



## Guía orientativa sobre los controles recomendados para mitigar el riesgo potencial del trabajo con nanomateriales

LIFE NanoRISK - Hábitos mejorados para la prevención y medidas de protección eficaces para el control del riesgo frente a nanomateriales



avanzare



INVASSAT  
Institut Valencià de  
Seguretat i Salut en el Treball



LIFE12 ENV/ES/000178

# Guía orientativa sobre los controles recomendados para mitigar el riesgo potencial del trabajo con nanomateriales

Este documento ha sido publicado en 2016 con el apoyo de la Unión Europea en el marco de la política y gobernanza medioambiental del programa LIFE titulada "LIFE NanoRISK - Hábitos mejorados para la prevención y medidas de protección eficaces para el control del riesgo frente a nanomateriales " ENV / ES / 000178)



La información y las opiniones expuestas en esta publicación son las del autor o autores y no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea. Ni las instituciones ni los organismos de la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre pueden ser responsables del uso que se pueda hacer de la información que contiene.

Para la reproducción de este documento, el permiso se debe obtener directamente del Consorcio NanoRISK.

ISBN:

Printed in Spain

© NanoRISK Consortium

First Edition, 2016



**avanzare**



# Contenidos

<b>1. Acrónimos .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Introducción: Asuntos ambientales y de salud y seguridad en Nanotecnología. ....</b>	<b>8</b>
3.1 Nanotecnología: conceptos principales y panorama general de las aplicaciones actuales en el mercado..	8
3.2 Consideraciones ambientales, de salud y seguridad para la nanotecnología.....	11
<b>4. Regulación y normativa .....</b>	<b>14</b>
4.1 Aspectos regulatorios.....	14
4.2 Normas para los equipos de protección personal.....	16
4.2.1 Normas de protección respiratoria.....	16
4.2.2 Normas de guantes de protección.....	18
4.2.3 Normas de protección de la ropa .....	18
4.2.4 Normas de protección de los ojos .....	19
<b>5. Conceptos básicos sobre las medidas de gestión de riesgos .....</b>	<b>19</b>
5.1. Jerarquía de controles.....	19
5.2. Medidas técnicas.....	20
5.2.1. Controles sin ventilación.....	21
5.2.2. Ventilación .....	21
5.3. Medidas de organización .....	24
5.4. Equipo de protección personal .....	25
5.4.1. Equipo de protección respiratoria (EPR).....	26
5.4.2. Guantes de protección química .....	27
5.4.3. Ropa de protección química .....	28
5.4.4. Protectores para ojos y cara .....	29
5.5. Tecnologías de control de emisiones medioambientales.....	29
<b>6. Eficacia de las medidas comunes de gestión del riesgo frente a la exposición profesional a NMs</b>	<b>32</b>
6.1. Conocimiento actual sobre la efectividad de los EPIs y LEVs.....	32
6.2. Ensayos desarrollados dentro del proyecto NanoRISK .....	36
6.3. Factores de protección y niveles de rendimiento basados en los estudios realizados en NanoRISK .....	41
6.3.1. Protección respiratoria .....	42
6.3.2. Equipos de protección dérmica .....	42
6.3.3. Protección ocular .....	43
6.3.4. Ventilación Local Extractiva (LEV, Local Exhaust Ventilation) .....	44
<b>7. Lista de medidas para la seguridad y el control de la exposición .....</b>	<b>46</b>
7.1. Lista de medidas para controlar la exposición ocupacional a NMs .....	46



---

7.2.	Personal protective equipment selection charts .....	57
7.2.1.	Identificación y evaluación de los riesgos que motivan el uso de EPI .....	57
7.2.2.	Definición de las características del EPP requerido .....	58
7.3.3.	Adquisición de EPIs .....	61
7.3	Tecnologías y procedimientos de control de emisiones .....	61
<b>8.</b>	<b>Vigilancia de la salud .....</b>	<b>64</b>
<b>9.</b>	<b>Hojas de instrucciones .....</b>	<b>67</b>

## 1. Acrónimos

---

BG	<i>Background</i>
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i>
CLP	Clasificación, Etiquetado y Envasado de Sustancias y Mezclas ( <i>Classification, Labelling And Packaging</i> )
CPC	Contadores de Partículas por Condensación
DNEL	Nivel Máximo de Exposición para las Personas ( <i>Derived No Effect Level</i> )
Dpg	Diámetro Geométrico Medio
EC	Controles de Ingeniería ( <i>Engineering controls</i> )
ECHA	<i>European Chemicals Agency</i>
EPD	Equipos de Protección Dermal
EPI	Equipos de Protección Individual
EPP	Equipos de Protección Personal
EPR	Equipos de Protección Respiratoria
ES	Escenarios de exposición ( <i>Exposure Scenarios</i> )
HEPA	Filtro de alta eficiencia ( <i>High-Efficiency Particulate Air filter</i> )
IU	Usos Identificados ( <i>Identified Uses</i> )
LEV	Ventilación Local Extractiva ( <i>Local Exhaust Ventilation</i> )
NIOSH	Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de USA ( <i>US National Institute for Occupational Safety and Health</i> )
NM	Nanomaterial
NP	Nanopartícula
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PEROSH	<i>Partnership for European Research in Occupational Safety and Health</i>
PRL	Prevención de Riesgos Laborales
REACH	Registro, Evaluación, Autorización Y Restricción de Sustancias Químicas ( <i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i> )
REL	Niveles de Exposición Recomendados ( <i>Recommended Exposure Levels</i> )
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo

## 2. Resumen

---

El uso de nanomateriales (NMs) está creciendo continuamente debido al creciente número de aplicaciones de la nanotecnología, promoviendo el desarrollo de una nueva generación de productos y procesos innovadores que han creado un enorme potencial de crecimiento para un gran número de sectores industriales.

Debido a su potencial para desarrollar nuevos productos de valor añadido, ya hay un número sorprendente de NMs disponibles en el mercado. Sin embargo, junto con los beneficios, hay un debate en curso sobre sus efectos potenciales en la salud humana o el medio ambiente. Las incertidumbres son amplias, ya que es bien conocido que los NMs presentan propiedades físicas y químicas únicas y diferentes de las del mismo material en forma masiva (Kumar y Dhawan, 2013), afectando a su comportamiento físico-químico y biológico, lo cual puede conducir a efectos adversos tanto para los seres humanos como para el medio ambiente.

A medida que las aplicaciones de la nanotecnología pasan de laboratorios de investigación a entornos industriales y comerciales, la probabilidad de exposición en el lugar de trabajo y las emisiones tenderán a aumentar a corto plazo, por lo que los productores y usuarios de NMs deben tomar medidas apropiadas para asegurar un trabajo seguro y evitar la liberación de NMs al medio ambiente.

Los científicos están de acuerdo en que, si los controles de ingeniería están bien diseñados, serán eficaces para limitar la liberación ambiental y la exposición en el lugar de trabajo. Sin embargo, estos controles deben complementarse con las buenas prácticas y el uso de equipos de protección personal (EPP o EPI) adecuados, especialmente cuando no sean posibles otros enfoques como la eliminación, sustitución o modificación.

Esta guía sobre medidas y controles recomendados para mitigar y controlar el riesgo que plantean los NMs se dirige tanto a instituciones de investigación, industrias, PYMEs y grandes empresas, presentando recomendaciones sobre buenas medidas para asegurar la salud y seguridad ocupacional siguiendo un enfoque de precaución.

Los datos basados en evidencias sobre la efectividad de las actuales Medidas de Control de Riesgo (MGR), incluyendo Equipos de Protección Personal (EPIs) y controles técnicos como los sistemas de Ventilación Exhaustiva Local (LEV) contra NMs son un tema clave para garantizar un alto nivel de protección para la salud y el medio ambiente.

Este documento ha sido desarrollado teniendo en cuenta las necesidades especiales de la industria relacionadas con la nanotecnología, así como los requisitos establecidos en el Reglamento (CE) nº 1907/2006 relativo al Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Productos Químicos (REACH). Los miembros del consorcio definieron la estructura de la guía, cubriendo aquellos aspectos considerados de especial relevancia para ayudar a asegurar que el riesgo asociado con NMs ha sido debidamente evaluado y mitigado a un nivel aceptable.

La guía consta de 10 secciones, las cuales se presentan a continuación:

1. Acrónimos
2. Resumen
3. Introducción: Asuntos ambientales y de salud y seguridad en Nanotecnología.
  - 3.1 Nanotecnología: conceptos principales y panorama general de las aplicaciones actuales en el mercado
  - 3.2 Consideraciones ambientales, de salud y seguridad para la nanotecnología
4. Regulación y normativa
  - 4.1 Aspectos regulatorios
  - 4.2 Normas para los equipos de protección personal
5. Conceptos básicos sobre las medidas de gestión de riesgos
  - 5.1. Jerarquía de controles
  - 5.2. Medidas técnicas
  - 5.3. Medidas de organización
  - 5.4. Equipo de protección personal
  - 5.5. Tecnologías de control de emisiones medioambientales
6. Eficacia de las medidas comunes de gestión del riesgo frente a la exposición profesional a NMs
  - 6.1. Conocimiento actual sobre la efectividad de los EPIs y LEVs
  - 6.2. Ensayos desarrollados dentro del proyecto NanoRISK
  - 6.3. Factores de protección y niveles de rendimiento basados en los estudios realizados en NanoRISK
7. Lista de medidas para la seguridad y el control de la exposición
  - 7.1. Lista de medidas para controlar la exposición ocupacional a NMs
  - 7.2. Personal protective equipment selection charts
  - 7.3 Tecnologías y procedimientos de control de emisiones
8. Vigilancia de la salud
9. Hojas de instrucciones

En detalle, la guía está orientada a:

- Asesores de salud y seguridad
- Higienistas del trabajo
- Trabajadores y usuarios profesionales que utilicen NMs como tales, en mezclas o incorporados en artículos en procesos de investigación o producción,
- Investigadores
- Expertos de asociaciones industriales y otras organizaciones interesadas que informen a las empresas sobre los requisitos para la manipulación y uso seguros de las NMs de manera reglamentaria, especialmente para fines de control de riesgos,
- Expertos en normalización (comités ISO) y/o los organismos reguladores (ECHA)

Para apoyar el uso adecuado de la guía, se han incluido árboles de decisiones basado en evidencias para guiar al usuario en la identificación de medidas adecuadas con el fin de lograr un alto nivel de protección de la salud y el medio ambiente. Este árbol de decisiones se ha desarrollado sobre la base de los usos

identificados (IU, del nombre en inglés *Identified Uses* de la ECHA) y los escenarios de exposición (ES, del nombre en inglés *Exposure Scenario* de la ECHA) en todas las etapas relevantes del ciclo de vida del Nm utilizado en la industria de nanocompuestos poliméricos.

Por último, se ha desarrollado una hoja de instrucciones detallada que contiene información sobre las especificaciones básicas, los procesos recomendados, así como los procedimientos de limpieza y mantenimiento para cada una de las medidas de gestión de riesgos estudiadas dentro del proyecto.

Esta guía pretende ayudar particularmente a las empresas en la selección de equipos de protección personal (PPE) adecuados y basados en la experiencia y controles de ingeniería (EC) para prevenir la exposición a los nanomateriales y su liberación en el lugar de trabajo.

La guía es parte del compendio de entregas programadas dentro del proyecto. Esta guía se puede obtener a través del sitio web público del proyecto (<http://www.lifenanorisk.eu>).

La versión online contiene figuras interactivas, videos descargables y enlaces diseñados específicamente para apoyar el objetivo principal de la guía, la selección de medidas adecuadas para controlar la exposición a los NMs y evitar su liberación al medio ambiente.

Más información sobre temas específicos y/o detalles sobre los resultados del proyecto se pueden solicitar contactando directamente al coordinador del proyecto NanoRISK:

Carlos Fito-López,  
ITENE  
C/Albert Einstein, Paterna, Valencia  
E-mail: [cfito@itene.com](mailto:cfito@itene.com)

### 3. Introducción: Asuntos ambientales y de salud y seguridad en Nanotecnología.

#### 3.1 Nanotecnología: conceptos principales y panorama general de las aplicaciones actuales en el mercado

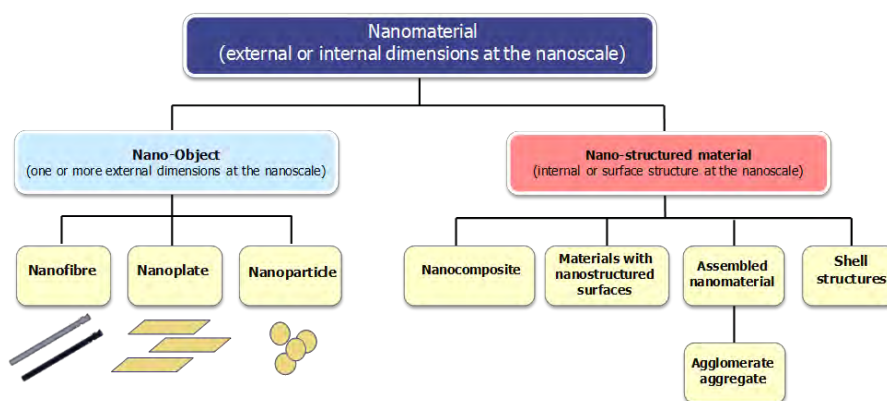
La nanotecnología es una tecnología transversal ampliamente aplicada en casi todos los sectores de la industria, con aplicaciones potenciales en una amplia gama de sectores, desde la energía (producción, catálisis, almacenamiento), materiales (lubricantes, abrasivos, pinturas, neumáticos y ropa deportiva), electrónica (chips y pantallas), óptica, reciclaje (absorción de contaminación, filtración y desinfección del agua), alimentos (aditivos y envases), cosméticos (lociones y protectores solares para la piel), medicina (diagnóstico y suministro de fármacos, entre otros).

La UE adoptó una recomendación sobre la definición de un nanomaterial en 2011 (2011/696/UE) para permitir una referencia transversal coherente. De acuerdo con esta recomendación, nanomaterial significa:

*“Un material natural, incidental o fabricado que contiene partículas en un estado no unido o como agregado o aglomerado y donde el 50% o más de las partículas en la distribución de tamaños o una o más dimensiones externas está en el intervalo de tamaños 1 - 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%. Por derogación a lo anterior, los fullerenos, los copos de grafeno y los nanotubos de carbono de pared única con una o más dimensiones externas.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) también ha trabajado en las definiciones de varios términos relacionados con la nanotecnología. La siguiente figura (Figura 1) representa los términos básicos definidos dentro



Se espera una revisión de la definición de nanomateriales de la actual recomendación de la UE en 2016, tras la consulta de sus proyectos de conclusiones con las partes interesadas.

de ISO / TS 80004-4: 2011, que se utilizará en el marco de esta guía.

Figura 1. Terminología para materiales en el campo de las nanotecnologías (ISO TS 27687 / ISO TS 80004-4:2011)

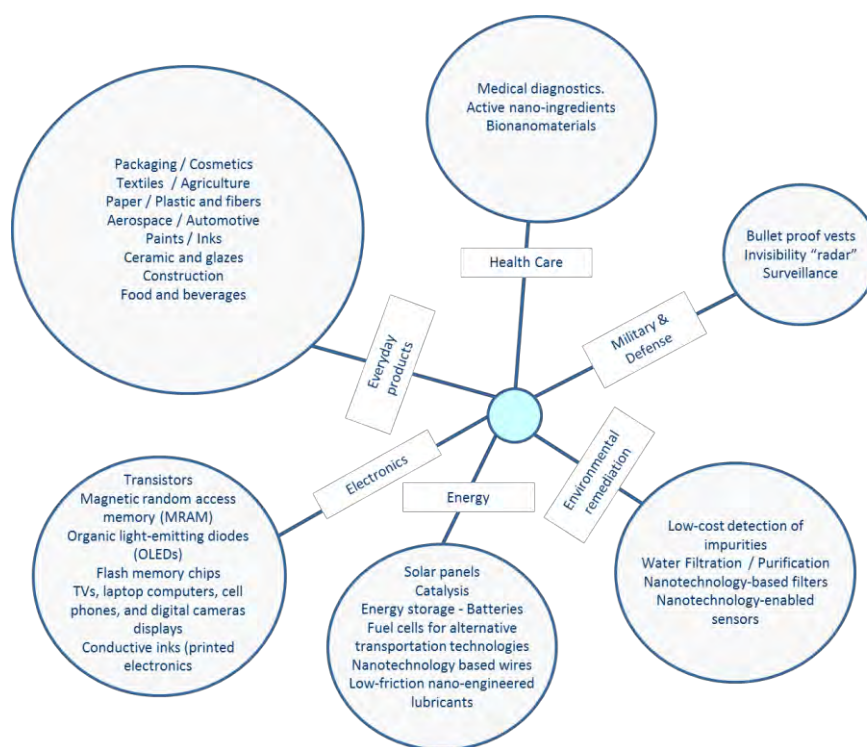


Figura 2. Principales aplicaciones industriales de los nanomateriales

Nanocompuestos donde el uso de NMs como nanotubos de carbono (CNTs, del inglés), nanoarcillas, grafeno, plata o ZnO, entre otros, permite lograr mejoras notables en las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y reológicas de polímeros ampliamente utilizados. Las nuevas propiedades ofrecidas por la adición de NMs en materiales poliméricos ha dado lugar a un crecimiento continuo en el mercado, incluyendo ingeniería aeroespacial, industria automotriz, construcción, generación de energía renovable, Y alimentos (Grand view research, 2015).

Las actividades llevadas a cabo en el marco del proyecto NanoRISK se centraron en NMs representativos y procesos en la industria de nanocompuestos poliméricos, y especialmente en el uso de NMs metales y óxidos metálicos y base de carbono para desarrollar materiales de embalaje y construcción o componentes de automoción.

Este sector se ha seleccionado teniendo en cuenta la creciente demanda de productos basados en polímeros de valor añadido en aplicaciones de uso final tales como materiales de envasado de alimentos y piezas de automoción, ambos factores clave para los nanocompuestos basados en polímeros.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de aplicaciones listas para usar de NMs desarrolladas por los miembros del consorcio NanoRISK (Figura 3 / Figura 4).



Figura 3. A la izquierda: granos extruidos de nanocompuestos ABS-CNTs. Derecha. ABS-CNTs Ensayo de muestras.



Figura 4. Izquierda: Ensayo de muestras de nanocompósitos PP-nanoclay. Centro: Alambre extruido de nanocompuesto SEBS-Graphene. Derecha: muestras de prueba de PMMA-TiO<sub>2</sub>

Recientemente se han hecho algunos avances en el área de los compuestos de base polimérica, sin embargo, es necesario abordar varias cuestiones transversales para promover un crecimiento continuo de tales aplicaciones en el mercado, incluyendo:

- 1) el establecimiento de un marco regulador para NMs y los productos nano-habilitados, teniendo en cuenta un marco de seguridad humana y ambiental claro y fácil de seguir para el desarrollo a lo largo de la cadena de innovación desde la idea inicial hasta el mercado;
- 2) la elaboración de normas, teniendo en cuenta las pruebas reglamentarias y las buenas prácticas;
- 3) un aumento del nivel de información sobre el uso y las funciones de las NMs en los productos, así como sobre cuestiones de seguridad, promoviendo un proceso de comunicación transparente y abierto entre las partes interesadas.

Se están llevando a cabo iniciativas de investigación para abordar las lagunas de conocimientos sobre la exposición humana y los efectos de la nanotecnología sobre la salud. Sin embargo, establecer un vínculo concluyente entre los resultados de la salud humana y la exposición a los NM requiere estudios epidemiológicos rigurosos, que actualmente están ausentes

### 3.2 Consideraciones ambientales, de salud y seguridad para la nanotecnología

Para una gestión integral del riesgo es necesaria información sobre las propiedades intrínsecas de los NMs (riesgos) y la probabilidad de exposición / liberación en un compartimento específico (es decir, lugar de trabajo, agua dulce, agua marina, sedimentos o suelos, tratamiento de aguas residuales y aire) y datos de dosis-respuesta (es decir, Nivel sin efecto derivado o DNEL, PNEC - Concentración sin efecto pronosticada).

Hasta la fecha, se han realizado importantes inversiones en la caracterización del perfil toxicológico de la primera generación de NMs, incluidos datos sobre criterios de salud humana pertinentes, como toxicidad aguda, irritación y sensibilización de la piel, genotoxicidad o carcinogénesis. Sin embargo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) reconoce que las actuales directrices de los ensayos no fueron específicamente diseñadas para ensayar con NMs se considera insuficiente para NMs (Porredon Guarch C. et al, 2014). Debido a esta situación, se están publicando estudios de toxicidad en una amplia

gama de métodos de ensayo, concentraciones y cultivos celulares, lo que dificulta la comparación del efecto tóxico observado para un mismo tipo de NM.

En relación con la comprensión de la posible exposición de todas las etapas del ciclo de vida de la producción, el uso y la eliminación de NMs, la cantidad de actividades de investigación centradas en la evaluación de la probabilidad de exposición ha aumentado en la última década gracias al interés de la industria en la producción y utilización de los NMs para el desarrollo de nuevos productos de valor añadido (C.Fito-López et al, 2015).

En el contexto laboral, se ha demostrado que los trabajadores están potencialmente expuestos a NM con nuevos tamaños, formas y propiedades químicas, a niveles que exceden con mucho las concentraciones ambientales (Yokel et al, 2011).

Los trabajadores pueden estar expuestos a nanomateriales por tres vías principales: **inhalación, ingestión o penetración cutánea**. El riesgo potencial más común es el de las nanopartículas transportadas por el aire que se liberan en el lugar de trabajo, inhaladas por los trabajadores y potencialmente depositadas en el tracto respiratorio y los pulmones. Los nanomateriales también pueden ser ingeridos involuntariamente a través de la transferencia de mano a boca o comida o agua contaminada, donde potencialmente pueden cruzar la pared del intestino, entrar en el torrente sanguíneo y posteriormente llegar a otras partes del cuerpo.

En el marco de REACH, si los riesgos están bajo control, la evaluación de la seguridad química termina aquí.

Si los riesgos no están bajo control, la evaluación de la seguridad química debe ser refinada, ya sea obteniendo más datos sobre las propiedades de la sustancia, cambiando las condiciones de fabricación o de uso, o haciendo estimaciones de exposición más precisas.

En lo que respecta a la adecuación de las medidas comunes de gestión del riesgo (MGR), los científicos están de acuerdo en que si los controles de ingeniería están bien diseñados, serán efectivos para limitar la exposición a los NMs aerotransportados en el lugar de trabajo. Los conocimientos actuales indican que un sistema LEV bien diseñado con un filtro HEPA debe eliminar eficazmente NMs debido al hecho de que el comportamiento de alta difusión de NMs aumenta su oportunidad de entrar en contacto con elementos filtrantes, pero estudios han informado de la eficacia limitada del filtro.



Figura 5. Instrumentación en tiempo real aplicada para evaluar la probabilidad de exposición en lugares de

En relación con los EPIs, muy pocos estudios han informado sobre el rendimiento de filtración de los respiradores con marcado CE frente a NMs. Basándose en los estudios realizados por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), los respiradores certificados proporcionan un grado aceptable



de protección, con los niveles medios de penetración en el rango de 40 nm para todos los modelos de respiradores probados. Del mismo modo, un número limitado de estudios han reportado datos sobre la ropa protectora y la eficiencia de los guantes contra NMs. Sin embargo, algunas normas de ropa como la norma ASTM F1671-03 (ASTM 2003) y la norma ISO 16604 (ISO 2004b) incorporan pruebas con partículas a nanoescala y por lo tanto proporcionan alguna indicación de la efectividad de la ropa protectora con respecto a las nanopartículas.

## 4. Regulación y normativa

Este capítulo ofrece un breve resumen de las legislaciones, reglamentos y normas europeas clave aplicables a los equipos de protección personal.

### 4.1 Aspectos regulatorios

En la Comunicación De La Comisión Sobre Aspectos Reglamentarios De Los Nanomateriales<sup>1</sup> y en el Documento De Trabajo De Los Servicios De La Comisión<sup>2</sup> se puede encontrar información sobre el modo en que la reglamentación de la UE se aplica a los NM. Estos documentos concluyen que es necesario adaptar la legislación actual a medida que aumenta la profundidad del conocimiento científico sobre NMs. En Europa, la normativa relativa a los nanomateriales se basa actualmente en las leyes y reglamentos vigentes aplicables a los productos químicos. Los marcos regulatorios que se encuentran aplicables de acuerdo con la Segunda Revisión Regulatoria sobre Nanomateriales (octubre de 2012) se muestran en la figura 6.

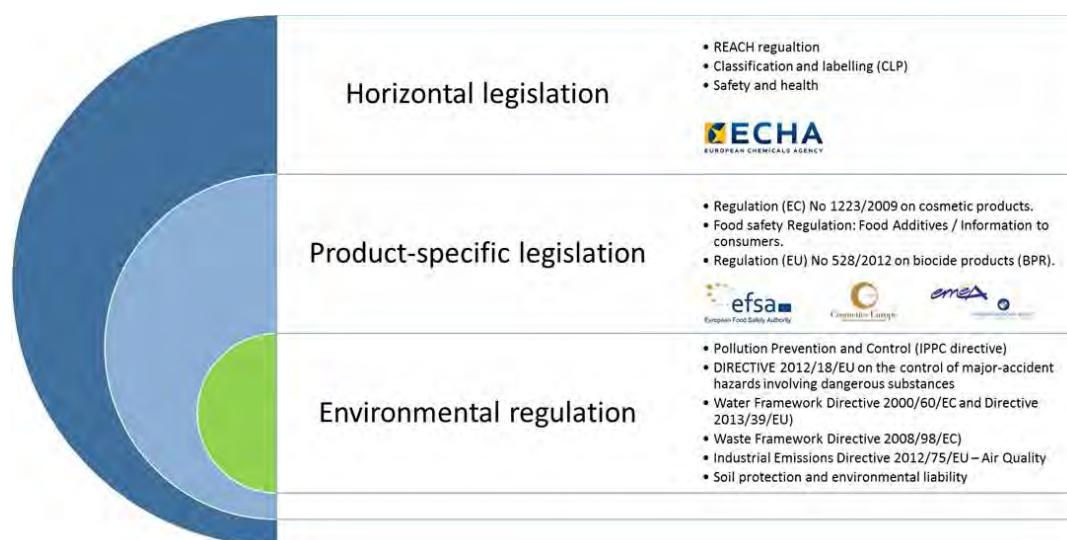


Figura 6. Marco regulatorio de nanomateriales y nanoproducidos.

Según la información facilitada en la citada Comunicación, todos los NMs se consideran sustancias químicas y deben cumplir los requisitos establecidos en el Reglamento REACH y el Reglamento (CE) nº 1272/2008 (CLP - clasificación, etiquetado y embalaje).

Además de la normativa REACH, existen varios instrumentos legales para garantizar un nivel adecuado de protección de los trabajadores. El marco general lo establece el Reglamento sobre seguridad y salud en el trabajo de los trabajadores (Directiva marco 89/391 / CEE - SST de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo).

Se hará especial hincapié en la selección de medidas de gestión de riesgos (MGR) para evitar el riesgo potencial que plantea el uso de NM.

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/nanotechnology-redirect.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/nanotechnology-redirect.html)

<sup>2</sup> <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008SC2036>

La normativa más relevante es REACH, cuyo objetivo es garantizar un alto nivel de protección pertinente de la salud humana y del medio ambiente. Los principales pasos a seguir para garantizar el cumplimiento de la normativa REACH y los reglamentos específicos de cada producto se describen en la siguiente figura 7.

Se están llevando a cabo varias actividades para apoyar la definición de un marco regulador basado en la ciencia para NMs y productos nano-habilitados. Estas actividades han sido iniciadas por organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) para apoyar un desarrollo armonizado a nivel mundial.

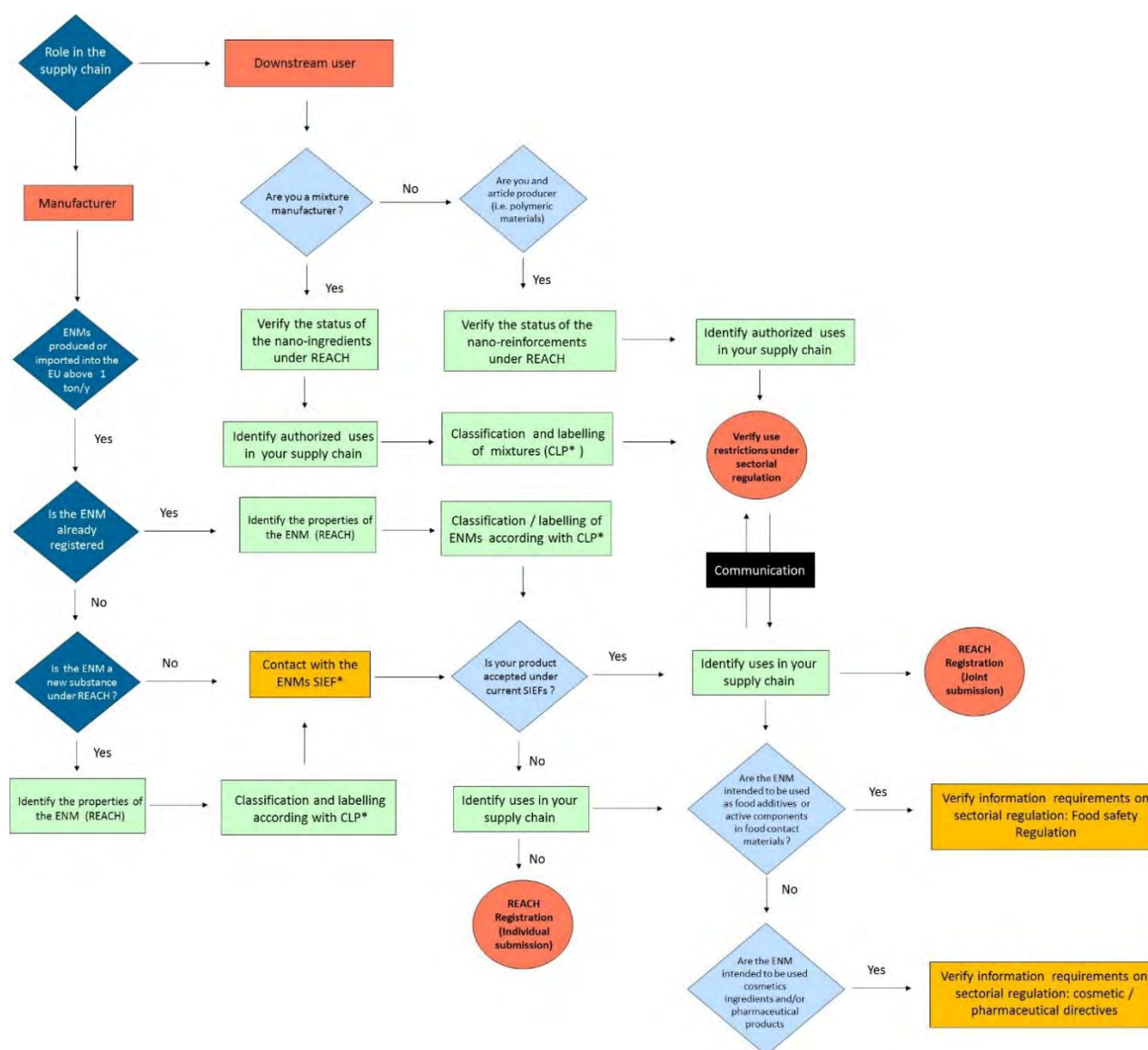


Figura 7. Diagrama de flujo de la normativa para las empresas de la UE que producen y / o utilizan NM  
 \* CLP: Reglamento Europeo (CE) nº 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas / \*  
 SIEF: foro de intercambio de información sobre sustancias (SIEF)

## 4.2 Normas para los equipos de protección personal

Para cumplir los requisitos legales, los fabricantes deben asegurarse de que sus productos cumplen con la legislación europea (Directivas de Nuevo Enfoque). Se ha elaborado un conjunto de normas europeas armonizadas para los equipos de protección individual (PPE) como uno de los medios para demostrar la conformidad del equipo con los requisitos básicos de la Directiva sobre equipos de protección individual. Sólo los EPI que cumplan estos requisitos tienen derecho a llevar el marcado CE y estar disponibles en la UE.

La legislación puede contener requisitos de diseño o rendimiento para los diferentes tipos de equipos. Para más detalles, consulte el sitio web oficial de la CE: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.C\\_.2015.412.01.0010.01.SPA&toc=DO:C:2015:412:TOC](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2015.412.01.0010.01.SPA&toc=DO:C:2015:412:TOC)

En las siguientes secciones se enumeran las normas más relevantes de acuerdo con el alcance y los objetivos del proyecto.

### 4.2.1 Normas de protección respiratoria

#### A) Normas armonizadas

- **Normas Generales**

- EN 132: 1998. Dispositivos de protección respiratoria- Definiciones de términos y pictogramas.
- EN 133: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Clasificación.
- EN 134: 1998. Dispositivos de protección respiratoria - Nomenclatura de los componentes.
- EN 135: 1998. Dispositivos de protección respiratoria - Lista de términos equivalentes.

- **Selección y uso**

- EN 529: 2005. Dispositivos de protección respiratoria - Recomendaciones para la selección, uso, cuidado y mantenimiento - Documento de orientación.

- **Piezas de la cara**

- EN 136: 1998, EN 136 / AC: 1999, EN 136 / AC: 2003. Dispositivos de protección respiratoria - Máscaras faciales - Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 140: 1998, EN 140 / AC: 1999. Dispositivos de protección respiratoria. Media máscara y máscaras de cuarto. Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 142: 2002. Dispositivos de protección respiratoria - Conjuntos de boquillas - Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 1827: 1999 + A1: 2009. Dispositivos de protección respiratoria - Medias máscaras sin válvulas de inhalación y con filtros separables para proteger contra gases o gases y partículas o partículas solamente - Requisitos, pruebas, marcado.
- EN 148-1: 1999. Dispositivos de protección respiratoria. Hilos para piezas faciales. Parte 1: Conexión de rosca estándar.
- EN 148-2: 1999. Dispositivos de protección respiratoria. Hilos para piezas faciales. Parte 2: Conexión del hilo central.
- EN 148-3: 1999. Dispositivos de protección respiratoria. Hilos para piezas faciales. Parte 3: Conexión de rosca M 45 x 3.

#### • Dispositivos de filtrado

- EN 143: 2000, EN 143 / AC: 2002, EN 143: 2001 / AC: 2005, EN 143: 2000 / A1: 2006. Dispositivos de protección respiratoria - Filtros de partículas - Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 14387: 2004 + A1: 2008. Dispositivos de protección respiratoria - Filtro (s) de gas y filtro (s) combinado (s) - Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 12941: 1998, EN 12941 / A1: 2003, EN 12941: 1998 / A2: 2008. Dispositivos de protección respiratoria - Dispositivos de filtración accionados que incorporen un casco o una campana - Requisitos, pruebas, marcado.
- EN 12942: 1998, EN 12942 / A1: 2002, EN 12942: 1998 / A2: 2008. Dispositivos de protección respiratoria - Dispositivos de filtración asistida que incorporan máscaras faciales, máscaras o mascarillas - Requisitos, ensayos, marcado.
- EN 149: 2001 + A1: 2009. Dispositivos de protección respiratoria - Medias máscaras de filtración para proteger contra las partículas - Requisitos, pruebas, marcado.
- EN 405: 2001 + A1: 2009. Dispositivos de protección respiratoria - Medias máscaras de filtración con válvula de protección contra gases o gases y partículas - Requisitos, ensayos, marcado.

#### • Métodos de prueba

- EN 13274-1: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de ensayo - Parte 1: Determinación de fugas hacia adentro y fugas hacia adentro.
- EN 13274-2: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de ensayo - Parte 2: Pruebas prácticas de funcionamiento.
- EN 13274-3: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de prueba - Parte 3: Determinación de la resistencia respiratoria.
- EN 13274-4: 2001. Dispositivos de protección respiratoria. Métodos de prueba - Parte 4: Prueba de llama.
- EN 13274-5: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de ensayo - Parte 5: Condiciones climáticas.
- EN 13274-6: 2001. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de prueba - Parte 6: Determinación del contenido de dióxido de carbono del aire de inhalación.
- EN 13274-7: 2008. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de ensayo - Parte 7: Determinación de la penetración del filtro de partículas.
- EN 13274-8: 2002. Dispositivos de protección respiratoria - Métodos de prueba - Parte 8: Determinación de la obstrucción del polvo de dolomita.

#### B) Normas conexas (no armonizadas)

- ISO 16900-2: 2009. Dispositivos de protección respiratoria. Métodos de ensayo y equipo de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia respiratoria.
- ISO 16900-4: 2011. Dispositivos de protección respiratoria. Métodos de ensayo y equipo de ensayo. Parte 4: Determinación de la capacidad del filtro de gas y la migración, desorción y monóxido de carbono pruebas dinámicas.

- ISO 16972: 2010. Dispositivos de protección respiratoria. Términos, definiciones, símbolos gráficos y unidades de medida.
- ISO / TS 16974: 2011. Dispositivos de protección respiratoria. Marcado e información facilitada por el fabricante.
- ISO 16976-1: 2007. Dispositivos de protección respiratoria. Factores humanos. Parte 1: Tasas metabólicas y tasas de flujo respiratorio.
- ISO 16976-2: 2010. Dispositivos de protección respiratoria. Factores humanos. Parte 2: Antropometría.
- ISO 16976-3: 2011. Dispositivos de protección respiratoria. Factores humanos. Parte 3: Respuestas fisiológicas y limitaciones del oxígeno y limitaciones del dióxido de carbono en el ambiente respiratorio.

#### 4.2.2 Normas de guantes de protección

- **Normas Generales**

- EN 420: 2003 + A1: 2010, EN 420: 2004 + A1: 2010, ERRATUM: 2011. Guantes de protección - Requisitos generales y métodos de ensayo.

- **Guantes protectores contra productos químicos y microorganismos**

- EN 374-1: 2004. Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos - Parte 1: Terminología y requisitos de funcionamiento.
- EN 374-2: 2004. Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos - Parte 2: Determinación de la resistencia a la penetración.
- EN 16523-1: 2015. Determinación de la resistencia del material a la penetración por productos químicos - Parte 1: Permeación por sustancias químicas líquidas en condiciones de contacto continuo.
- EN 374-4: 2013. Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos - Parte 4: Determinación de la resistencia a la degradación por productos químicos.

#### 4.2.3 Normas de protección de la ropa

- **Normas Generales**

- EN ISO 13688: 2013. Ropa de protección - Requisitos generales (ISO 13688: 2013).

- **Ropa protectora contra productos químicos**

- EN 943-1: 2015. Ropa de protección contra productos químicos sólidos, líquidos y gaseosos peligrosos, incluidos los aerosoles líquidos y sólidos - Parte 1: Requisitos de funcionamiento para los trajes de protección química tipo 1 (herméticos).
- EN 943-2: 2002. Ropa de protección contra productos químicos líquidos y gaseosos, incluidos aerosoles y partículas sólidas - Parte 2: Requisitos de funcionamiento para los trajes de protección química "herméticos" (Tipo 1) para equipos de emergencia.
- EN 14605: 2005 + A1: 2009. Ropa protectora contra sustancias químicas líquidas - Requisitos de funcionamiento para las prendas con conexiones impermeables a los líquidos (tipo 3) o a prueba de rocío (tipo 4), incluidos los artículos que sólo protegen partes del cuerpo (tipos PB [3] y PB [4]).
- EN ISO 13982-1: 2005, EN ISO 13982-1: 2005 / A1: 2011. Ropa protectora para el uso contra partículas sólidas - Parte 1: Requisitos de desempeño para ropa de protección química que proteja todo el cuerpo contra partículas sólidas en suspensión en el aire (tipo 5) (ISO 13982-1: 2004).

- EN ISO 13982-2: 2005. Ropa de protección para el uso contra partículas sólidas - Parte 2: Método de ensayo para la determinación de la fuga hacia dentro de aerosoles de partículas finas en trajes (ISO 13982-2: 2004).
- EN 13034: 2005 + A1: 2009. Ropa de protección contra productos químicos líquidos - Requisitos de rendimiento para ropa de protección química que ofrezca un rendimiento protector limitado contra productos químicos líquidos (Tipo 6 y Tipo PB [6]).
- EN 14325: 2004. Ropa protectora contra los productos químicos - Métodos de ensayo y clasificación del rendimiento de los materiales de ropa, costuras, juntas y ensamblajes de protección química.

#### 4.2.4 Normas de protección de los ojos

##### A) Normas armonizadas

- UNE-EN 165: 2006. Protección ocular personal. Vocabulario.
- UNE-EN 166: 2002. Protección personal de los ojos. Presupuesto.
- UNE-EN 167: 2002. Protección personal de los ojos. Métodos de prueba óptica.
- UNE-EN 168: 2002. Protección ocular personal. Métodos de prueba no ópticos.

##### B) Normas conexas (no armonizadas)

- UNE CR 13464: 1999. Guía para la selección, uso y mantenimiento de los protectores oculares y faciales ocupacionales.

## 5. Conceptos básicos sobre las medidas de gestión de riesgos

### 5.1. Jerarquía de controles

La jerarquía de control es un enfoque sistemático para administrar la seguridad en los lugares de trabajo al proporcionar una estructura para seleccionar las medidas de control para eliminar o reducir el riesgo de ciertos peligros que han sido identificados como causados por las operaciones de la empresa. La jerarquía de control implica los siguientes pasos:

- Eliminación
- Sustitución
- Medidas técnicas - Controles de ingeniería
- Medidas de organización (utilización de controles administrativos)
- Equipo de protección personal (EPIs)

En la tabla 1 se muestra una lista no exhaustiva de medidas de gestión de riesgos clasificadas de acuerdo con la jerarquía de controles y objetivos que deben alcanzarse con cada medida.

Tabla 1. Medidas de gestión de riesgos clasificadas según la jerarquía de controles

Prioridad	Objetivo	Aplicación			
		Agente químico	Proceso	Lugar de trabajo	Condiciones operativas
1	Eliminación de riesgos	Sustitución por agentes químicos	Sustitución de procesos Uso de equipo de seguridad		Automatización Robotización

		menos peligrosos	intrínseca (1)	Control remoto
2	Reducción / control del riesgo	Sustitución parcial de los agentes químicos Cambio de estado físico (2)	Contención del proceso Segregación Mantenimiento preventivo Escape local Ventilación de dilución general Medidas de derrame	Ventilación por dilución Control de las fuentes de ignición Buenas prácticas Buenas prácticas Supervisión Horario reducido
3	Protección del trabajador			Protección respiratoria, cutánea y ocular

(1) Aplicable para eliminar el riesgo de seguridad como incendio o explosión

(2) Ejemplos: El manejo de un material sólido en pastas húmedas, pastas o gel, o encapsulado puede reducir el riesgo de ingestión e inhalación.

La jerarquía de los controles también es considerada por el principio STOP, un enfoque de gestión de riesgos basado en la implementación de medidas estratégicas, técnicas, organizativas y personales.

El siguiente cuadro ofrece una visión general de las medidas definidas bajo el principio STOP.

Tabla 2. Principios básicos del principio STOP

**Prioridad**      **Medida**      **Ejemplos**

### Concepto STOP

El principio STOP establece prioridades en el siguiente orden:

- (S) Medidas **e**Stratégicas
- (T) Medidas **T**écnicas
- (O) Medidas **O**rganizativas
- (P) Medidas **P**ersonales

1	<b>S</b> (e <b>S</b> tratégicas)	Sustitución de procesos o sustancias Rediseño / Modificación de procesos Formas o procesos de baja emisión
2	<b>T</b> ( <b>T</b> écnicas)	Encerrando / aislando Ventilación extractiva local Ventilación de dilución general Ajuste / diseño de la operación
3	<b>O</b> ( <b>O</b> rganizativas)	Formación Instrucciones de trabajo Planificación estratégica
4	<b>P</b> ( <b>P</b> ersonales)	Protección respiratoria Protección dérmica Protección para los ojos

En general, estas medidas deben combinarse para obtener el nivel de protección requerido. La eliminación y la sustitución (medidas S) son raramente posibles en la práctica, por lo tanto, las medidas técnicas y personales deben ser implementadas. Las medidas técnicas y los equipos de protección personal existentes se describen en detalle en esta guía, incluidas las medidas recomendadas al trabajar con NMs.

## 5.2. Medidas técnicas

Cuando las medidas estratégicas no son una opción viable, la alternativa más deseable para controlar la exposición ocupacional es emplear medidas técnicas.

### 5.2.1. Controles sin ventilación

Los controles sin ventilación cubren una serie de medidas técnicas diseñadas para reducir o eliminar la tasa de emisión del proceso y pueden utilizarse junto con sistemas de ventilación para proporcionar un nivel de protección mejorado.

Estas medidas van desde cerramientos, sellos, plantillas y dispositivos de manipulación. Uno de los sistemas más comunes son la contención de guanteras y bolsas de guantes, que pueden utilizarse como un control de no ventilación alrededor de los procesos en polvo a pequeña escala. Otros enfoques de control de ventilación no han sido utilizados en una variedad de industrias, incluyendo el uso de sistemas de suministro de agua-pulverización o sistemas de línea continua.

#### Controles sin ventilación

El uso de controles de no ventilación en la industria es limitado, sin embargo, en algunos casos es una alternativa rentable a los sistemas tradicionales de ventilación.

### 5.2.2. Ventilación

#### Tipos y especificaciones de los sistemas de ventilación

Estos sistemas se clasifican en dos grupos genéricos: sistemas generales de ventilación por extracción "ventilación por dilución" y sistemas locales de ventilación por extracción (LEV, del inglés). Los sistemas locales de ventilación por extracción son el método preferido para controlar la exposición a sustancias nocivas en el aire del lugar de trabajo. La mayoría de los sistemas tienen las siguientes partes:

- **Campana:** Lugar por donde la nube contaminante entra en el LEV.
- **Conductos:** conducen el aire y el contaminante desde la campana hasta el punto de descarga.
- **Filtro de aire o protector:** Filtra o limpia el aire extraído. No todos los sistemas necesitan limpieza con aire.
- **Motor de aire:** El 'motor' que alimenta el sistema de extracción, usualmente un ventilador.
- **Descarga:** Libera el aire extraído a un lugar seguro.

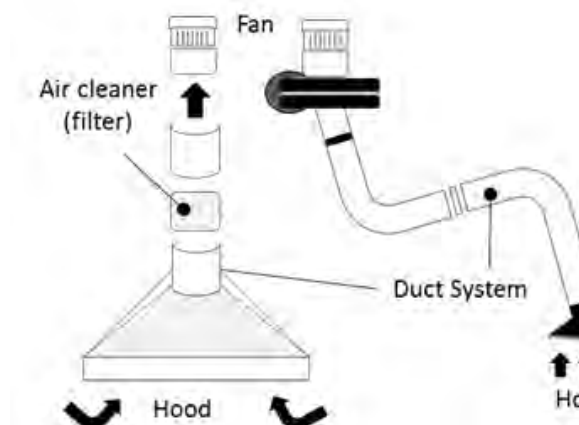


Figura 8. Partes estructurales de los sistemas LEV

Las campanas tienen una amplia gama de formas, tamaños y diseños (figura 9). Controlan las nubes contaminantes de tres maneras diferentes de acuerdo a su clasificación: campanas cerradas, campanas de .

- **Campanas de cierre:** tapa completa o parcialmente el proceso y el punto de generación de contaminantes. Son, por ejemplo:
  - Caja de guantes de laboratorio (caja completa)
  - Cabina de flujo laminar horizontal / descendente
  - Campana de laboratorio (recinto parcial)
  - Cabinas de personal
  - Cabina de pintura pulverizada (recinto parcial)
- **Campanas de captación:** estas campanas están situadas al lado de una fuente de emisión sin rodear. El proceso, la fuente y la nube contaminante están fuera de la campana de captura. Las campanas de captación también se conocen como campanas exteriores o externas. Algunos ejemplos son:
  - Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)
  - ULPA filtrado por la cabina de flujo
  - Capsulas de captura fija
  - Extracción de herramientas
- **Campanas de recepción:** estas campanas están diseñadas para "recibir" o capturar las emisiones de una fuente que tiene cierta velocidad inicial. La nube contaminante es impulsada dentro de la campana por el movimiento de aire inducido por el proceso.

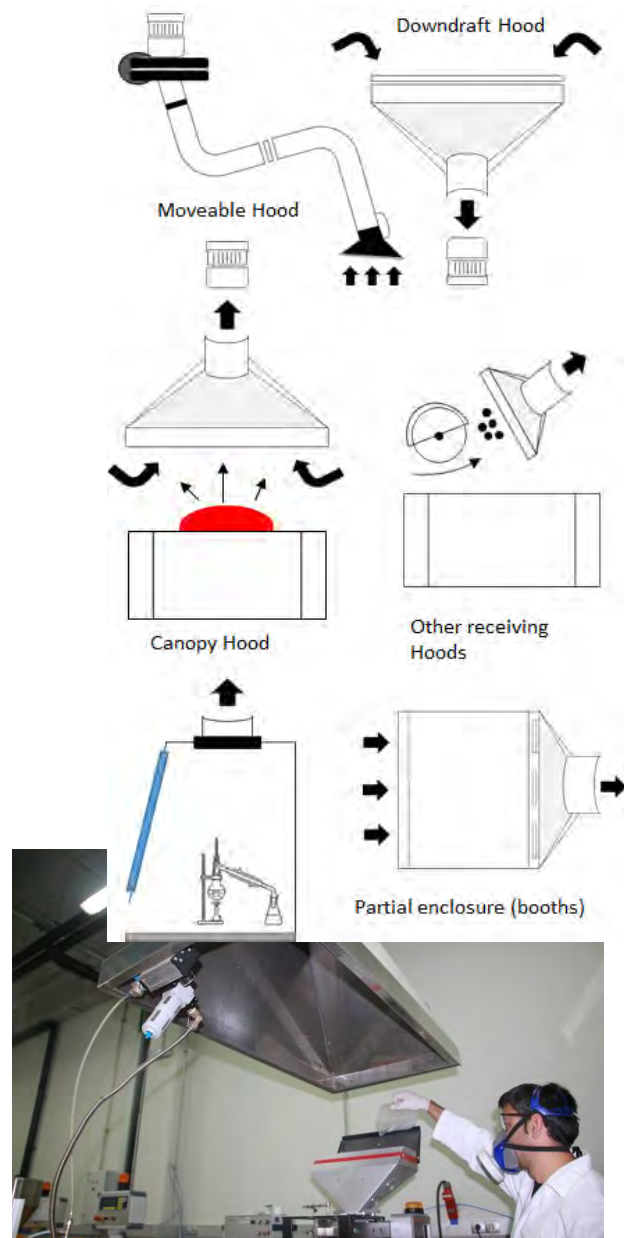


Figura 10. Campana de recepción en las instalaciones de ITENE

### Rendimiento y eficacia de los sistemas de ventilación

Existe poca información sobre la efectividad de los LEVs con respecto a los nanomateriales. Los LEV actualmente disponibles están diseñados para capturar partículas inhalables, con un rango de tamaños de menos de 0,01  $\mu\text{m}$  hasta 100  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico, nubes de partículas respirables que pueden penetrar profundamente en los pulmones, con un límite de tamaño superior de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .

Se ha demostrado que las partículas de más de 100  $\mu\text{m}$  son "no inhalables", ya que son demasiado grandes para respirar. Caen del aire y se asientan en el suelo y superficies cerca del proceso.

La Figura 11 propone algunos rangos indicativos para la eficacia de los diversos tipos de LEV.

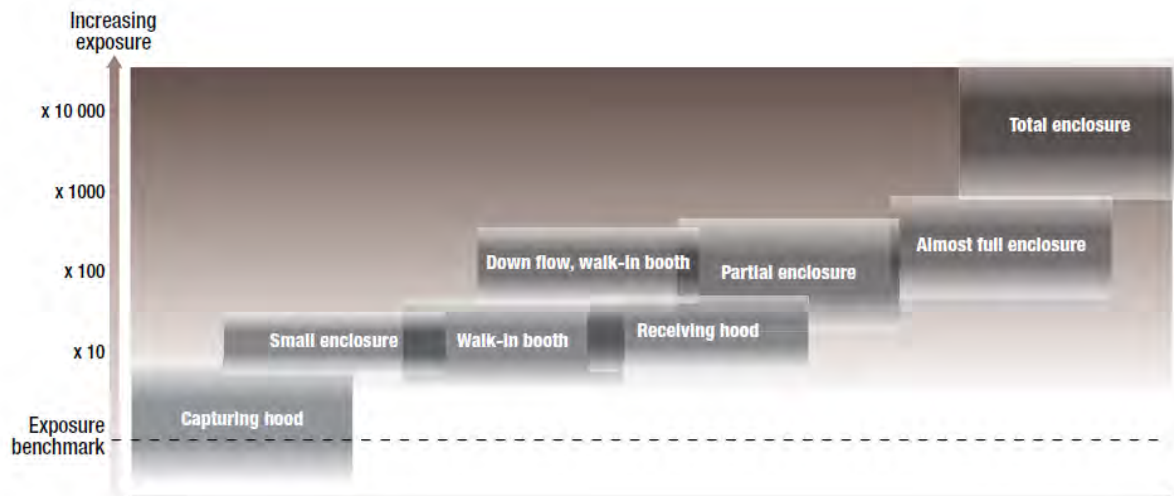


Figura 11. Eficacia de diversos tipos de LEV (HSE, 2011)

Se proporciona una descripción completa de los parámetros relevantes relacionados con la eficacia de los sistemas LEV en los siguientes puntos.

- **Eficiencia de captura:** La velocidad de captura es la velocidad de aire necesaria en cualquier punto aguas arriba de la campana para superar las corrientes de aire opuestas, capturando así el aire contaminado.
- **Velocidad frontal:** La velocidad media del aire en la cara frontal abierta de una campana o cabina medida directamente o calculada.
- **Diseño de campana:** Para funcionar eficazmente, cualquier campana de LEV necesita una velocidad mínima frontal para capturar, contener o recibir nubes contaminantes transportadas por el aire.
- **Usabilidad:** El diseño se basará en los principios de buena ergonomía y uso seguro.
- **Flujo de aire:** la velocidad frontal debe ser suficiente para contener la nube contaminante. Una cuestión clave es elegir un caudal volumétrico capaz de despejar el peor caso de la nube contaminante.
- **Elementos filtrantes:** El LEV utilizado para controlar el polvo, la niebla o el humo debe estar equipado con un filtro HEPA. El recipiente del filtro debe comprobarse cada vez que se cambie.

## Evaluación del rendimiento

La eficacia del control se puede determinar utilizando métodos de evaluación cualitativa. HSE (2011) también describió cómo controlar el gas, el vapor, el polvo, el humo y la niebla en el aire del lugar de trabajo utilizando los LEVs. Describe una variedad de métodos cualitativos y cuantitativos que pueden usarse para evaluar los resultados de LEV. Estos métodos se describen a continuación.

## Métodos de evaluación cualitativa

- **Observación:** La observación incluye juzgar la adecuación del aire de reposición, inspección en conductos, etc. Requiere endoscopio, cámara de fibra óptica o boroscopio.
- **Hacer que las nubes de partícula sean visibles:** Este método se basa en la reproducción del "efecto Tyndall" produciendo un potente haz de luz paralelo que hace visibles las partículas finas. El usuario debe mover la lámpara para iluminar diferentes partes de la nube e indicar el tamaño completo de la nube y el comportamiento.
- **Hacer que el movimiento de aire sea visible usando generadores de humo:** Este método se basa en el uso de un generador de humo para producir una cantidad variable de humo que puede aportar una identificación adecuada del tamaño, velocidad y comportamiento de las nubes contaminantes transportadas por el aire, confirmar la contención dentro de una campana, identificar corrientes de aire o mostrar el movimiento general de aire.

## Métodos cuantitativos de evaluación

Los métodos cuantitativos producen una medición reproducible del rendimiento. Las mediciones por sí solas no proporcionan evidencia directa de la eficacia del control, pero los registros están disponibles para comparación futura, como puntos de referencia. Los métodos incluyen:

- **Cajas llenas:** Midiendo la presión estática entre el interior del recinto y el taller. La presión en el interior debe ser inferior a la de trabajo (HSE, 2011).
- **Cajas parciales:** Midiendo la velocidad frontal, las lecturas no deben variar excesivamente. Los armarios de humos también deben someterse a pruebas adicionales de acuerdo con las normas apropiadas (HSE, 2011).
- **Campanas de recepción incluyendo las de captura:** Midiendo la velocidad frontal. Para campanas más grandes, mida en varios puntos sobre la cara. Las lecturas no deben variar excesivamente. También se ha de medir la presión estática de la campana y la presión estática del plenum así como en el conducto y la velocidad del aire en el conducto (sección recta) (HSE, 2011).
- **Capturar campanas – Ranuras:** Midiendo las velocidades del aire en puntos equidistantes a lo largo de toda la longitud y mediando las lecturas. Las lecturas no deben variar excesivamente. También se ha de medir la presión estática de la campana y la presión estática del plenum así como en el conducto, y la velocidad del aire en el conducto (sección recta) (HSE, 2011).

### Eficacia del LEV

El mantenimiento y la comprobación de funcionamiento son de primordial importancia para garantizar un entorno de trabajo seguro.

La efectividad del sistema LEV puede ser identificada a través de mediciones experimentales (cualitativas o cuantitativas) y de modelos de simulación de la dinámica de fluidos computacional (CFD).

## 5.3. Medidas de organización

Las medidas organizacionales son acciones que se usan solas o en combinación con otros controles para reducir la exposición de los trabajadores a los peligros. Aunque se prefiere la implementación de EPIs en la jerarquía de controles, las medidas organizativas no suelen ser elegidas debido a la dificultad de

implementación, mantenimiento y limitaciones ya que el riesgo en sí mismo no se elimina o se reduce suficientemente. En la siguiente figura se proporciona una lista no exhaustiva de controles administrativos:

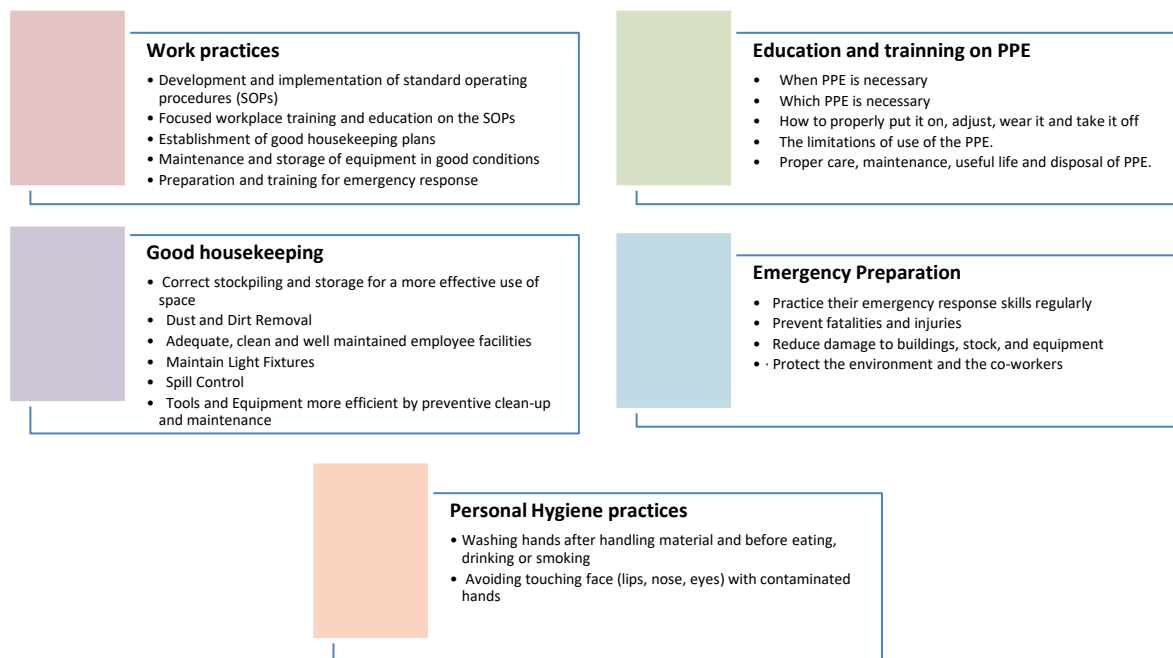


Figura 12. Ejemplos de medidas organizativas

#### 5.4. Equipo de protección personal

Se define equipo de protección personal como "*cualquier dispositivo o aparato diseñado para ser usado o mantenido por un individuo para protección contra uno o más riesgos para la salud y la seguridad*". Existen muchos tipos de EPIs, cada uno de ellos con aplicaciones específicas y requisitos de uso: Respiratorio (para proteger contra los efectos adversos para la salud causados por la respiración de aire contaminado), Ojos y cara (para proteger contra los peligros de los fragmentos de vuelo, salpicaduras químicas), y dermal (se debe usar cuando puede ocurrir una exposición a sustancias nocivas).

##### Uso de equipos de protección personal

La selección de un PPE determinado debe hacerse de acuerdo con el nivel de riesgo estimado.

De acuerdo con la jerarquía de los controles, los PPEs deben ser usados sólo como una última opción, cuando los controles de ingeniería y / o administrativos no ofrecen protección adecuada y no en sustitución de éstos.

El nivel de protección otorgado por el equipo de protección personal puede definirse como la capacidad del equipo para proporcionar protección contra lesiones graves o enfermedades resultantes del contacto con peligros químicos, radiológicos, físicos, eléctricos, mecánicos u otros.

Ninguna combinación única de EPI es capaz de proteger contra todos los peligros. Por lo tanto, el EPI debe utilizarse junto con otros métodos de protección.

### 5.4.1. Equipo de protección respiratoria (EPR)

Existen dos tipos distintos de dispositivos de protección respiratoria:

- **Dispositivos de filtración (purificación de aire):** estos dispositivos purifican el aire ambiente a respirar utilizando filtros capaces de eliminar contaminantes en el aire. Estos dispositivos de protección respiratoria constan de dos componentes principales, una pieza facial y filtro (s).

El filtro puede ser para protección contra partículas (filtros de partículas), gases / vapores (filtros de gas) y para protección contra partículas y gases / vapores (filtros combinados).

Las principales partes estructurales y las especificaciones relacionadas de un respirador comercial se muestran en la tabla 4. Estas especificaciones pueden variar dependiendo del fabricante y el tipo de respirador.

Tabla 4. Principales materiales utilizados en equipos de protección respiratoria

Parte del EPR	Especificaciones
Pieza facial	Compuestos elastoméricos: Butilo IRR, EPDM & caucho natural
Máscara interna	Elastómero termoplástico (TPE)
Sello facial	Silicona
Visor	Visera Policarbonato (PC) recubierto en ambos lados para la resistencia del rasguño y del solvente
Arnés de cabeza	Caucho natural (NR)
Discos de válvula	Silicona
Marco de visera (máscara)	Tereftalato de polibutileno PBTE (polyester termoplástico) reforzado

Tabla 3. Especificaciones para filtros de partículas

Tipo de filtro	Especificaciones
P1	Filtra al menos el 80% de las partículas en
P2	Filtra al menos el 94% de las partículas en
P3	Filtra al menos el 99,95% de las partículas en suspensión en el aire

\* P1 = Filtros de baja eficiencia  
P2 = Filtros de eficiencia media  
P3 = Filtros de eficiencia alta



Figura 13. Tipos de dispositivos de filtrado: 1.Filtro P3; 2.Máscara completa; 3.Media máscara; 4.Máscara desechable

- **Aparato de respiración (aire suministrado):** estos dispositivos suministran al usuario aire respirable (por ejemplo, aire comprimido) o gas respirable (por ejemplo, oxígeno comprimido) de una fuente no contaminada. Estos dispositivos de protección respiratoria consisten en dos componentes principales, una pieza facial y un medio para suministrar aire o gas transpirable no contaminado.

Según la fuente de aire o gas respirable estos dispositivos se clasifican como:

- *Aparato de manguera de aire fresco:* tiene una pieza facial conectada a una manguera de suministro de aire, cuyo extremo corriente arriba debe ser anclado fuera de la atmósfera contaminada.
- *Aparato de respiración de aire comprimido:* Equipo en el que el suministro de aire se realiza a través de una fuente de aire comprimido y limpio.
- *Equipo de respiración autónomo:* Son equipos en los que la fuente de aire es un recipiente a presión transportado por el propio usuario.



Figura 14. Ejemplos de aparatos de respiración

El factor de protección se define como la capacidad del dispositivo de protección respiratoria para reducir los niveles de exposición a niveles aceptables. Este factor de protección (PF) se calcula comúnmente como la relación entre la concentración de la zona de respiración del contaminante fuera de la pieza facial y la concentración dentro de la cara del contaminante en un dispositivo de protección funcionando correctamente.

Este PF depende del factor de ajuste (FF), que representa una medida cuantitativa del ajuste de un respirador en particular a un individuo, y la eficiencia del filtro, que se mide de acuerdo con normas europeas tales como EN 143 y EN149.

#### 5.4.2. Guantes de protección química

Los guantes protectores contra productos químicos y microorganismos son impermeables al aire y fabricados en una amplia gama de elastómeros, incluyendo nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC), neopreno, alcohol polivinílico (PVA), látex de caucho natural, laminado, y butilo o Viton®.

El nivel de protección del guante contra un producto químico depende principalmente del tipo de material y del producto químico específico. Este nivel de protección se determina en base a la resistencia del material a la permeación del producto a través de él en condiciones de laboratorio. Este parámetro se mide en términos del *tiempo de penetración* o *Tiempo de ruptura*.

El tiempo de penetración, en minutos, sirve para clasificar el material de los guantes en seis clases o niveles, de la Clase 1 a la 6. El fabricante debe referir en su folleto al ensayo químico ya las clases de permeación obtenidas. La Tabla 5 presenta esta clasificación que marca la norma aplicable.

Tabla 5. Clasificación de los guantes de protección química según su resistencia a la penetración, medida en minutos

tiempo de penetración <sup>(1)</sup>	Clase
> 10 minutos	1
> 30 minutos	2
> 60 minutos	3
> 120 minutos	4
> 240 minutos	5
> 480 minutos	6



(1) No confundir el tiempo de penetración con el tiempo de uso recomendado de un guante. El tiempo de ruptura se obtiene en condiciones de ensayo de laboratorio y contacto constante con el producto químico. Por lo tanto, estos datos sólo deben utilizarse como referencia cuando se selecciona un guante de acuerdo con las condiciones de exposición.

### 5.4.3. Ropa de protección química

Las prendas de protección química son prendas diseñadas específicamente para proteger o aislar a las personas de los peligros químicos, físicos y biológicos que pueden surgir durante las operaciones con materiales peligrosos.

Dependiendo del diseño, hay dos tipos principales de ropa de protección:

- Prendas de vestir de cuerpo parcial, como chaquetas, mangas, pantalones, delantales, capuchas, polainas, etc., que cubren sólo una parte del cuerpo, y
- Trajes de trabajo y monos, que cubren todo el cuerpo y pueden incluir capucha.

El CEN ha identificado seis niveles de protección para facilitar la elección de la ropa de protección química.

Tabla 6. Tipos de trajes y uso para los que están destinados

	Forma física del contaminante líquido				
	Vapor, gas	Líquido chorro	Líquido pulverizado	Pequeñas salpicaduras	Polvo, partículas Fibras
Tipo	Tipo de ropa 1a, 1b, 1c y 2	Tipo de ropa 3	Tipo de ropa 4	Tipo de ropa 6	Tipo de ropa 5

En el caso de la ropa de protección química, la penetración y la permeación son de especial relevancia. La resistencia a la permeación describe la resistencia de los materiales utilizados en la ropa protectora a la permeación por productos químicos líquidos o vapor con contacto continuo o intermitente. La resistencia a la penetración y la repelencia miden los índices de penetración, absorción y repelencia del material de ropa de protección expuesto a productos químicos líquidos, principalmente de baja volatilidad.



#### 5.4.4. Protectores para ojos y cara

Actualmente existen varios tipos de protectores para los ojos, incluyendo:

- Lentes de seguridad
- Gafas de seguridad (protección ocular ajustada)
- Escudos faciales: hojas de plástico generalmente transparentes que se extienden desde las cejas hasta debajo de la barbilla ya lo largo de todo el ancho de la cabeza del empleado.

Se debe seleccionar un protector o combinación apropiada de protector en base a los peligros a los que los trabajadores pueden estar expuestos, considerando partículas en vuelo, polvo, chispas o lesiones, entre otros peligros potenciales.

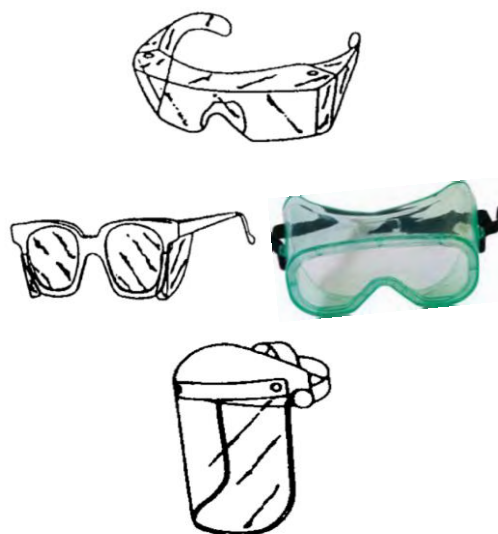


Figura 15. Ejemplos de protección ocular:  
1.Lentes de seguridad; 2.Gafas de seguridad;  
3.Escudos faciales

#### 5.5. Tecnologías de control de emisiones medioambientales

Las tecnologías de control de emisiones incluyen una gama de tecnologías y técnicas que pueden utilizarse para controlar la liberación de contaminantes de fuentes individuales o difusas en el aire, el agua o la tierra.

Tabla 7. Lista no exhaustiva de tecnologías comunes de control de emisiones

Compartimento	Medidas	Descripción
Aire	Ciclones de aire	Los ciclones utilizan la fuerza centrífuga para eliminar la materia en partículas de una corriente de gas (partículas sólidas o gotitas de líquido)
	Depuradores húmedos	Los depuradores húmedos usan una corriente líquida para eliminar las partículas sólidas de una corriente de gas, impactando estas partículas con gotitas de agua ya sea a través de pulverización de agua en el gas o a través de mezclas violentas de agua con la corriente de gas.
	Precipitadores electrostáticos	Dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas que fluye hacia las placas colectoras. A las partículas se les da una carga eléctrica obligándolas a pasar a través de una corona, una región en la que fluyen iones gaseosos
	Precipitadores electrostáticos húmedos	Precipitadores electrostáticos modificados que recogen las partículas cargadas sobre la superficie de recogida húmeda lavando los electrodos con líquido.
	Filtros de tela	Los filtros de tela funcionan de una manera similar a una aspiradora doméstica. Los gases cargados de polvo pasan a través de bolsas de tela donde las partículas secas son capturadas en la superficie del tejido.

Compartimento	Medidas	Descripción
Agua	Microfiltración de agua	La microfiltración (MF) es un proceso impulsado por presión en el que se aplica una membrana para separar las partículas de una solución acuosa.
	Ultrafiltración	Ultrafiltración (UF): un proceso de separación por presión en el que se aplica una membrana de un tamaño de poro entre 1 nm y 100 nm
	Osmosis inversa	La osmosis inversa (RO) es un proceso basado en el uso de membranas cerradas y no porosas que actúan en forma de barrera física para el flujo hidráulico, permitiendo la permeación selectiva del disolvente (principalmente agua) y la retención parcial o total del otro Sustancias disueltas (principalmente sal).
	Nanofiltración	La nanofiltración (NF) es un proceso de separación de membrana con un valor de corte entre 180 y 2000 Dalton.
	Electrodiálisis	La electrodiálisis es un proceso electroquímico mediante el cual partículas, iones, cargadas eléctricamente, son transportadas desde una solución bruta (retentado, diluido) en una solución más concentrada (permeado, concentrado) a través de membranas selectivas de iones aplicando un campo eléctrico.
	Lodo activado	El lodo activado es un proceso para tratar corrientes de aguas residuales utilizando un flóculo biológico compuesto de bacterias y protozoos en condiciones aeróbicas.
	Biorreactor de membrana	Procesos de tratamiento de aguas residuales en los que una membrana permanente como la microfiltración o la ultrafiltración se integra con un proceso biológico (proceso de lodos activados).
	Destilación de membrana	La destilación de membrana (MD) es un proceso en el que una membrana microporosa e hidrófoba separa soluciones acuosas a diferentes temperaturas y composiciones.
	Oxidación avanzada	Los procesos de oxidación avanzada (AOP) son un conjunto de procedimientos de tratamiento químico diseñados para eliminar materiales orgánicos (y a veces inorgánicos) en agua y aguas residuales por oxidación con ozono (O <sub>3</sub> ), peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y / o luz UV.
	Adsorción de carbón activado	La filtración de carbón activado es una tecnología de uso común basada en la adsorción de contaminantes sobre la superficie de granulos de carbono o la retención de contaminantes en los poros pequeños del carbón activado.
	Tecnología de cristalización asistida por filtración (FACT)	es un nuevo proceso híbrido basado en cristalización heterogénea y filtración, que se utiliza actualmente para eliminar al menos un componente de una solución.
Tierra	Asentamiento por gravedad	Utilización de coagulantes para ayudar a la floculación y mejorar la eliminación de sólidos de las corrientes de aguas residuales.
	Desecho de los residuos en el suelo.	Los residuos peligrosos se disponen en orificios o zanjas en el suelo forrados con láminas de plástico impermeables para evitar fugas o lixiviación de sustancias peligrosas en el suelo y

Compartimento	Medidas	Descripción
		el suministro de agua.
	Crecimiento rápido de cristales	Una nueva técnica destinada a inducir artificialmente el crecimiento rápido de cristales de forma amorfa / nanofásica en grandes, por lo tanto, para facilitar la precipitación de partículas y reducir sus capacidades de adsorción.
	Incineración	Proceso común que implica la combustión de sustancias orgánicas contenidas en materiales de desecho y convierte los residuos en cenizas, gases de combustión y calor.
	Phytomining / Phytoremediation	Técnica de tratamiento basada en el uso de plantas que concentran selectivamente metales específicos del medio ambiente en su tejido.

Para determinar la tecnología más apropiada para controlar una corriente de proceso, es necesario identificar y caracterizar qué contaminantes necesitan ser eliminados o controlados.

En la tabla 8 se ofrece información detallada sobre la eficiencia y aplicabilidad de las tecnologías comunes de control de emisiones atmosféricas.

Tabla 8. Aplicabilidad y eficiencia de las tecnologías comunes de control de emisiones atmosféricas

Medidas	Polvo seco	Polvo húmedo	Eficiencia (%)
Cámara de sedimentación / Separador gravitacional	X	X	10-90 No es adecuado para la eliminación de nanopartículas
Ciclón / ciclón de polvo / ciclón húmedo / multi-ciclón / Separación de Vortex	X	X	Polvo (< 1 µm) :5 Polvo (6-10 µm): 50 Polvo (> 10 µm): 90 Polvo (> 50 µm): 99. El tamaño de partícula mínimo eliminado por ciclones es 5-25 µm y 5 µm en multiciclones.
Depuración (general) / Removedor de polvo húmedo / Depuradora de polvo húmedo	X	X	99 (polvo fino)
Torre de pulverización / Depurador de rotación / Purificador dinámico	X	X	PM <sub>10</sub> : 70-99
depurador Venturi / depurador de giro	X	X	50-99 PM <sub>10</sub> : 70-99 PM <sub>0,3</sub> to PM <sub>0,5</sub> : <50
Filtro de tela (separador de polvo de filtración) / Filtro de tubo / Filtro de bolsa	X		99.95 Polvo (> 2,5 µm)
Filtro absoluto / filtro HEPA / filtro de superficie / filtro de cartucho / micro filtro	X		PM-PM <sub>0.1</sub> -PM <sub>0.01</sub> : 99.99-99.999
Filtro de cerámica (separador de polvo de filtración) / Filtro de alta temperatura / Filtro de la vela	X		80-99.99

Medidas	Polvo seco	Polvo húmedo	Eficiencia (%)
Filtro de polvo de dos etapas	X		
Demister / Filtro de aerosol / filtro de lecho profundo		X	<99 Polvo, gotas y aerosoles
Precipitador electrostático seco / precipitador electrostático (ESP) / seco E-filtro / seco ESP / seco precipitador electrostático / Electro filtro	X	X	97- >99.9 PM <sub>1</sub> : > 97
Depurador electrostático húmedo / Filtro húmedo / Húmedo ESP / Húmedo Precipitador electrostático / Electrofiltro	X	X	97-99 Polvo, aerosoles
Depurador de gases (general) / Depurador / Absorbedor / Depurador de aire	X	X	
Depurador de gases ácidos / Depurador ácido	X	X	
Depurador de gas alcalino	X	X	
Catalítico Incinerador	X		

## 6. Eficacia de las medidas comunes de gestión del riesgo frente a la exposición profesional a NMs

### 6.1. Conocimiento actual sobre la efectividad de los EPIs y LEVs

Los conocimientos actuales sobre la eficacia de los equipos de protección personal y las medidas técnicas contra los nanomateriales siguen siendo escasos. Sin embargo, están empezando a aparecer varias iniciativas, entre ellas proyectos de investigación financiados por la UE y estudios de organizaciones de investigación de toda la comunidad científica.

Los proyectos financiados con fondos comunitarios NanoMICEX (FP7- 280713), Scaffold (FP7- 280535), NanoREG (FP7- 310584) y GUIDEnano (FP7-604387) son las fuentes de información más relevantes sobre el desempeño de las medidas de gestión de riesgos contra los nanomateriales. Por otra parte, instituciones como el IRSN (Instituto de Radioprotección y Sustancia Nucléaire) y el INRS (Instituto Nacional de Investigación y Seguridad) de Francia están muy activos en la publicación de nuevos datos sobre la eficacia de los equipos de protección personal.

En las Tablas 9-12 se resumen los estudios más relevantes publicados hasta ahora sobre los equipos de protección personal.

Tabla 9. Estudios publicados sobre equipos de protección respiratoria

Ref	Tipo de EPR	Nanomaterial	Tamaño (nm)	Eficiencia de referencia (%)	Eficiencia Experimental (%)	Ref. nr.
	Respiradores para mascarillas con filtro de partículas aprobado por NIOSH (N95, N99, P100)	MWCNT		N95: 95 % N99: 99 % P100: 99.97 %	N95: > 98,21 % N99: > 99,76 % P100: > 99,994%	9
		NaCl Monodisperso	20-400 nm		N95: > 95,72 % P100: > 99,999%	10

	NaCl Polidisperso	30- 1000 nm		N95: > 99 % P100: > 99,7%	
				N95: > 95 %	11
		41 nm		N95: > 95 %	14
		33 – 73 nm		N95: < 95 %	
		45-52 nm	84,7-97,3%	N95: 84 – 97 %	17,18
	Monodisperso	10-200 nm		N95: >95%	
	NaCl Polidisperso			N95: > 99,88%	
	NaCl	7-289 nm	94,7-97,2 %	N95: > 95 %	27
	NaCl	10 – 400 nm		N95: > 99 % P100: > 99,98%	36
	NaCl	20 – 900 nm		N95: > 95 %	37
	NaCl	20 – 500 nm			
Respiradores de filtración de partículas de la UE (FFP1, FFP2, FFP3)			R95: 95 % P95: 95 %	N95 < R95 P95 > 85 %	39
	NaCl	93 – 1600 nm	78 % 92 % 98 %	FFP1: 94,90% FFP2: 96,31% FFP3: 96,25%	35

Tabla 10. Estudios publicados sobre ropa de protección

Nanomaterial		Tamaño	Material / Tipo	Eficiencia de referencia (%)	Eficiencia Experimental (%)	Ref. nr.
Gas y partículas	NPs grafito	35–40 nm	Algodón de grosor 650 µm		70 %	1
			Polipropileno grosor 320 µm		88 %	
			Textil no tejido de polietileno de alta densidad y grosor 115 µm		96 %	
			algodón		73%	2
			Textil de polietileno de alta densidad		99,4%	
	TiO <sub>2</sub> Pt	TiO <sub>2</sub> : 9 - 90 nm Pt: 9 - 19 nm	algodón		73%	3
			Textil de polietileno de alta densidad		99,4%	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> NaCl	30 - 500 nm	Celulosa (Paño de limpieza solvente)		87,2%	4
			Celulosa (Paño de limpieza)		92%	
			Celulosa (Paño de limpieza)		90,4%	
			Celulosa (Paño de limpieza para maquinaria)		85,3%	
			Polipropileno (bata de hospital)		83,3%	
			Polipropileno (traje de hospital)		79,6%	
			Polipropileno (mono sin capucha)		87,2%	
			Polipropileno (redcilla del pelo)		93,5%	
			Polipropileno (redcilla del pelo)		96,5%	
			Meta-aramida (Aislamiento)		95,6%	

			de conjunto de bombero)			
	NaCl	100 - 500 nm	Tejidos y tejidos fibrosos		50 - 80%	5
	NaCl	14 – 400 nm	3 Telas no tejidas (A, B, C) 2 tejidos (D, E)		A, B, C >99% D =91.5% E = 50%	8
Polvos o soluciones coloidales						
Polvos o soluciones coloidales	TiO <sub>2</sub>		35/65 tejido liso dealgodón/poliéster		Polvo de nTiO <sub>2</sub> detectado después de 7 h de deformaciones mecánicas	6
			Polietileno-polipropileno (PE-PP) no tejido			
	Colloidal AgNPs	10–150 nm	Bata de laboratorio de algodón			7
			Ropa de sala blanca de poliéster			

Tabla 11. Estudios publicados sobre guantes de protección

Nanomaterial	Tamaño	Material	Eficiencia de referencia (%)	Eficiencia Experimental (%)	Ref. nr.
suspensiones de Nanopartículas de oro (nAu)	5 nm	Guantes de caucho de nitrilo (grosor ~ 100 µm)		70 %	Vinchess
	50 nm			88 %	
Nanoalumina Nanoarcillas		Guantes de látex sin polvo		Observación de superficie	Kwangseog Ahn and Michael J. Ellenbecker
		Guantes de examen médico de nitrilo sin polvo			
		Guantes de algodón			

Tabla 12. Estudios publicados sobre medios de filtración respiratoria

Tipo	Nanomaterial	Tamaño (nm)	Eficiencia de referencia (%)	Eficiencia Experimental (%)	Ref. nr.
Filtros fibrosos (HEPA, ULPA, FFP3) HEPA	Grafito	80 nm		>99% for all filters	2
Filtro electrostático FF3	Pt TiO <sub>2</sub>	10 nm		max 99,8% 99,5% TiO <sub>2</sub>	3
	Grafito	35 nm		99,9%	
Medios filtrantes planos: Fibra de vidrio HD-2583 Electret	monodisperso	23, 30, 47, 86, 165, 256, 307 nm			12
	polydisperso	10-400 nm			
33 filtros respiratorios (9 filtros hidrófobos plisados y 24 electrostáticos)				99,3-99,998% Para los nueve filtros hidrófobos plisados 65-99,75% para los 24 filtros	22

				electrostáticos	
12 filtros de sistema respiratorio (6 plisados y 6 electrostáticos)				77,4 – 99,996% (para 10 de los 12 filtros < 99,97%)	23
Pulverización de plasma	NaCl	0.03 and 10.0 µm		95.34 - 99.99%	28
Fibras minerales de zeolita	Partículas de cenizas volantes	4 - 10 nm		91.5 - 100%	29
Medio filtrante fibroso lavable por pulso Vidrio de borosilicato,	NaCl	< 150 nm		92.14 - 94.8 %	31
Filtro de Membrana HEPA Limpiadores de aire portátiles con filtro de electreto (EE) y medio de alta eficiencia (HE)	Velas de cera pura que emiten carbono elemental negro fino	10 nm – 10 µm		88.6%	33
Mezcla de éster de celulosa (MCE), Policarbonato, politetrafluoroetileno (PTFE), cloruro de polivinilo (PVC) y membrana de plata	NaCl	10 – 400 nm		MCE, PTFE y PVC > 92%, Policarbonato 40,23 - 99,61% Membrana de plata 38,58 - 99,99%	34
Filtro de membrana de acetato de celulosa y filtro de fibra de vidrio	Fullerenos y CuO	CMD = 142 – 154 nm		Filtro Revestido con surfactante catiónico = 70%, Filtros aniónicos revestidos con tensioactivo = 0%.	41

Tabla 13. Estudios publicados sobre sistemas locales de ventilación extractiva

Tip	Nanomaterial	Tamaño (nm)	Eficiencia de referencia (%)	Eficiencia Experimental (%)	Ref.
Sistema LEV móvil	Ag	300 nm	99 %		L. Old, M.M. Methner et al,2008
	Mn	300 nm	> 99 %		
	Co	300 nm	> 99 %		
Campana de velocidad constante	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200 nm	Buen rendimiento observado		S. J. Tsai, et al, 2010.
Campana de flujo constante			Bajo rendimiento		

Armario de seguridad biológico	MWCNTs	10-50 nm diámetro externo y 1-20 µm longitud	Buen rendimiento		Lorenzo G. Cena and Thomas M. Peters, 2011
filtros para humos (HEPA)	Ag	10 nm	> 99.99 %		Seong Chan Kim, et al, 2007

Dentro de NanoRISK, la tarea llevada a cabo en la acción B1 se centró en el desarrollo y validación de procedimientos operativos estándar para apoyar una evaluación robusta, reproducible y confiable del desempeño de las MGR frente a NMs. El capítulo 6.2 resume las estrategias de prueba propuestas.

Los datos publicados hasta la fecha sugieren un buen rendimiento para el equipo de protección respiratoria, donde la mayoría de los datos obtenidos de publicaciones revisadas por pares mostraron eficiencias por encima de los niveles de umbral definidos en las normas armonizadas de referencia.

En el caso de la ropa de protección y los guantes de protección química, todavía hay muchas incógnitas sobre si las medidas de protección tradicionales proporcionan o no un nivel adecuado de protección contra los NMs. La información obtenida de la literatura pone de relieve dos grandes desafíos vinculados con la protección corporal. La primera es entender los parámetros externos que pueden influir en la penetración de nanopartículas a través de tejidos comúnmente emitidos. El segundo es considerar las variaciones en las propiedades superficiales de los materiales utilizados guantes de protección y ropa de protección, lo que resulta en altas variaciones en los resultados de rendimiento.



## 6.2. Ensayos desarrollados dentro del proyecto NanoRISK


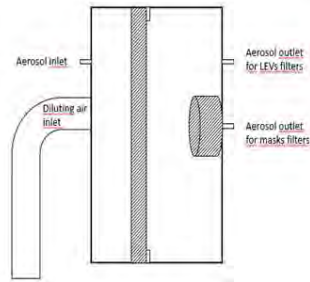
Se desarrolló un conjunto de 8 SOPs, incluyendo 3 para protección respiratoria (máscaras, filtros), 3 para ropa protectora (abrigo, guantes) y 2 para controles de ingeniería (LEVs). A continuación, se muestra la lista de protocolos.


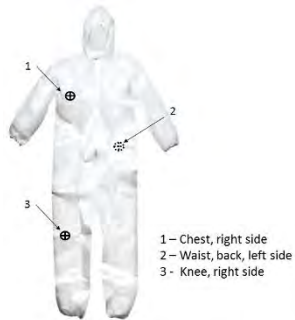
1. Determinación de la fuga hacia adentro de nanopartículas
2. Determinación de la fuga hacia el interior total de nanopartículas
3. Determinación de la penetración del filtro de partículas por nanopartículas
4. Determinación de las fugas hacia el interior de aerosoles de nanopartículas en trajes
5. Determinación de la resistencia a la penetración por pulverización de una solución líquida de nanopartículas
6. Determinación de la permeación a las nanopartículas en guantes
7. Determinación de la eficiencia de captura de partículas de sistemas LEV móviles
8. Determinación de la efectividad de la campana de laboratorio ventilada

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la configuración experimental definida en cada uno:

Tabla 14. Diseño experimental para las pruebas de la eficiencia de MGR en NanoRISK

MGR	PF	Descripción	Diseño
Equipo respiratorio de protección (RPE)	Fuga hacia adentro (IL) / Fuga hacia adentro total (TIL)	<p><b>Ámbito de aplicación:</b> caracterización de la TIL, definida como la penetración de partículas en la RPD, incluyendo sellado facial, válvulas y juntas, y penetración a través del filtro. IL se refiere a la penetración de las partículas en el RPE excluyendo los filtros.</p> <p><b>Objetivo:</b> evaluar el nivel de protección proporcionado por la filtración de las piezas faciales, la mitad y las máscaras completas contra las nanopartículas transportadas por el aire.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Configuración (1)</b> - Evaluación de la fuga hacia el interior total y fugas hacia el interior con una cabeza de prueba</p> <p>NM se conducen al horno de ensayo, donde se coloca una cabeza de Sheffield que lleva un respirador. La cabeza de Sheffield es una cabeza de maniquí con tubos internos, que permiten recoger el aire desde el interior de la máscara</p> <p><b>Establecer (2)</b> - Evaluación de la fuga hacia adentro total en sujetos humanos</p> <p>Los sujetos se colocan en una cinta rodante y al caminar, se les pide que realicen una lista de ejercicios definidos en las normas EN actuales.</p> <p>En ambos conjuntos, la concentración de NMs se mide dentro y fuera de la RPD probada por medio de dispositivos de lectura directa (CPC, OPS, P-Track, SMPS).</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> penetración de partículas (P)</p> $P(\%) = 1,25 * \frac{C_2}{C_1} * 100$ <p>Dónde,  C1: concentración de la prueba  C2: concentración media medida dentro de la pieza facial  1,25 es un factor de corrección debido a la retención de cloruro de sodio en los pulmones</p> <p><b>Norma de referencia:</b> UNE-EN 13274-1 2001</p>	 

MGR	PF	Descripción	Diseño
	Penetración en filtros	<p><b>Alcance:</b> caracterización de la penetración de NMs a través de filtros de partículas durante la exposición a un flujo de aerosol.</p> <p><b>Objetivo:</b> evaluar el nivel de protección proporcionado por los filtros de partículas, HEPA y ULPA contra las nanopartículas transportadas por el aire.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Configuración:</b> la evaluación de la penetración del filtro se realiza utilizando una caja metálica en la que se inserta un aerosol que contiene nanopartículas de NaCl y se diluye con aire limpio y seco.</p> <p>La caja metálica está equipada con un portafiltro especialmente estructurado para contener el filtro LEV o un filtro respiratorio de máscaras.</p> <p>Los niveles de NMs se miden aguas arriba y aguas abajo del filtro que se está probando por medio de dispositivos de lectura directa (CPC, OPS, P-Track, SMPS).</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> penetración de partículas (P)</p> $P(\%) = \frac{C_2}{C_1} * 100$ <p>Dónde,  C1 Concentración de NaCl antes del filtro;  C2 Concentración media medida después del filtro.</p> <p><b>Norma de referencia:</b> UNE-EN 13274-7 2008</p>	 

MGR	PF	Descripción	Diseño
Ropa de protección	Penetración de partículas	<p><b>Alcance:</b> Caracterización de la penetración de NMs a través de ropa de protección química (CPC) durante la exposición a un flujo de aerosol.</p> <p><b>Objetivo:</b> evaluar el nivel de protección proporcionado por la ropa protectora contra las nanopartículas transportadas por el aire.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Montaje:</b> las pruebas se pueden realizar utilizando un maniquí (estático) o voluntarios (dinámico). Se seleccionan tres puntos del traje para medir la concentración en el interior, que luego se compara con la concentración fuera del traje. Un flujo de vaina de aire limpio y seco se suministra dentro del traje al mismo caudal que los dispositivos de medición están aspirando para no crear depresión o un resultado falso.</p> <p>Los extremos de manga del traje, así como las costuras, cierres, cremalleras, etc. están sellados para evitar la penetración a través de las partes abiertas y sólo probar el material del traje.</p> <p><b>Condiciones de prueba (sujetos humanos):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 min de pie</li> <li>- 3 min caminando</li> <li>- 3 minutos en cuclillas.</li> <li>- 3 sondas de medición: pecho, cintura y rodilla</li> <li>- Seis trajes probados</li> </ul> <p><b>Factor de rendimiento:</b> La fuga promedio total hacia el interior (TILA) se informó como una proporción de la concentración de partículas de prueba dentro del traje y la cámara de ensayo (para los seis trajes, todos los ejercicios y las 3 sondas)</p> <p>Factor de protección nominal = 100 / (TILA)</p> <p><b>Norma de referencia:</b> UNE-EN ISO 13982-2 2005</p>	 

MGR	PF	Descripción	Diseño
Guantes de protección química	Penetración de partículas	<p><b>Alcance:</b> caracterización de la penetración de nanopartículas en el aire a través de material de guantes</p> <p><b>Objetivo:</b> evaluar el nivel de protección proporcionado por los guantes de protección química contra las nanopartículas transportadas por el aire.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Preparación:</b> se corta un espécimen del guante y se sujeta en una celda de prueba como una membrana de barrera. El lado "exterior" del espécimen está expuesto a nanopartículas de NaCl transportadas por el aire, y las concentraciones se miden en ambos lados del guante y se comparan.</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> penetración de partículas (<math>P_n</math> (%))</p> <p>El porcentaje de penetración se calcula a partir de las mediciones en cada lado del guante, considerando <math>C_{out}</math> la concentración justo antes del guante y <math>C_{in}</math> después de la muestra de guante.</p> $P_n(\%) = \frac{C_{in}}{C_{out}} * 100$ <p><b>Reference standard:</b> EN 16523-1:2015</p>	<p>1 - Entrance material 2 - Fresh clean air flow 3 - Pressure vessel/liquid measurement device 4 - Gasket 5 - Test sample</p>
	Permeación	<p><b>Alcance:</b> caracterización de la permeación de nanopartículas diluidas en una solución a base de agua a través del material de los guantes por mecanismos de permeación.</p> <p><b>Objetivo:</b> evaluar el nivel de protección de los guantes protectores químicos contra las nanopartículas dispersadas en agua o disolventes.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> ZnO NP dispersado en agua (45 - 56 nm)</p> <p><b>Configuración:</b> para probar permeación a dispersiones líquidas de nanopartículas, se requiere una celda de Teflón. En este caso, se coloca una muestra circular del guante en reposo entre la dispersión de líquido y un muestreador de filtro que se analizará después de 1 hora de contacto.</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> permeabilidad de partículas</p> <p><b>Referencia estándar:</b> ISO / CD 19918</p>	

MGR	PF	Descripción	Diseño
(Sistemas LEV – Campana de ventilación	Contención	<p><b>Ámbito de aplicación:</b> caracterización de la eficacia de contención de NMs de una campana de laboratorio ventilada.</p> <p><b>Objetivo:</b> asegurar que las campanas de laboratorio ventiladas sean capaces de proporcionar un nivel mínimo de protección (contención) al manejar NMs.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Montaje:</b> El método de ensayo se basa en la generación y dispersión de NaCl nanométrico dentro del espacio de trabajo de una chimenea. El factor de contención se define como la relación de la concentración calculada de gas trazador en el espacio de trabajo de la chimenea a la concentración medida en el plano de medición interior o exterior. El método propuesto se basa en el uso de un inyector situado dentro del espacio de trabajo de la chimenea, así como 9 sondas de muestreo dispuestas en una rejilla en el plano de medición interior.</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> Eficacia de captura (Cf) estimada comparando la concentración al 100% de captura de aerosol C100 y la concentración media medida Cm en diferentes puntos de muestreo: <math>Cf = (C100 - Cm) / C100 * 100</math></p> <p><b>Norma de referencia:</b> UNE-EN 14175-4: 2005 / ASHRAE 52 2007</p>	
(LEV) systems - movable capturing hood	Eficiencia de captación	<p><b>Ámbito de aplicación:</b> caracterización de la eficiencia de captura de ENMS utilizando una campana de captura móvil.</p> <p><b>Objetivo:</b> garantizar que las campanas de captura móviles sean capaces de proporcionar un nivel mínimo de protección cuando se manipulen NM.</p> <p><b>Sustancia de referencia:</b> Partículas de NaCl (50 - 80 nm)</p> <p><b>Configuración:</b> La eficacia de captura de nanopartículas de una campana de captura se prueba mediante atomización de una solución acuosa de NaCl (50 nm). El aerosol se libera a través de varios tubos difusores en el área de trabajo. La primera captura de aerosol al 100% se obtiene colocando los tubos difusores lo más cerca posible del conducto de escape dentro de la campana extractora. Con un CPC, la concentración de aerosol se medirá dentro del conducto. La concentración a diferentes distancias del difusor se compara con los niveles de concentración durante el experimento de captura de aerosoles al 100%.</p> <p><b>Factor de rendimiento:</b> La eficiencia de captura (Cf) es la relación entre la concentración medida de gas marcador en el conducto de la campana de captación con captura de aerosol al 100% (a 0 cm de altura) y la concentración medida de gas trazador en el conducto de la campana de captura El capó posicionado a una altura específica por encima de la superficie de trabajo.</p> <p><b>Norma de referencia:</b> UNE-EN 1822 / ASHRAE 52 2007</p>	

### 6.3. Factores de protección y niveles de rendimiento basados en los estudios realizados en NanoRISK

Se proporciona información detallada sobre la configuración experimental y los resultados en las entregas D. B1 y D. B3.

### 6.3.1. Protección respiratoria

Una amplia gama de pruebas fueron llevadas a cabo por el equipo de investigación de ITENE dentro del proyecto, incluyendo ensayos usando un test head (estático) y ensayos sobre sujetos humanos (dinámico). Estos últimos se basan en las normas EN actuales, en donde varios sujetos completan un conjunto de ejercicios diseñados para evaluar la protección proporcionada por un dispositivo respirador. También se realizaron estudios de penetración de filtros siguiendo los SOP desarrollados dentro del proyecto. La tabla siguiente resume los resultados obtenidos de las actividades experimentales realizadas

Tabla 15. Eficiencias de diferentes tipos de máscaras y filtros de partículas probados para NPs de NaCl.

EPI	Especificaciones	Medidas	Eficiencia estándar	Protección (NMs)	NP ensayada
Filtros	P2	Eficiencia	94 %	99.83 %	NaCl
	P3	Eficiencia	99.95 %	99.97 %	NaCl
Media máscara	Nueva con filtro P3	Eficiencia	99.95%	99.47 %	NaCl
	Envejecida con filtro P3	Eficiencia	99.95%	99.77 %	NaCl
Máscara Completa	Nueva con filtro P3	Eficiencia	99.95%	99.73 %	NaCl
	Envejecida con filtro P3	Eficiencia	99.95%	99.78 %	NaCl
Deshechable	FF1	Eficiencia	80%	75.63 %	NaCl
	FFP2	Eficiencia	94%	88.09	
	FFP3	Eficiencia	99%	93.59	

Tabla 16. Eficiencias de diferentes tipos de máscaras y filtros probados para NPs de SiO<sub>2</sub>.

EPI	Especificaciones	Medidas	Eficiencia estándar	Protección (NMs)	NP ensayada
Media máscara	P2	Eficiencia	94 %	96.26 %	NaCl
	P3	Eficiencia	99.95 %	99.99 %	NaCl
Máscara Completa	P2	Eficiencia	94 %	99.98 %	NaCl
	P3	Eficiencia	99.95 %	99.55 %	NaCl

Los resultados mostraron que los respiradores de mascarilla completa y media proporcionaron niveles de rendimiento adecuados de eficacia de filtración contra NMs. Las relaciones totales de fugas hacia dentro (TIL) determinadas en estudios relevantes sugieren que la fuga de sello facial y no la penetración del filtro es un parámetro clave a considerar cuando se trabaja con nanopartículas.

### 6.3.2. Equipos de protección dérmica

Se realizaron varios ensayos para evaluar la efectividad del equipo de protección dérmica común contra NMs, incluyendo guantes resistentes a productos químicos y ropa protectora. En el caso de la ropa de protección, en cuanto a la protección respiratoria, se pueden realizar ensayos de resistencia a la penetración de NMs con sujetos humanos cuando el material en aerosol es NaCl, para examinar los trajes en movimiento o con un maniquí con cualquier otro material.

Los resultados de la evaluación de la eficacia de los guantes de protección química y trajes de protección química se presentan en esta sección.

Tabla 17. Eficacia de las batas protectoras recomendadas contra los productos químicos que utilizan NaCl.

EPI	Especificaciones	Medidas	Eficiencia estándar	Protección (NMs)	NP ensayada
Mono de protección (PE) tipos: 4,5,6	Pecho	T.I.L (%)	< 15 %	< 4 %	NaCl
	Espalda	T.I.L (%)	< 15 %	< 12 %	NaCl
	Rodilla	T.I.L (%)	< 15 %	< 8 %	NaCl
	Global	T.I.L (%)	99.8 %	94.255 %	NaCl
Mono de protección (PE) tipos: 3,4,5,6	Pecho	T.I.L (%)	< 15 %	< 6 %	NaCl
	Espalda	T.I.L (%)	< 15 %	< 12 %	NaCl
	Rodilla	T.I.L (%)	< 15 %	< 3 %	NaCl
	Global	T.I.L (%)	99.8 %	93.379 %	NaCl

Tabla 18. Eficacia de los guantes protectores químicos frente a NMs

EPI	Especificaciones	Medidas	Eficiencia estándar	Protección (NMs)	NP ensayada
Deshechables	Nitrilo fino	I.L (%)		0.040	NaCl
	Nitrilo grueso	I.L (%)		0.006	NaCl
	Vinilo	I.L (%)		0.103	NaCl
	Vinilo sin polvo	I.L (%)		0.013	NaCl
	Latex sin polvo	I.L (%)		4.64	NaCl
Reusables	Neopreno / Natural Latex	I.L (%)		1.63	NaCl
	PVC	I.L (%)		3.17	NaCl
	Butilo II	I.L (%)		-	NaCl

En vista de la tabla, el rendimiento depende fuertemente del material del guante, y aunque generalmente no hay poros en su superficie, algunos pequeños defectos o huecos pueden ser suficientes para ofrecer una manera de penetrar el guante.

### 6.3.3. Protección ocular

En el caso de protección ocular, sólo se probaron gafas de seguridad puesto que se consideran la única protección ocular que ofrece una disposición cerrada. Las gafas probadas eran de dos tipos. Un simple par de gafas que se pueden comprar en una ferretería, con pequeños agujeros en los lados para permitir la ventilación, y un par especializado de gafas con pantalla revestida para ser resistente a los arañazos en el exterior y permanente anti-niebla en el interior, además Protección UV. Los resultados de la evaluación de la eficacia se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Eficacia de las gafas de seguridad frente a NMs

EPI	Especificaciones	Medidas	Eficiencia estándar	Protección (NMs)	NP ensayada
Conventional		I.L (%)		57.79 %	NaCl
Tight-fitting goggle		I.L (%)		20.07 %	NaCl

### 6.3.4. Ventilación Local Extractiva (LEV, Local Exhaust Ventilation)

- Campana de laboratorio ventilada

Se realizaron tres pruebas independientes para probar la eficacia de contención de las campanas de laboratorio ventiladas. Para apoyar la comprensión de los resultados experimentales, la prueba se basa en el uso del inyector de gas de ensayo, que consiste en un cilindro hueco perforado de acero inoxidable (SS). Un atomizador de chorro único está conectado al inyector para generar partículas de NaCl de 50 nm. Una rejilla de muestreo hecha de tubos de muestreo SS está conectada a 9 contadores de partículas (CPC) usando tubos conductores para medir la concentración de partículas simultáneamente.

Las mediciones con los nueve CPC se realizan en la intersección de dos líneas horizontales y tres verticales igualmente espaciadas (130 mm más exterior, líneas entre <600 mm, figura 16) y comparadas con las concentraciones de partículas generadas.

En el escape del inyector se midieron aproximadamente 35.000 partículas por  $\text{cm}^3$ . Las concentraciones de partículas más altas se midieron en la posición de muestreo 5 como puede verse en la figura 16.

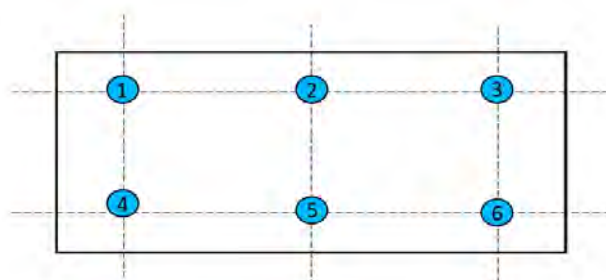


Figura 16. Seis posiciones de medición (arriba) con concentraciones de partículas en  $\text{pt} / \text{cm}^3$  (abajo) durante tres pruebas (A, B, C)

La concentración media de número de partículas de las tres pruebas y posiciones fue de aproximadamente 300 partículas por  $\text{cm}^3$ , dando como resultado una eficiencia de  $99,04 \pm 0,36\%$ .

Test A	21	19	21
	688	891	30
Test B	2	7	11
	953	1553	26
Test C	3	6	9
	184	1660	8

Figura 17. Seis posiciones de medición (fig. 16) con concentraciones de partículas en  $\text{pt} / \text{cm}^3$  (abajo) durante tres pruebas (A, B, C)

- **Campana de captura móvil**

La capacidad de captura de nanopartículas de una campana de captura móvil (Nederman Filtercart Carbon, 750-900 m<sup>3</sup>, HEPA > 99,97%) se determinó dentro de la cámara de ensayo con fondo de partículas cero. Se simula una fuente de emisión utilizando tubos difusores conectados a un atomizador de seis chorros que genera partículas de NaCl de 50 nm. Las mediciones de partículas se realizan dentro del conducto de muestreo de la campana de captación y en el área circundante.

La concentración del número de partículas en la captura de aerosol al 100% se compara con la concentración del número de partícula a diferentes distancias del difusor de captura para calcular la eficiencia. Los resultados de los experimentos de eficiencia de captura se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Experimentos de eficiencia de captura de resultados

Tilted capture hood		Vertical capture hood	
Distance diffuser pipes – capture hood (cm)	Efficiency with tilted capture hood (%)	Distance diffuser pipes – capture hood (cm)	Efficiency with vertical capture hood (%)
0	100 ± 14	0	100 ± 5
15	79 ± 4	5	79 ± 6
50	72 ± 2	20	53 ± 43
65	63 ± 5	45	82 ± 2
-	-	70	66 ± 20

Los resultados de la campana de captación inclinada muestran una disminución en la eficiencia cuando la distancia aumenta de 0 a 65 cm. Con una campana colocada verticalmente, la eficiencia disminuye gradualmente a 5 cm y cae significativamente a 20 cm. A 45 cm se mide una eficiencia más o menos similar en comparación con una eficiencia de 5 cm. La caída a 20 cm es probablemente el resultado de una considerable turbulencia cuando la campana de captación está situada a esta distancia

## 7. Lista de medidas para la seguridad y el control de la exposición

### 7.1. Lista de medidas para controlar la exposición ocupacional a NMs

La motivación del proyecto NanoRISK es definir un compendio de medidas apropiadas para prevenir, reducir y controlar la exposición a NMs en el lugar de trabajo y la probabilidad de liberaciones no intencionales de NMs durante la producción, uso y tratamientos de fin de vida.

Este capítulo proporciona un conjunto de medidas recomendadas que se pueden utilizar para reducir los niveles potenciales de exposición a NMs en la salud del lugar de trabajo basados en el conocimiento generado dentro de NanoRISK. Estas medidas siguen los principios de la jerarquía de controles, incluyendo: 1) sustitución, 2) medidas técnicas, 3) medidas organizativas, y 4) equipos de protección personal.

#### 7.1.1. Sustitución

El primer enfoque recomendado es seleccionar NMs menos peligrosas. Para ello se deben considerar las siguientes especificaciones:

- Efectos tóxicos específicos de la forma a granel
- Forma de Partículas y Relación de Aspecto
- Tamaño y superficie
- Forma física (polvo / líquido / matriz sólida)
- Propiedades físicas: solubilidad y pulverulencia

La siguiente tabla muestra una clasificación de toxicidad propuesta basada en publicaciones revisadas por pares.

Tabla 21. Categorías tóxicas basadas en propiedades fisicoquímicas relevantes de los nanomateriales  
(Fuente: ITENE)

	Extremadamente tóxico	Muy tóxico	Moderadamente tóxico	Ligeramente tóxico	No tóxico
Efectos de la sustancia activa	Sustancias cancerígenas, mutagénicas y tóxicas para la reproducción	Sustancias mutagénicas y tóxicas para la reproducción Irritación / sensibilización de la piel.	Mutagenicidad (cat. 2)	Sensibilizante cutáneo	No clasificado
Forma de partícula y relación de aspecto	Fibras > 10 µm	Fibras > 5 µm Esféricas	Fibras < 2 µm No esférico *	Esférico	-
Diámetro de partícula	1-10	11-40	41 -100	100 - 300	-
Forma física	Polvo	Polvo / Líquido	En líquido	En sólido	-
Solubilidad	Baja	Difícilmente soluble	Parcialmente soluble	Soluble	Soluble
Pulverulencia	Alta	Media	Baja	Muy baja	Muy baja

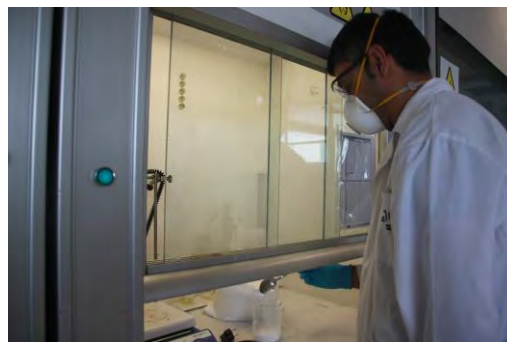
De acuerdo con la tabla 21, se recomienda altamente seleccionar NMs solubles, con un potencial de polvo muy bajo y no clasificados como peligrosos a granel. Cuando no sea posible la sustitución por NMs potencialmente menos peligrosas, trate de introducir las mejores prácticas basadas en las categorías tóxicas descritas en la tabla 21. Ejemplos de medidas de reducción de fuentes basadas en principios de sustitución son:

- Reducir al máximo la cantidad de nanomateriales;
- Trate de usar materiales / productos listos para usar para evitar una preparación adicional antes de su uso en el lugar de trabajo. Preferiblemente, utilice NM en una matriz (es decir, dispersión, suspensión, pasta, paletizada o encapsulada);
- Elija los métodos de trabajo que generen el menor número de aerosoles posible (métodos de procesamiento de bajo polvo): es decir, cortar en lugar de aserrar y cepillar / laminar en lugar de rociar.

### 7.1.2. Medidas técnicas: Ventilación

Las medidas técnicas son probablemente la estrategia de control más efectiva y aplicable para la mayoría de los procesos de nanomateriales.

La ventilación de escape local es la medida técnica más común utilizada para controlar las exposiciones ocupacionales a los contaminantes del aire, incluyendo NMs. El uso de ventilación general se limita a fuentes de baja toxicidad que generalmente se difunden por todo el lugar de trabajo y donde los trabajadores están a una distancia suficiente de la (s) fuente (s). El uso de sistemas locales de ventilación de escape (LEV) es preferido a la ventilación general y debe ser considerado cuando se trabaja con NMs.



Los datos obtenidos de la literatura y los estudios realizados en el marco del proyecto revelaron que:

- La "dilución" de ventilación general puede utilizarse para exposiciones no peligrosas, pero no es aceptable para NMs.
- Los sistemas LEV son un método primario para controlar las exposiciones ocupacionales a NMs. Los tipos de LEV más relevantes y más frecuentemente utilizados para los NMs son el encerramiento y la captación de la campana.

La siguiente tabla incluye una lista de medidas recomendadas considerando las actividades relevantes en el ciclo de vida.

Tabla 22. Lista de medidas técnicas para controlar las exposiciones ocupacionales a NMs desde laboratorios hasta instalaciones de gran escala (Fuente: ITENE).

Etapa / Proceso	Laboratorio	Planta Piloto	Escenarios industriales (producción en escala media)	Escenarios industriales (producción a gran escala)
Desembalaje del material	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento)	-Cabina de flujo descendente con filtro	-Cerramientos fabricados a medida	-Cerramientos fabricados a medida

Etapa / Proceso	Laboratorio	Planta Piloto	Escenarios industriales (producción en escala media)	Escenarios industriales (producción a gran escala)
(Polvo seco)	parcial) -Caja de guantes (cerramiento local)	HEPA	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA
Desembalaje del material (dispersiones líquidas)				
Desembalaje del material (enlazado / recubierto)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA -Non ventilated enclosure for low Slightly or non Toxic NMs	
Pesaje (polvo seco)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial) -Caja de guantes (cerramiento local) - Armario de seguridad biológico	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA -Cabina personal	-Cerramientos fabricados a medida -Cabina de flujo descendente con filtro HEPA	-Cerramientos fabricados a medida -Cabina de flujo descendente con filtro HEPA
Pesaje (Dispersiones líquidas)				
Transferencia				
Sonicar	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Reactor completamente cerrado	
Mezcla (polvo seco)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA	- Cabinas personales fabricadas a medida	- Cabinas personales fabricadas a medida
Mezcla (Dispersiones líquidas)	-Caja de guantes (cerramiento local)	-Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)		
Producción (síntesis física y química)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Recipiente ventilado ubicado dentro de una sala de flujo descendente -Campana de recepción (proceso caliente)	-Reactor completamente cerrado	-Reactor completamente cerrado
Embalaje / Relleno de bolsas	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial)	-Cabina de flujo descendente con filtro HEPA -Campanas extractoras tipo cuello ventiladas -Sistema continuo de descarga de productos de revestimiento	-Cerramientos fabricados a medida - Campanas extractoras tipo cuello ventiladas -Sistema continuo de descarga de productos de revestimiento	-Cerramientos fabricados a medida - Campanas extractoras tipo cuello ventiladas -Sistema continuo de descarga de productos de revestimiento
Pulverización	--Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial) + sistemas de chorro de agua descendente	-Cabina de personal	-Cabinas personales fabricadas a medida	-Cabinas personales fabricadas a medida (con humedad o chorro de agua descendente)
Mecanizado (aserrado, triturado, etc)	-Campana de laboratorio ventilada (cerramiento parcial) -Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)	Sistemas a medida de LEV móviles (brazos extensibles)	-Sistemas LEV móviles (brazos extensibles) -Cabinas personales fabricadas a medida (Supresión húmeda)	-Sistemas LEV móviles (brazos extensibles) -Cabinas personales fabricadas a medida (Supresión húmeda)
Moldeo por inyección	-Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)	-Campana de recepción (proceso caliente)	-Campana de recepción (proceso caliente)	- Reactor completamente cerrado

Debe llevarse a cabo un mantenimiento adecuado de las medidas técnicas expuestas en el cuadro, incluyendo controles adicionales del sistema para asegurar un rendimiento adecuado del sistema. La siguiente tabla muestra una lista de medidas técnicas que pueden utilizarse en actividades pertinentes en el ciclo de vida de NMs.

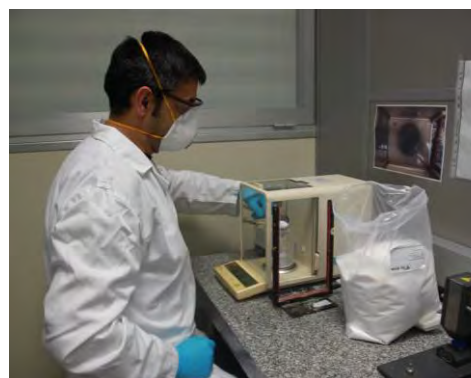
Tabla 23. Lista de medidas técnicas para el control de exposiciones ocupacionales a NMs en operaciones relevantes en instalaciones de producción (Fuente: ITENE)

	Medidas técnicas ventiladas									Medidas técnicas no ventiladas	
	Campana extractora de laboratorio o armario	Caja de guantes	Campana de recepción (proceso caliente)	Sistemas LEV móviles	Cabina de personal	Cabina de flujo filtrado HEPA descendente	Campanas extractoras tipo cuello ventiladas	Sala de flujo filtrado HEPA descendente	fabricadas a la medida (completamente)	Sistema de descarga continua del producto de línea **	Sellado inflable
Desembalaje del material	X	X				X		X	X		
Pesaje (polvo seco y dispersiones líquidas)	X	X			X	X	X	X			
Transferencia	X				X				X		
Sonication	X								X		
Mezcla (polvo seco y dispersión de líquidos)	X	X		X	X			X			
Síntesis (seco / líquido)	X		X						X		
Embalaje / llenado de bolsas	X					X	X	X	X	X	X
Pulverización	X				X	X					
Mecanizado	X			X	X				X		
Moldeo por inyección			X								

### 7.1.3. Medidas organizativas de protección

Como se indicó anteriormente, las medidas de protección organizacional consisten en varias políticas y requisitos que se establecen a nivel administrativo para promover la seguridad en una instalación dedicada de una PYME, una gran empresa o laboratorios privados y públicos. Pueden incluir:

- Restringir el acceso a áreas en las que se usan NMs particularmente peligrosas;



- Requerir la aprobación previa y medidas adicionales de control para ciertas operaciones o actividades particularmente peligrosas;
- Publicar letreros apropiados para identificar peligros específicos dentro de un área;
- Entrenamiento en rutinas de trabajo de buenas prácticas;
- Preparación de instrucciones de trabajo e instrucciones sobre cómo manejar las rutinas diarias de trabajo, derrames, accidentes, limpieza, higiene personal, incendio, inactividad, mantenimiento, etc.

#### 7.1.4. Equipo de Protección Individual (EPI)

Según la jerarquía de los controles, el uso de EPP es la opción menos deseada para controlar la exposición de los trabajadores, que se utiliza cuando los controles de ingeniería y administrativos no son factibles o efectivos para reducir las exposiciones a niveles aceptables.

La selección del equipo de protección personal debe basarse en un programa integral de implementación de protección personal desarrollado después del análisis exhaustivo de las operaciones y procesos existentes y del potencial de peligro de los NMs para ser manejados.

##### Uso de equipos de protección respiratoria

Con el fin de reducir las exposiciones a NMs, el EPR debe ser capaz de:

Filtrar nanomateriales (1 - 100 nm)

sellar adecuadamente la cara del usuario.

#### Equipos De Protección Respiratoria

Los estudios realizados en NanoRISK concluyeron que en general se deben usar respiradores con partículas para ayudar a reducir la exposición durante el proceso de producción y manipulación de nanomateriales. Debe notarse que el RPE debe ser adecuado para la tarea realizada y debe ser ajustado a cara para el individuo.

La siguiente tabla proporciona una lista de EPR considerando las actividades relevantes en el ciclo de vida.



Tabla 25. Lista de los tipos de equipos respiratorios que se utilizarán en las actividades pertinentes a escala de laboratorio (Fuente: ITENE)

			Desembalaje (Líquido / sólido)	Desembalaje (Boned / sólido)	Pesaje (seco)	Pesaje (líquido)	Transferencia (sólido / seco)	Transferencia (Líquido)	Sonicar	Síntesis química o física	Mezclado (seco / polvo)	Mezclado (Líquido)	Embalaje / llenado de bolsas	Operaciones de mecanizado (transferencia, refinado, etc.)	Limpieza general y mantenimiento
Tipo de EPR	Tipo de filtro														
Equipos filtrantes (purificadores de aire)	Mascarilla autofiltrante	P1		X											
		P2		X											
		P3	X	X	X	X			X						X
	Media máscara	P1													
		P2		X		X		X	X				X		
		P3		X	X		X	X		X	X	X	X		X
		Combined				X		X		X		X		X	X
	Máscara completa	P1													
		P2											X		
		P3								X	X	X	X	X	
		Combined								X		X			

Debe observarse que el uso de RPE debe ser complementado con equipo de protección dérmica, gafas de seguridad y ventilación de extracción. Las siguientes recomendaciones sobre el uso de EPR se basan en las opciones definidas en la tabla 25.

### Máscara desechable

- Las máscaras desechables sólo se recomiendan para operaciones de desembalaje de materiales y pesar pequeñas cantidades de NM a escala de laboratorio.
- Las máscaras desechables (no menos que el estándar FFP3 AFP 20) son adecuadas como medida de precaución durante las operaciones generales de limpieza.
- Las máscaras desechables (no menos que el estándar FFP3 AFP 20) son adecuadas como medida de precaución en operaciones parcialmente cerradas, tales como operaciones de pesaje y sonicación en chimeneas.



## Medias máscaras

Los respiradores de partículas de mascarilla (P3) son adecuados en las siguientes operaciones:

- Pesaje de NMs en forma de polvo (cantidades por debajo de 500 g)
- Transferencia / vertido de NM de pequeños contenedores en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de sonicación en instalaciones industriales en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de mezcla en recipientes pequeños (5 L / 5 Kg) en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de embalaje de NMs en forma seca en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de mecanizado como cribado, aserrado y rectificado mediante goggles de seguridad y campanas de captura móviles.
- Operaciones generales de limpieza



## Máscaras completas

Los respiradores con máscara de partículas (P3) son adecuados en las siguientes operaciones:

- Pesaje de NMs en forma de polvo (cantidades superiores a 500 g)
- Transferencia / vertido de NMs de contenedores (> 500 g) en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de descarga (gravedad) de los tanques
- Operaciones de sonicación en instalaciones industriales en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de mezcla en recipientes de más de 5 L / 5 Kg en operaciones parcialmente cerradas
- Operaciones de recolección después de la etapa de producción
- Operaciones de envasado / llenado de bolsas de NMs en forma seca en operaciones parcialmente cerradas
- Áreas de trabajo con nanomateriales aéreos libres.
- Operaciones de mecanizado como tamizado, aserrado y rectificado



Los fabricantes de PPE siguen trabajando en innovaciones para proporcionar mejores factores de protección cuando se trata de NMs. Las publicaciones y directrices recientes incluyen recomendaciones a considerar cuando se selecciona un RPE para reducir la exposición durante la producción y manipulación de nanomateriales, incluyendo:

1. Uso de RPE equipado con microfibras altamente cargadas.
2. El uso de una máscara completa con ajustes de doble brida es más cómodo y se ajustará mejor.
3. Al menos cinco correas ajustables en una máscara facial completa parecen ser el número mínimo para asegurar un sello.
4. La incorporación de un material de sellado adhesivo en las juntas aumenta el factor de ajuste y reduce la fuga total hacia el interior.

### Equipos De Protección Dermal (EPD)

Las prendas de polietileno resultan ser más resistentes a la penetración y permeación que el algodón o el poliéster. En cuanto a los guantes de protección química, el material preferencial es el nitrilo, seguido por los látex y los polímeros triples resistentes a productos químicos.

A continuación, se detalla una lista no exhaustiva de recomendaciones relativas a los guantes de protección química que se obtienen de las directrices publicadas y de las publicaciones revisadas por pares:

Tabla 27. Guantes de protección química recomendados

#### Uso de equipos de protección de la piel

Con el fin de reducir las exposiciones a NMs, el EPD debe ser capaz de:

ser resistente a la penetración y permeación de partículas

Proporcionar protección considerando la resistencia y "compatibilidad" del material con NMs y disolventes en los que se dispersan NMs.

La superposición de los guantes con otras prendas de protección y la forma correcta en que se ponen y se retiran son de primordial importancia para evitar un posible contacto con la piel.

Se recomiendan guantes dobles de nitrilo

Material	Categoría	Aplicaciones	Tiempo en contacto
Nitrilo	III	Polvo seco NMs en líquido usando guantes de nitrilo con mangas extendidas NMs en disolventes, aceites, grasas, y algunos ácidos y bases.	Ocasional Extendido
Latex	III	NM en polvo o en suspensión acuosa No usar con NMs en disolventes orgánicos	Ocasional
Butilo	III	NMs en agua / disolventes No se recomienda con dispersiones en seco	Extendido
Neopreno	III	NMs son dispersiones líquidas (si son corrosivas)	Extendido
Algodón	III	No recomendado	-

La tabla siguiente proporciona una lista de guantes de protección química que se utilizarán en diferentes operaciones cuando se trata de ENM.

Tabla 28. Lista de guantes de protección química que se utilizarán en las actividades industriales pertinentes (Fuente: ITENE)

	Desembalaje (Líquido / Sólido)	Desembalaje (Bonded)	Pesaje (seco)	Pesaje (líquido)	Transferencia (sólido / líquido)	Transferencia (Líquido)	Sonocar	Síntesis química o física	Mezclado (seco / polvo)	Mezclado (Líquido)	Embalaje / llenado de bolsas	Operaciones de mecanizado (aserrado, rectificado, etc.)	Salpicado	Spray	Partículas en suspensión (Aire)	Dispersiones acuosas	Dispersiones solvente
Tipo de guante																	
Nitrilo	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	x	x	x	x	x
Latex	X	X			X	X		X							x	x	
Butylo		X	X			X	X		X		X	X	x	x		x	x
Neopreno			X			X			X		X	X		x		x	
Algodón				X													

En el caso de ropa de protección, se recomienda el uso de materiales no tejidos fabricados con fibras textiles sintéticas. El tipo más común de material utilizado cuando se trata de NMs en entornos ocupacionales se hace de no tejido de polietileno de alta densidad textil. Sólo en algunas situaciones en las que la probabilidad de exposición es baja y los NM manipulados no son tóxicos, el uso de algodón o de materiales de algodón-poliéster puede proporcionar una protección suficiente.

A continuación, se detalla una lista no exhaustiva de recomendaciones sobre prendas de protección que se obtuvieron de las directrices publicadas y de las publicaciones revisadas por pares:

Tabla 29. Lista de prendas de protección que se utilizarán en las actividades industriales pertinentes (Fuente: ITENE)

Categoría	Tipo de tejido	EN Tipo	Escenario
Monos de protección desechables (Traje del cuerpo completo)	Polipropileno / Polietileno Laminado	3	Chorros fuertes y direccionales de NM dispersos en líquidos
		4	Aerosoles líquidos de NMs
		5	NMs aerotransportadas (partículas o fibras secas)
		6	Spray ligero / salpicadura
Traje de protección ventilado / presurizado	Materiales poliméricos	EN 1073-1 (Class 4)	Partículas radiactivas
		EN 1073-1 (Class 5)	Contaminaciones radiactivas

Categoría	Tipo de tejido	EN Tipo	Escenario
Batas de laboratorio Desechable	Polipropileno unido por hilatura		No recomendado (usado para polvo no peligroso y salpicaduras de líquidos ligeros)
Batas de laboratorio	Tela transpirable de polipropileno SMS	6	Protección ligera contra salpicaduras no peligrosos
Fundas protectoras	Laminado PE Microporoso		protegen brazos o piernas contra salpicaduras líquidas ligeras y NMs no peligrosos.
Delantales	PVC		salpicadura (No recomendado para NMs)
Sobrecuerpo	Laminado PE Microporoso		NMs aerotransportados Salpicaduras de líquidos ligeros que contienen NMs

En vista de la información obtenida de la literatura y los resultados del proyecto, se pueden definir las siguientes recomendaciones:

- Las prendas de protección contra partículas están fabricadas en su mayoría con telas no tejidas. Los tejidos porosos se usan para la protección de partículas y los tejidos recubiertos / laminados se usan para la protección de líquidos y gases.
- El laminado PE no microporoso ofrece una buena barrera contra NM peligrosos en forma seca o dispersos en líquidos (agua / disolventes). Este tejido ofrece una excelente protección de barrera para las partículas submicrónicas, con hasta un 99% de retención de partículas <0,5 micras.
- El laminado PE microporoso ofrece una buena barrera contra NM peligrosos en salpicaduras de polvo y líquidos.
- Evite el uso de ropa protectora hecha con telas de algodón. Los materiales tejidos de la ropa protectora ofrecen una protección más pobre que los materiales de la membrana. En determinadas circunstancias puede ser necesaria una protección adicional contra productos químicos.
- La respirabilidad del material es otro factor importante a considerar. Para conseguir una protección eficaz, es esencial disponer de materiales de protección que puedan proporcionar una combinación de alto rendimiento de barrera y confort térmico.

La tabla siguiente proporciona una lista exhaustiva de tipos específicos de ropa de protección que pueden usarse para prevenir la exposición ocupacional a ENMS bajo diferentes situaciones:

Tabla 30. Lista de tipos de ropa de protección que se utilizarán contra NMs en operaciones pertinentes (Fuente: ITENE). Leyenda: (R) Recomendado; (A) Consejos de expertos necesarios antes de su uso; (NR) No recomendado; (C) Complementaria a la recomendada

Operaciones	Exposición / Riesgo	Monos de cuerpo completo			Batas de Laboratorio		Complementos		
		Polietileno Microporoso Laminado	Polietileno no microporoso Laminado	Polipropileno (SMS-SMMMMS)	Spun bonded PP Lab. batas	Tela transpirable PP de SMS	Fundas protectoras	Delantales	Cubrebotas
Desembalaje de materiales (Polvos secos)	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	R	NR		C	C	C
Desembalaje del material (dispersiones líquidas)	Nano-aerosoles peligrosos	R	R	R	NR	A	C	C	C
Desembalaje del material (enlazado / recubierto)	Partículas en el aire	R	R	R	A	A	C	C	C
Pesaje (polvo seco)	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	A	NR	A	NR	NR	C
Pesaje (Dispersiones líquidas)	Nano-aerosoles peligrosos	A	R	A	NR	A	NR	NR	C
Transferencia / Vaciado (seco)	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	A	NR	A	NR	NR	C
Transferencia / Vaciado (Líquido)	Nano-aerosoles peligrosos	A	R	A	NR	A	NR	NR	C
Sonicatoring	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	R	NR	A	NR	NR	NR
Mezcla (polvo seco)	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	A	NR	NR	NR	NR	NR
Mezcla (Dispersiones líquidas)	Nano-aerosoles peligrosos Líquidos peligrosos	A	R	A	NR	NR	NR	NR	NR
Piloto-Reactores industriales	Partículas en el aire en la escala nanométrica	A	R	A	NR	NR	NR	NR	C
pequeños reactores en laboratorios	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	A	NR	A	NR	NR	C
Embalaje / llenado de bolsas de NM peligrosos a escala de laboratorio (<1 Kg)	Partículas en el aire en la escala nanométrica	R	R	A	A	A	NR	NR	NR
Embalaje / llenado de bolsas de NM peligrosos a escala industrial (> 1 Kg)		A	R	A	A	A	NR	NR	NR
Pulverización	Nano-aerosoles peligrosos	A	R	A	NR	NR	C	C	C
	No Nano-aerosoles peligrosos	A	A	R	NR	A	C	C	C
Limpieza ligera	Partículas en el aire , salpicaduras, líquidos	R	R	R	NR	R	NR	NR	NR
Limpieza industrial general		R	R	R	NR	A	NR	NR	NR
Mecanizado	Partículas en el aire	R	R	R	NR	A	C	NR	C

## Protección ocular

Las gafas de seguridad se consideran el nivel adecuado de protección para los ojos para trabajar con NMs. Los anteojos de seguridad deben ser la protección ocular mínima que se debe usar cuando se utilizan controles de ingeniería apropiados.

La siguiente tabla incluye una lista de PPE diferentes que se pueden usar cuando se trata con NMs en el lugar de trabajo.

### Uso de equipo de protección para los ojos

Los laboratorios y otros espacios en los que se manipulan NM deben estar equipados con una estación de lavado de ojos.

Las gafas de seguridad ofrecen una mayor protección ocular en comparación con las gafas de seguridad y deben utilizarse cuando:

- Las medidas técnicas apropiadas son deficientes o no están disponibles.
- Se están utilizando grandes cantidades de NM.
- Se está generando una suspensión de NMs en disolventes / agua y es posible generar salpicaduras o aerosoles.

## 7.2. Personal protective equipment selection charts

La selección del equipo de protección personal puede realizarse de acuerdo con la secuencia de actuación presentada en la figura siguiente.

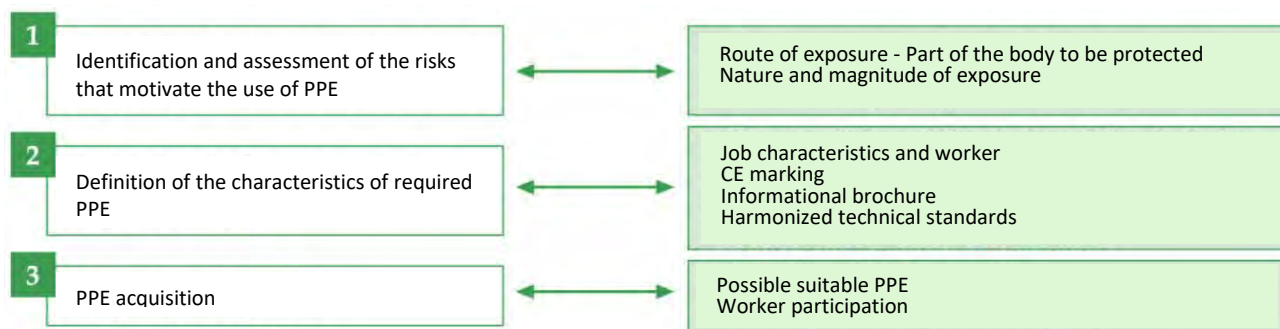


Figura 18. Criterios para la selección de EPIs

### 7.2.1. Identificación y evaluación de los riesgos que motivan el uso de EPI

Dependiendo del tipo de exposición, puede ser necesario utilizar uno o más EPI. En general, puede establecer la existencia de tres situaciones básicas.

Tabla 33. Ruta de exposición y equipo a utilizar

Ruta de exposición	Equipamiento recomendado
Inhalación	Dispositivos de protección respiratoria
Dermal	Guantes protectores Ropa Calzado
Ocular	Gafas de protección

Si en el transcurso de la actividad laboral hay varias vías de exposición, será necesario recurrir al uso de diversos equipos de protección simultáneamente o a la utilización de un equipo multi-riesgo. En la tabla siguiente se presenta un ejemplo de combinación característica.

Tabla 34. Coexistencia de rutas de exposición y uso de equipo de protección personal

Equipamiento recomendado		
Ruta de exposición	Combinación de equipamiento	Multiresgo
<i>Inhalación + contacto con los ojos</i>	Media máscara + filtro + gafas de protección	Máscara facial completa + filtro

### 7.2.2. Definición de las características del EPP requerido

Los EPI deben ser apropiados al riesgo contra el cual protegerán.

#### A) Equipos de protección respiratoria

Especialmente teniendo en cuenta lo siguiente:

- Concentración de oxígeno a lo largo de la duración del trabajo o exposición.
- Productos químicos peligrosos, incluyendo asfixiantes, y estado físico del contaminante (polvo, fibra, humo, gas, vapor, etc.).
- Concentración máxima que puede encontrarse en la atmósfera y valor límite de umbral.
- Adaptación del equipo al entorno de trabajo, al usuario ya las características de la tarea
- Otros riesgos (por ejemplo, salpicaduras, chispas, incendios ...) que están relacionados con el trabajo y pueden influir en la selección y uso del equipo.

## Recuerda

No se debe confiar en el PPE por sí solo para proporcionar protección contra los riesgos, sino que debe utilizarse junto con medidas técnicas apropiadas y medidas organizativas definidas.

Considerar y evaluar las condiciones de trabajo bajo las cuales se llevan a cabo las operaciones, incluyendo una evaluación exhaustiva del tipo y nivel de riesgo para los trabajadores y compañeros de trabajo. Se deben determinar las propiedades tóxicas de los NMs; En particular, la capacidad del NM para causar efectos agudos por inhalación o contacto dérmico, o efecto sistémico debido a exposiciones crónicas (es decir, potencial mutagénico-carcinogénico).

Se debe tener en cuenta la comodidad y el ajuste. Debe prestarse especial atención a la colocación de dispositivos para la protección respiratoria y ocular contra NM en polvo y salpicaduras químicas.

Es importante que todos los EPP se mantengan limpios y mantenidos adecuadamente. Los EPI deben ser inspeccionados, limpiados y mantenidos regularmente para asegurar la protección.

La figura muestra un diagrama de una posible secuencia de acción a seguir en el proceso de selección de RPE.

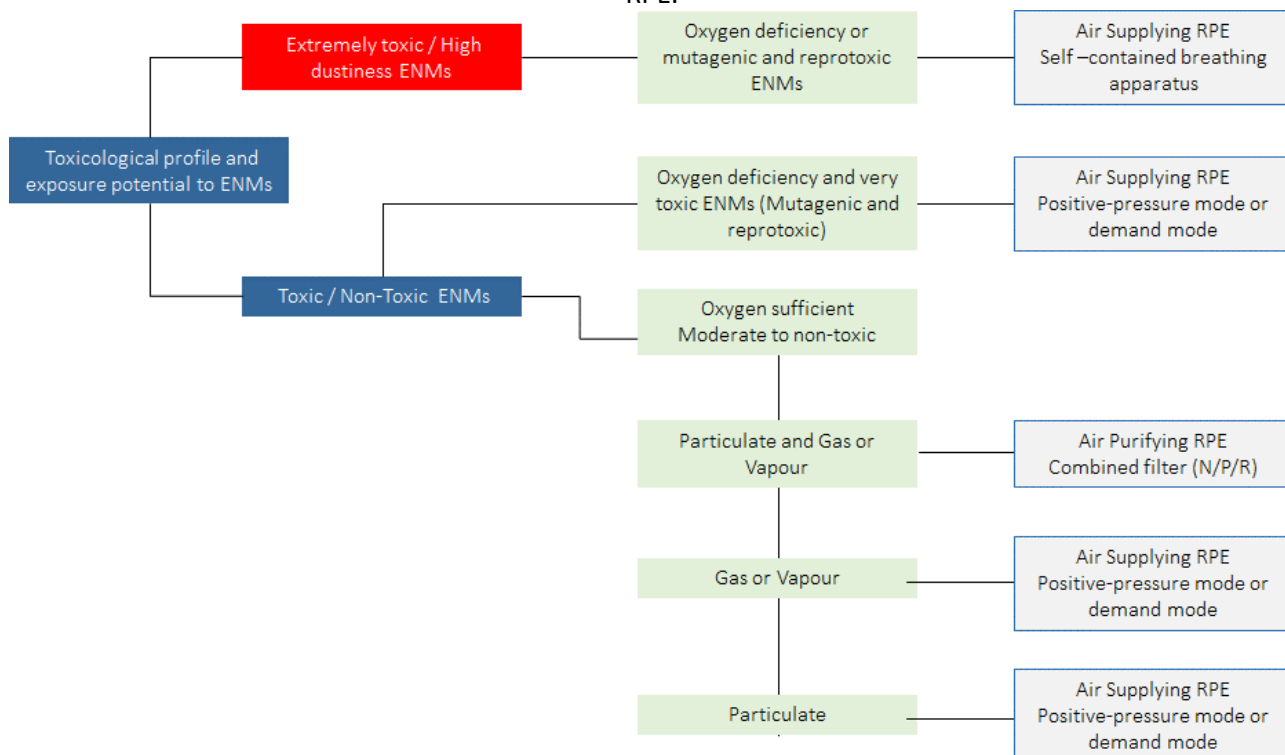


Figura 19. Diagrama de decisión para la elección del equipo de protección respiratoria

## B) Ropa de protección

Del diseño del vestuario dependerá la estanqueidad del equipo, es decir, la resistencia a la entrada de productos químicos, en sus diferentes formas de presentación (polvos, líquidos y gases) a través de las costuras y las juntas.

La elección de uno u otro tipo de ropa depende de la parte expuesta del cuerpo y la forma de presentación del contaminante. La figura incluye un diagrama de decisión para la selección.

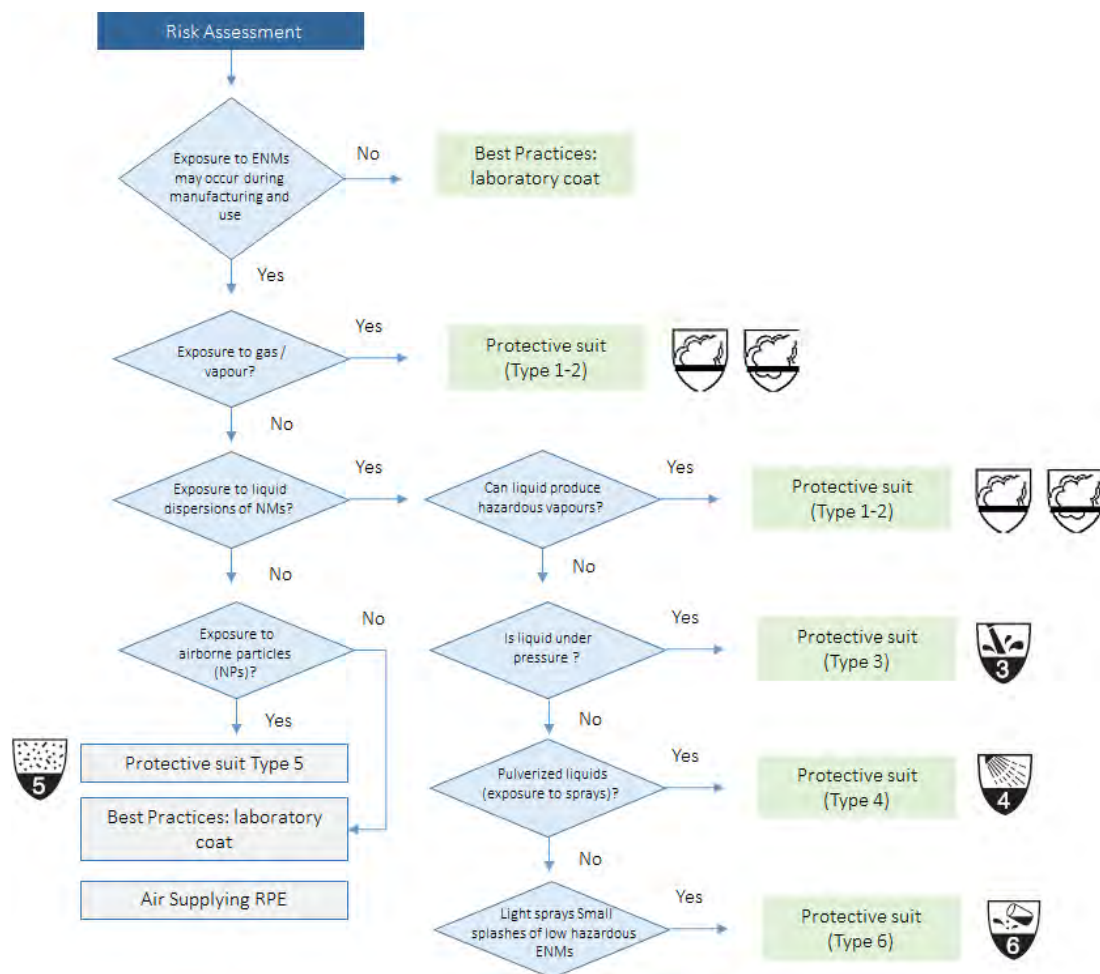


Figura 20. Diagrama de flujo para la selección de ropa de protección química

## C) Guantes de protección

El tiempo de ruptura, en minutos, sirve para clasificar el material del guante en seis clases o niveles de la Clase 1 a la 6 (ver Tabla 5). El fabricante debe referirse en el folleto informativo a los productos químicos ensayados ya las clases de permeación obtenidas.

La Figura 20 muestra un diagrama de flujo desarrollado para apoyar la selección de guantes protectores químicos adecuados.

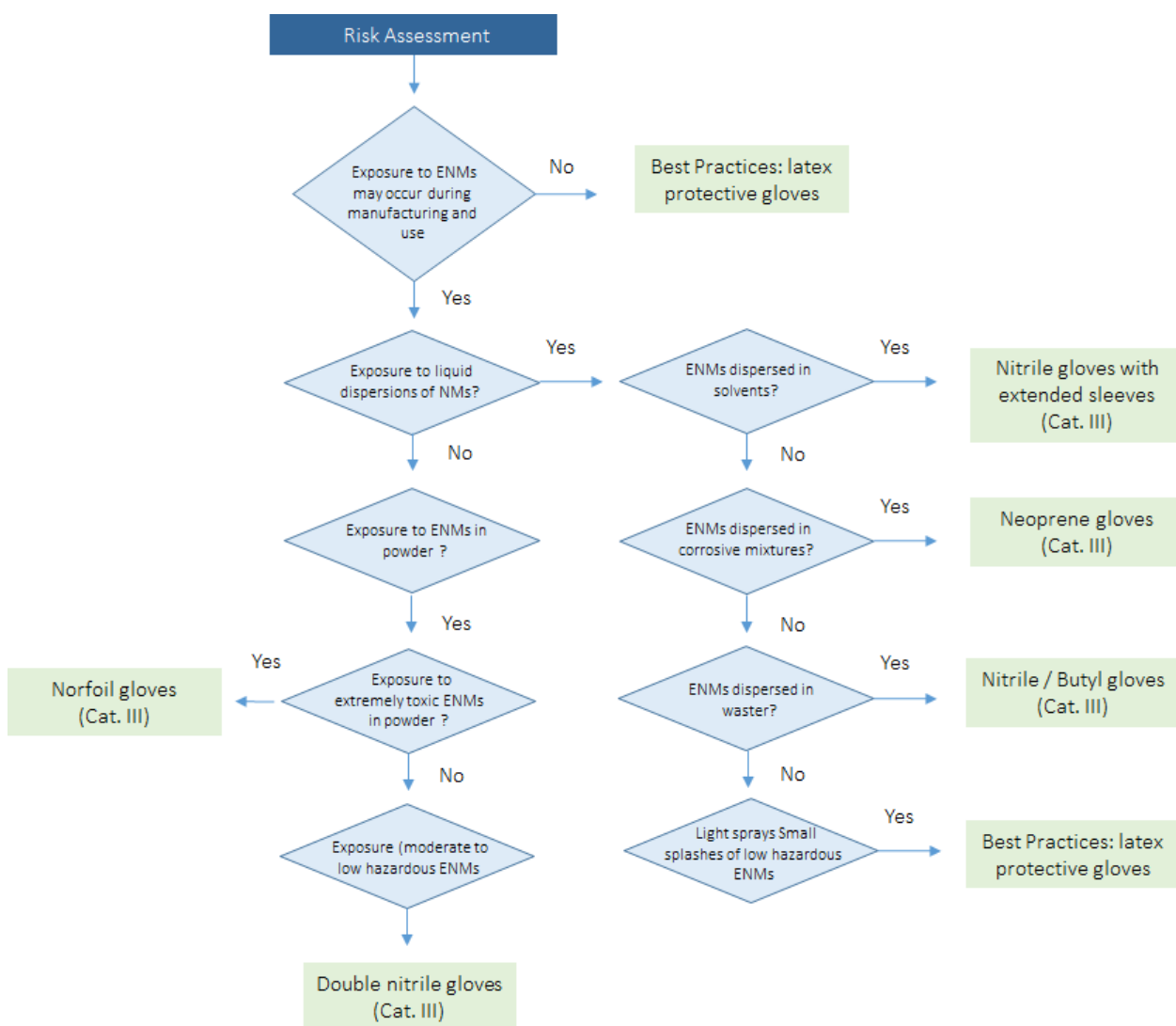


Figura 21. Diagrama de flujo para la selección de guantes de protección química

### 7.3.3. Adquisición de EPIs

El EPI que seleccione debe cumplir con la legislación de seguridad del producto que le es aplicable (Real Decreto 1407/1992), que en la práctica significa para el usuario que el equipo debe tener la marca CE.

### 7.3 Tecnologías y procedimientos de control de emisiones

Estas tecnologías son fundamentales para controlar la liberación no intencional de NMs en el medio ambiente, especialmente el agua dulce, el suelo y el aire.

En cuanto a las corrientes de agua, los NMs pueden entrar a los vapores de aguas residuales en varios lugares del ciclo de vida: en el lugar de producción, en el lugar donde se usan los NM en los productos y en el lugar donde se utiliza el producto final. En todos los casos, los NMs deberán ser retirados de las aguas residuales por los sistemas de tratamiento de aguas residuales, implementados por las empresas o en una central de tratamiento de aguas residuales (EDAR), o bien entrarán al medio ambiente.

Los estudios llevados a cabo en NanoRISK muestran que el uso de las tecnologías de adsorción y filtración actuales puede ser eficaz para eliminar una amplia gama de nanovarios, los cuales pueden tener diferentes propiedades tales como diferentes potenciales zeta, carga superficial y comportamiento impredecible bajo las condiciones operativas del sistema de tratamiento de aguas residuales. La ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa pueden utilizarse para eliminar NMs de aguas residuales considerando las propiedades específicas de la liberación de NM, incluyendo la distribución de tamaño de partícula, especiación y química de superficie.

#### Control de emisiones atmosféricas no intencionadas de NMs

Se recomiendan los precipitadores electrostáticos húmedos y los depuradores. Los datos publicados en publicaciones revisadas por pares muestran eficiencias de captura superiores al 90%

Finalmente, la remoción de NMs de los suelos sigue siendo un desafío. En la tabla 35 se recoge una lista no exhaustiva de tecnologías de control para cada compartimento.

Tabla 35. Lista no exhaustiva de las tecnologías de control recomendadas para eliminar NMs

Agua	Aire	Tierra
<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• controla la liberación de nanomateriales a través de efluentes tratados que se descargan en aguas superficiales.</li> </ul> <b>Lodo activado:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• utiliza un flóculo biológico compuesto de bacterias y protozoos en condiciones aeróbicas para eliminar los contaminantes orgánicos a través de tres componentes: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. un reactor en el que los microorganismos son aireados y en contacto con los contaminantes,</li> <li>2. separación líquido-sólido</li> <li>3. sistema de reciclaje de lodos.</li> </ol> </li> </ul> <b>Membranas Nanoporosas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• consta de una estructura orgánica o inorgánica regular que soporta una estructura regular y porosa de tamaños &lt;100 nm.</li> </ul>	<b>Precipitador electrostático:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>* usado para eliminar partículas, limpieza de gases de combustión de fábricas de gran capacidad, hornos de combustión y plantas de energía térmica.</li> </ul> <b>Depurador:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>* El precipitador electrostático húmedo alcanza &gt; 90% de eficiencia de eliminación para NPs con diámetros de 80 - 600 nm.</li> <li>* dispositivo de control de la contaminación que utiliza líquido para lavar contaminantes no deseados de una corriente de gas para eliminar algunas partículas y / o gases de corrientes de escape industriales</li> </ul>	<b>Incineración:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• implica la combustión de sustancias orgánicas contenidas en materiales de desecho</li> <li>• convierte los residuos en cenizas, gases de combustión y calor que deben ser limpiados de contaminantes gaseosos y de partículas antes de que se dispersen en la atmósfera</li> <li>• se debe acoplar un sistema de post-tratamiento como un sistema de limpieza de gases como filtro de humos de lavado ácido o un precipitador electrostático y un depurador</li> <li>• los residuos normalmente terminan en vertederos, por lo que el problema de las nanopartículas se transfiere a la siguiente etapa.</li> </ul> <b>Vertederos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• puede aplicarse directamente a los residuos no tratados que contienen nanowaste, así como a los lodos y cenizas de los procesos previos de tratamiento de agua e incineración.</li> </ul> <b>Rápido crecimiento de cristales:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• es una alternativa a la incineración para el tratamiento de lodos industriales que contienen óxidos o hidróxidos metálicos</li> </ul>

Agua	Aire	Tierra
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayoría de los materiales nanoporosos pueden clasificarse como materiales a granel (carbón activado y zeolitas) o membranas (membranas celulares).</li> </ul> <p><b>Electrofiltración, microfiltración y nanofiltración:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• combina la filtración por membrana y la electroforesis en un proceso sin salida para la separación de sustancias coloidales.</li> <li>• minimiza la formación de película en la membrana filtrante mediante la aplicación de un campo eléctrico.</li> </ul>		<p>amorfos / nanofase o estabiliza las cenizas del incinerador</p> <p><b>Phytomining / Fitorremediación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• plantar y cosechar vegetación que concentre selectivamente metales específicos del medio ambiente en sus hojas</li> <li>• Algunas plantas son hiperacumuladores naturales, en otros la propiedad puede ser inducida</li> </ul>

## 8. Vigilancia de la salud

Los efectos sobre la salud de las exposiciones a los nanomateriales son en gran medida no cuantificados y actualmente no hay informes de ninguna enfermedad humana correlacionada que sea causada por la exposición a los nanomateriales.

Hasta la fecha, el conocimiento científico de los efectos sobre la salud de la mayoría de los nanomateriales es limitado y el número de estudios epidemiológicos sobre la exposición de los trabajadores a NMs es escaso, con un máximo de 15 estudios completados a nivel mundial. Por lo tanto, es necesario evaluar el riesgo de efectos adversos potencialmente adversos para la salud entre los trabajadores que manejan NM y recomendar marcadores biológicos, así como los resultados preclínicos y clínicos que podrían ser útiles para su examen periódico para prevenir efectos tardíos / De la prevención de enfermedades (Bergamaschi et al., 2015, Schulte et al., 2008).

A continuación, se presenta un enfoque recomendado para apoyar el monitoreo de la salud de los trabajadores que podrían estar expuestos a NMs. Este enfoque se basa en las recomendaciones de NIOSH, el consejo de salud de los Países Bajos, y la información obtenida de publicaciones revisadas por pares, y considera 5 pasos principales:

Paso 1. Identificación de NMs y / o productos nanoenabled usados en el lugar de trabajo.

Paso 2. Evaluación de la exposición potencial a NMs para elucidar la probabilidad de exposición a NMs basado en el análisis del proceso y la compilación de información mediante cuestionarios.

Paso 3. Evaluación del nivel de exposición mediante enfoques de modelado o campañas de medición.

Paso 4. Completar una evaluación de riesgos considerando los niveles de exposición recomendados (NMR) para NMs.

Paso 5. Monitoreo de la salud mediante biomarcadores – biomonitoreo

Estos pasos se describen en el diagrama de flujo siguiente. También se incluyen los métodos recomendados para apoyar la evaluación de la exposición (figura 22).

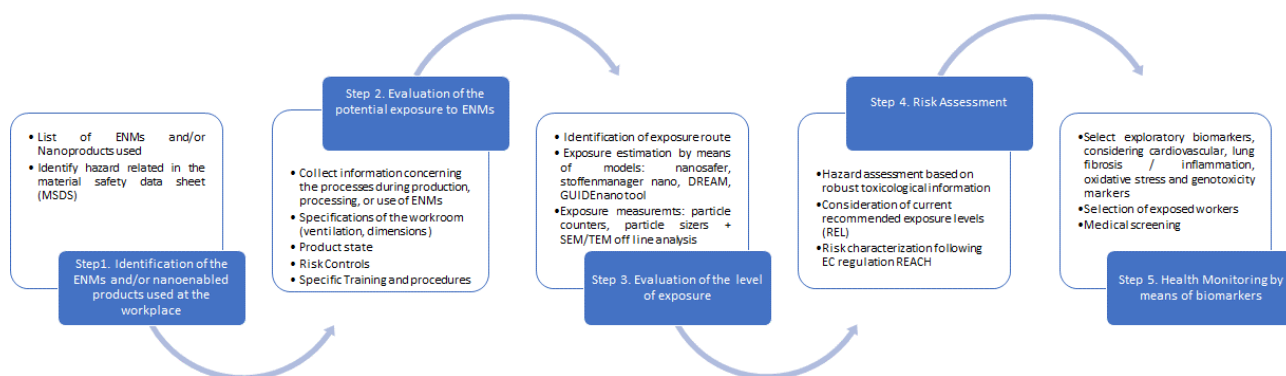


Figura 22. Diagrama de flujo de recomendar el procedimiento de monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a NMs

NIOSH propuso un conjunto de recomendaciones para el examen médico de los trabajadores expuestos a CNT o CNF, incluyendo:

- Una evaluación inicial, consistente en antecedentes ocupacionales y médicos realizados por un profesional de la salud calificado, con énfasis en el sistema respiratorio
  - Un examen físico con énfasis en el sistema respiratorio
  - Una prueba de espirometría
  - Una radiografía de tórax de línea de base
  - Otros exámenes o exámenes médicos que el profesional responsable de la salud considere apropiados
- Estos deben basarse en factores como los síntomas relacionados con el trabajo observados en la evaluación
- Resultados de la información sobre peligros (por ejemplo, información sobre toxicidad) y exposición
- Evaluaciones periódicas
- Análisis periódico de los datos de detección médica recopilados en un lugar de trabajo por un epidemiólogo u otro especialista

En cuanto al biomonitoreo, los científicos están desarrollando métodos no invasivos para medir los biomarcadores en la sangre, la orina y la respiración con el fin de identificar a las personas en riesgo y luego intervenir mediante la prevención de enfermedades y estrategias de detección temprana. La biomonitoreo puede ayudar a determinar la relación entre la exposición y la enfermedad, y la meta de prevención o remediación de los esfuerzos de manera más apropiada.

La literatura de nanotoxicología ya publicada incluye pistas sobre biomarcadores exploratorios que pueden utilizarse para establecer asociaciones estadísticas biológicamente plausibles entre la exposición y los efectos sobre la salud. La Tabla 36 sugiere una lista de biomarcadores exploratorios utilizados en los estudios epidemiológicos actuales realizados en trabajadores expuestos a NMs.

Tabla 36. Biomarcadores exploratorios extraídos de estudios epidemiológicos publicados de NMs

Respuesta	Biomarcadores exploratorios
Cardiovascular	VCAM- Molécula de adhesión celular vascular ICAM - Molécula de adhesión intercelular HsCRP - Proteína C-reactiva altamente sensible MPO - Mieloperoxidasa Paraxonase

#### Vigilancia de la salud

Se recomienda incluir un examen de seguimiento regular del sistema respiratorio y cardiovascular en los trabajadores que puedan estar expuestos a NMs.

Respuesta	Biomarcadores exploratorios
Pulmonar	Las neumoproteínas séricas (CC16) La proteína B asociada con el surfactante (SP-B) FENO - Óxido nítrico fraccional exhalado Krebs Von den Lungen 6 (KL-6) Proteína inflamatoria de macrófagos-1 $\beta$ Sputum IL-1 $\beta$ La interleucina - 8 (IL - 8)
Estrés oxidativo	Disminución de las enzimas antioxidantes (SOD, GPX) Marcadores EBC de oxidación de lípidos (MDA, HNE, HHE, 8-Isoprostano, n-hexanal, C6-C12) ADN y marcadores de oxidación de proteínas (8-OHdG, 8-OHG, 5-OHMeU, 3-NOTyr, 3-NOTyr, o-Tyr)

El diseño de los estudios de biomonitoring humano debe basarse en:

- La ruta de exposición
- Información sobre la biodistribución y la cinética in vivo en estudios con animales de los nanomateriales a los que están expuestos los trabajadores
- El modo de acción conocido de los nanomateriales a los que están expuestos los trabajadores

## 9. Hojas de instrucciones

### Equipos de protección respiratoria



#### Tipos

- FFR- Mascarilla autofiltrante (media máscara)
- Respiradores de media mascarilla (Filtros: P1 / P2 / P3)
- Máscaras completas (Filtros: P1 / P2 / P3)
- Filtros de partículas (Cartuchos)

#### Certificación y pruebas

- EN 13274-1: 2001. Dispositivos de protección respiratoria. Métodos de prueba. Determinación de fugas hacia adentro y fugas hacia adentro
- EN 13274-7: 2008 Dispositivos de protección respiratoria. Métodos de prueba. Determinación de la penetración del filtro de partículas
- EN 149 / EN 140 / EN 136 / ES 143

#### Mantenimiento y limpieza

- Inspeccione los respiradores para ver si están limpios y dañados antes de cada uso.
- Los respiradores con filtro de cara filtrante pueden ser reutilizados por el mismo trabajador, pero sólo si el respirador está funcionando adecuadamente, su forma permanece sin cambios y el material del filtro no está dañado físicamente o sucio.
- La inspección del respirador debe incluir una comprobación de la capacidad del respirador de funcionar correctamente; La estanqueidad de cualquier conexión; Y la condición de las diversas partes, tales como la pieza de la cara, las correas de la cabeza, las válvulas, los tubos, las mangueras, y cualesquiera cartuchos, botes o filtros.
- Guarde el respirador en una bolsa sellada en un área limpia, seca y no contaminada.
- Reemplace el respirador y / o cartucho o filtro si está dañado, distorsionado, no se puede obtener un ajuste adecuado o la respiración resulta difícil.
- Si su respirador falla en una inspección o está defectuoso, su empleador debe retirarla del servicio y repararla o descartarla.

#### EPR recomendado contra NMs

Respiradores de media mascarilla (Filtros: P3)

Máscaras faciales (Filtros: P3)

Realice una comprobación de sello negativo o positivo cada vez antes de entrar en un área contaminada.

## Guantes de protección química



### Tipos

- Guantes de protección química de un solo uso
- Materiales de barrera: Nitrilo / Látex / Caucho butílico / Neopreno / Guantes Norfoil / Algodón

### Certificación y pruebas

- EN 420: 2003 + A1: 2010, EN 420: 2004 + A1: 2010, ERRATUM: 2011. Guantes de protección - Requisitos generales y métodos de ensayo.
- EN 374-2: 2004. Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos - Parte 2: Determinación de la resistencia a la penetración
- EN 16523-1: 2015. Determinación de la resistencia del material a la penetración por productos químicos - Parte 1: Permeación por sustancias químicas líquidas en condiciones de contacto continuo.

### Uso y cuidado de guantes de protección

- No use guantes resistentes a productos químicos que estén dañados.
- Asegúrese de que los guantes que va a usar estén limpios. No los toque si no estás seguro
- Inspeccione cuidadosamente los guantes antes de ponerlos. Busque grietas, roturas, agujeros, hinchazón u otros daños. Los nanomateriales pueden pasar incluso por el agujero de alfiler más pequeño.
- Nunca toque los guantes contaminados con las manos desnudas.
- Lávese las manos con agua y jabón antes de ponerse los guantes. Vendaje cualquier cortes o raspaduras menores.

### Recomendado contra NMs

- No use guantes de cuero o algodón cuando manipule productos químicos
- Los guantes usados con protectores de manga resistentes a productos químicos son ideales para mezclar y cargar NMs altamente tóxicos en forma seca o dispersos en líquidos (solvente / agua)
- Guantes de nitrilo son recomendados - Guante doble para períodos de exposición grandes
- Guantes de látex recomendados sólo cuando se manipulan NM en polvo o en suspensiones de agua
  - el material butilo no se recomienda con NMs en disolventes orgánicos.

## Ropa de protección



### Tipos

- Monos de protección desechables (traje de cuerpo entero)
- Traje de protección ventilado / presurizado
- Capas de laboratorio desechables
- Manguitos protectores
- Delantales y botas protectoras

### Certificación y pruebas

- EN ISO 13688: 2013. Ropa protectora - Requisitos generales.
- EN 14605: 2005 + A1: 2009. Ropa de protección contra productos químicos líquidos - Requisitos de rendimiento para ropa con conexiones herméticas (tipo 3) o herméticas (tipo 4).
- EN ISO 13982-1: 2005, EN ISO 13982-1: 2005 / A1: 2011. Ropa de protección para el uso contra partículas sólidas - Parte 1: Requisitos de desempeño para la ropa de protección química que proteja todo el cuerpo contra las partículas sólidas en suspensión en el aire (tipo 5) (ISO 13982-1: 2004).
- EN ISO 13982-2: 2005. Ropa de protección para el uso contra partículas sólidas - Parte 2: Método de ensayo para la determinación de la fuga hacia dentro de aerosoles de partículas finas en trajes (ISO 13982-2: 2004).
- EN 13034: 2005 + A1: 2009. Ropa de protección contra productos químicos líquidos - Requisitos de rendimiento para ropa de protección química que ofrezca un rendimiento protector limitado contra productos químicos líquidos (Tipo 6).

### Mantenimiento y limpieza

- El portador debe entender todos los aspectos de los elementos protectores de la ropa y sus limitaciones.
- Durante el uso de ropa protectora, se debe alentar a los usuarios finales a reportar a su supervisor cualquier problema o dificultad percibida, incluyendo: la degradación del conjunto de protección, la incomodidad y la restricción del movimiento.
- La duración anticipada del uso debe establecerse: factores como la penetración, la degradación y la penetración de los contaminantes químicos en los conjuntos de conjuntos, incluida la fuga esperada a través del traje, pueden limitar la duración de una misión.
- Asegúrese de que todos los cierres y las interfaces de los componentes de conjunto estén completamente asegurados; Y que no hay bolsas abiertas que pudieran servir para recolectar contaminantes.
- La ropa de protección o la reutilización del equipo dependen de la demostración de que se ha realizado una descontaminación adecuada: considere siempre un examen visual de la ropa de protección para detectar signos de decoloración, efectos corrosivos o cualquier degradación de materiales externos

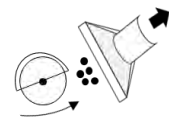
### Recomendado contra NMs

Cubierta protectora de cuerpo entero (tipo EN 4-6) hecha de PE laminado con capucha incorporada)

Chaqueta protectora de cuerpo entero (tipo EN 4-6) de polipropileno con o sin

Batas de laboratorio (no tejidos)

## Local Exhaustive Ventilation (LEV)



### Tipos

#### A) Campanas de cierre

- Caja de guantes de laboratorio (caja completa)
- Sala de flujo descendente (caja completa)
- Cabina de flujo laminar horizontal / descendente
- Campana de laboratorio (recinto parcial)
- Cabinas de paseo
- Cabina de pintura (recinto parcial)

#### b) Campanas de captación

- Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)
- HEPA Filtrado de la cabina de flujo
- Campanas de Captura Fija
- Extracción en herramientas

#### c) Campanas de recepción

### Certificación y pruebas

- EN 14175-4: 2005. Armario de humos. Parte 4. Métodos de ensayo in situ
- ASHRAE 52 2007. Método de ensayo de los dispositivos generales de limpieza de aire de ventilación para la eficacia de eliminación por tamaño de partícula.

### Mantenimiento y limpieza

- Apertura de mantenimiento: Todo el equipo mecánico y eléctrico del sistema de ventilación debe ser accesible a través de una abertura segura y adecuada.
- Se debe instalar una pantalla de función de la chimenea para indicar claramente el funcionamiento correcto del flujo de aire de la chimenea.
- Los controles de rutina de los sistemas LEV deben ser realizados por empleados debidamente capacitados. La frecuencia de dichos controles se determinará haciendo referencia a las recomendaciones del fabricante, a los hallazgos de la evaluación del riesgo, al historial de mantenimiento previo, etc., y se registrará en el cuaderno de bitácora de los sistemas.
- Antes del uso: examen visual exhaustivo para verificar que el LEV está en buen estado de funcionamiento, en buenas condiciones y en un estado limpio.
- Al instalar LEV, use un proveedor de renombre, con experiencia del tipo de control que se necesita, quien puede demostrar que su sistema controlará adecuadamente contaminantes potenciales.

### Recomendado contra ENMs

Caja de guantes

Campana de laboratorio ventilada (recinto parcial)

HEPA filtrada por la cabina de flujo

Capa de laboratorio ventilada + sistemas de lavado de agua incorporados (aerosoles)

Sistemas LEV móviles (brazos extensibles)

Campana de recepción (proceso caliente)





ITENE. Packaging, Transport and logistics research centre

Contact: Carlos Fito

email: [cfito@itene.com](mailto:cfito@itene.com)

<http://www.itene.com>



VITO Nv- Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

Contact: Patrick Berghmans / Evelien Frijns

email: [patrick.berghmans@vito.be](mailto:patrick.berghmans@vito.be)

<https://vito.be>



INVASSAT. Instituto valenciano de seguridad y salud en el trabajo

Contact: Esteban Santamaría

email: [ecampos@avanzare.es](mailto:ecampos@avanzare.es)

<http://www.avanzare.es/>



AVANZARE Innovacion Tecnologica S.L.

Contact: Esther Campos

email: [santamaria\\_est@gva.es](mailto:santamaria_est@gva.es)

<http://www.invassat.gva.es/>



Centro Ricerche Plast-Optica S.p.A

Contact: Sara Padovani / Silvia Priante

email: [silvia.priante@magnetimarelli.com](mailto:silvia.priante@magnetimarelli.com)

<http://www.crp.it>



INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Centro Nacional de Medios de Protección

Contact: Antonia Hernandez Castañeda

email: [ahernandezc@insht.meyss.es](mailto:ahernandezc@insht.meyss.es)

<http://www.insht.es/>

<http://www.lifenanorisk.eu>

Contents Manager

ITENE - Packaging, Transport and logistics research center

Albert Einstein, 1. 46980 Paterna. Valencia (Spain)

E-mail: [cfito@itene.com](mailto:cfito@itene.com)



NanoRISK is partly funded by the European Commission Life+ with grant agreement LIFE12 ENV/ES/000178