guantes de protección de Categoría III contra productos químicos y microorganismos, de nitrilo, látex, neopreno, butilo. Se recomienda la utilización de doble guante.

En caso de manipulación conjunta con compuestos químicos el nivel de penetración puede aumentar si el guante es afectado, en este caso se exige guantes con protección química específica [32]–[35].

## 11. MODELO DE COMUNICACIÓN SOBRE NMs

A la atención de...

Las propiedades de los materiales con una o varias de sus dimensiones a escala nano,  $10^{-9}$  metros, pueden presentar diferencias significativas con respecto a escalas de orden superior. Estas diferencias pueden afectar a las condiciones de seguridad y salud en su manejo, sobre todo por un cambio en las propiedades toxicológicas de la sustancia o en la capacidad de generar efectos estocásticos en el organismo.

Actualmente, el nivel de conocimiento sobre las consecuencias de la exposición a nanomateriales es bastante limitado, existiendo una gran incertidumbre sobre las condiciones que pueden considerarse peligrosas o razonablemente seguras.

Debido a esto consideramos que cuando se vaya a desarrollar un proyecto docente o de investigación que emplee este tipo de materiales, el personal docente o investigador principal del proyecto debe asesorarse en el Servicio de Prevención de la universidad para que, desde la fase de diseño del proyecto, se puedan articular las medidas y condicionantes que minimicen los riesgos asociados al empleo de nanomateriales.

Vicerrectorado / Gerencia

## 12. CARTEL NMs.

Medidas preventivas en laboratorios de investigación. Año 2022. Elaborado por el INSST.



# NANOMATERIALES

## Medidas preventivas en laboratorios de investigación

### Efectos sobre la salud

Los **efectos adversos para la salud** derivados de la exposición a nanomateriales (NMs) no son concluyentes y no pueden generalizarse para todos los tipos de NMs. Por ello, es necesario extremar las precauciones.



### Medidas Preventivas Generales

- ✓ Manipularlos en forma de suspensión líquida, gel o incorporados en una matriz.
- ✓ Evitar la manipulación en forma de polvo. Planificar el trabajo:
  - › reducir el tiempo de manipulación
  - › evitar trasladarlos de una zona a otra
  - › usar sistemas de extracción localizada

Ejemplos de cabinas de extracción	Protege al usuario	Protege al producto
Vitrina de gases (VG)	No siempre	X
VG de pesada	✓	X
CSB clase I	✓	X
CSB clase II	✓	✓
Específica para NMs	✓	✓

Las cabinas de flujo laminar vertical y baja velocidad (0,2 m/s) no generan turbulencias, evitando que el NM se libere al exterior o que este se aerosolicé dentro de la cabina. CSB: cabina de seguridad biológica.

### Equipos de Protección Individual (EPI)

- ✓ Usar protección ocular, guantes y ropa de protección.
- ✓ Filtros P3 para los Equipos de Protección Respiratoria (EPR).
- ✓ Los NMs pueden estar suspendidos en el aire durante semanas, por lo que el uso de EPR solo durante la actividad no garantiza la protección si el material se ha dispersado en el aire.

### Formación e información

- ✓ Informar a los trabajadores sobre los riesgos de los NMs que manipulan.
- ✓ Formarles en prácticas seguras de manipulación.
- ✓ Formación teórico-práctica sobre el uso de cabinas de extracción y EPI.

### Vigilancia de la salud

- ✓ Actualmente no existen protocolos específicos.
- ✓ Llevar un registro de los trabajadores expuestos, NMs utilizados y actividades realizadas.
- ✓ Informar de todo ello al servicio de prevención.

## Medidas Preventivas Específicas



**Síntesis y recogida**

Utilizar sistemas cerrados de síntesis y recogida



**Trasvase de polvo**

Reducir la distancia de trasvase

Colocar una alfombrilla conductiva o papel húmedo en la superficie de trabajo



**Suspensiones líquidas**

Realizar las operaciones vigorosas (p. ej. sonicación) dentro de una cabina



**Aplicaciones con pistola**

Evitar pistolas de aire a presión

Para piezas grandes, utilizar cabina de pintura

Para piezas pequeñas, utilizar extracción localizada con cortina de agua



**Operaciones de mecanizado**

Utilizar la menor energía posible

Usar herramientas con sistema de extracción localizada y pulverización de agua



**Limpieza-gestión de residuos**

Limpiar superficies, paredes y suelos con un paño húmedo desechable o aspirador con filtro HEPA H14

Desechar todos los residuos líquidos y sólidos como material peligroso en doble recipiente debidamente etiquetado

Autor: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.R. · Elaborado por: Centro Nacional de Verificación de Maquinaria (CNVM) · NIPO (en línea): 118-22-005-0

**13. REFERENCIAS, ESTILO “IEEE”.**

- [1] C. R. F. LIESA, “LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE,” *Pers. y Bioética*, pp. 13–23, 2015.
- [2] UN, “The 2030 Agenda for sustainable development,” pp. 12–14, 2016.
- [3] CRUE Sostenibilidad, “Ficha Informativa De Nanomateriales Y Sus Procesos Asociados (Nanoficha ),” pp. 5–10, 2018.
- [4] European Commision, “Review of the Recommendation 2011/696/EU,” pp. 1–6, 2022.
- [5] H. Rauscher, K. Rasmussen, T. Linsinger, E. Stefaniak, V. Kestens, and European Commission. Joint Research Centre., *Guidance on the implementation of the Commission Recommendation 2022/C 229/01 on the definition of nanomaterial*. 2023.
- [6] Ministerio de la Presidencia, “Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo,” *Boletín Of. del Estado*, núm. 104, 1 mayo 2001, pp. 15893–15899, 2001.
- [7] INSST, *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con agentes químicos*. 2022.
- [8] ECHA, “Observatorio de nanomateriales de la Unión Europea,” 2023. [Online]. Available: <https://euon.echa.europa.eu/es/home>.
- [9] EU-OSHA, “Nanomateriales manufacturados en el lugar de trabajo,” *Fichas Inf. Nanomater. la EU-OSHA*, 2019.
- [10] European Comission, “Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work - Guidance for employers and health and safety practitioners,” Brussels, 2013.
- [11] NIOSH, “Current Intelligence Bulletin 65. Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers,” Cincinnati, Ohio, 2013.
- [12] C. European, “Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work - Guidance for employers and health and safety practitioners,” p. 63, 2013.
- [13] INSHT, “Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales,” Madrid, 2015.
- [14] INSST, “Comparación de los métodos de evaluación cualitativa del riesgo por exposición a nanomateriales,” 2014.
- [15] Jefatura del Estado. Gobierno de España, “Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 de 8 de noviembre,” *Boletín Of. del Estado (BOE)*, número 269, pp. 1–40, 1995.
- [16] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1822-1:2020. Filtros absolutos (EPA, HEPA y ULPA),” 2020.
- [17] M. Heim, B. J. Mullins, M. Wild, J. Meyer, and G. Kasper, “Filtration efficiency of aerosol particles below 20 nanometers,” *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 39, no. 8, pp. 782–789, 2005.
- [18] S. C. Kim, M. S. Harrington, and D. Y. H. Pui, “Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter media,” *J. Nanoparticle Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 117–125, 2007.
- [19] W. G. Shin, G. W. Mulholland, S. C. Kim, and D. Y. H. Pui, “Experimental study of filtration efficiency of nanoparticles below 20 nm at elevated temperatures,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 39,

- no. 6, pp. 488–499, 2008.
- [20] S. H. Huang, C. W. Chen, C. P. Chang, C. Y. Lai, and C. C. Chen, “Penetration of 4.5 nm to 10  $\mu$  m aerosol particles through fibrous filters,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 38, no. 7, pp. 719–727, 2007.
- [21] INSST, “NTP 797 Riesgos asociados a la nanotecnología,” p. 6, 2008.
- [22] INSST, *Guía técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*. 2022.
- [23] BOE, *Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual*. 1997.
- [24] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 143:2022 Equipos de protección respiratoria. Filtros contra partículas. Requisitos, ensayos, marcado.,” 2022.
- [25] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 166:2002 Protección individual de los ojos. Especificaciones.,” 2002.
- [26] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 168:2002 Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo no ópticos.,” 2002.
- [27] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 136:1998 / AC:2004. Equipos de protección respiratoria. Máscaras completas. Requisitos, ensayos, marcado.,” 1998.
- [28] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN ISO 13982-1:2005 Ropa de protección para uso contra partículas sólidas.,” 2011.
- [29] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 14325:2018 - Ropa de protección contra productos químicos. Métodos de ensayo y clasificación de las prestaciones de los materiales, costuras, uniones y ensamblajes de la ropa de protección contra productos químicos.,” 1998.
- [30] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 13034:2005+A1:2009. Ropa de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa de protección química que ofrece protección limitada contra productos químicos líquidos (equipos del tipo 6).,” 2009.
- [31] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 14605:2005+A1:2009. Ropas de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa con uniones herméticas a los líquidos (tipo 3) o con uniones herméticas a las pulverizaciones (tipo 4), incluyendo las prendas que 0,” 2009.
- [32] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 374-1:2016/A1 2018. Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 1: Terminología y requisitos de prestaciones para riesgos químicos.,” 2016.
- [33] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN ISO 374-2:2020. Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 2: Determinación de la resistencia a la penetración. (ISO 374-2:2019).,” 2020.
- [34] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN ISO 374-4:2019. Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 4: Determinación de la resistencia a la degradación por productos químicos.,” 2019.
- [35] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 16523-1:2015+A1:2018. Determinación de la resistencia de los materiales a la permeabilidad de los productos químicos. Parte 1: Permeabilidad por un producto químico líquido en condiciones de contacto continuo.,” 2018.