

¿Son los nanomateriales un riesgo para mi salud y seguridad en el trabajo?

Una guía para la información y sensibilización para trabajadoras y
trabajadores de pequeñas empresas

Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Nº de expediente: AI-0003/2015
Con la financiación de:



FUNDACIÓN
PARA LA
PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de la entidad ejecutante y no refleja necesariamente la opinión de la Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales.



Introducción

La **nanotecnología** se entiende como la investigación, desarrollo, fabricación y/o aplicación de **materiales de tamaño nanométrico**, con fines diversos¹. La UE y sus Estados miembros llevan ya años financiando decididamente proyectos científicos y de desarrollo y aplicación industrial con la idea de colocar a la industria europea en la vanguardia de una próxima revolución tecnológica en la que, estiman, las **nanotecnologías*** tendrán un gran protagonismo. En este sentido, las nanotecnologías son una de las seis **“tecnologías facilitadoras esenciales” elegidas por la Comisión Europea como líneas de acción prioritarias para el impulso de políticas de modernización para la industria manufacturera, para lograr su crecimiento y sostenibilidad**. A día de hoy, la aplicación industrial de **nanomateriales** lleva años extendiéndose. Por tanto, su presencia es ya una realidad no solo para trabajadores y trabajadoras de laboratorios de investigación y desarrollo, sino también en muy diversos sectores y actividades de nuestro país².

El interés que suscita la nanotecnología surge del hecho de que cuando un material se presenta en tamaño muy pequeño, **cercano al tamaño de los átomos**, adquiere nuevas propiedades, diferentes a las que presenta el mismo material “normal”, algunas muy sorprendentes e interesantes para diversas aplicaciones. El problema, desde el punto de vista de la **salud** y el medio ambiente, es que las mismas propiedades novedosas de los nanomateriales que los hacen interesantes para múltiples aplicaciones, representan también **nuevos riesgos emergentes**.

El reto actual es que los nanomateriales que se incorporen a los procesos productivos sean no solo innovadores, sino también seguros. Con los datos disponibles hasta el momento, a partir de investigaciones realizadas en laboratorios con células, tejidos, plantas y con animales, se ha demostrado que muchos de estos materiales tienen características que les dan capacidad para afectar a la materia viva, penetrando fácilmente en los organismos. El hecho de que a día de hoy no haya datos epidemiológicos de impacto en la salud de las personas no quita importancia a estos hallazgos. Al contrario, aprendiendo de las lecciones sobre riesgos emergentes del pasado (amianto, disolventes, etc.) se exige proceder con precaución y rigor en la introducción de esta tecnología que, como veremos a lo largo de este texto, suscita no solo esperanzas, sino también preocupación por parte de científicos, autoridades y activistas³.

Sobre los riesgos de los nanomateriales, de todos modos, se sabe todavía demasiado poco. Estamos en una fase en la que se ignora mucho más de lo que se sabe. A partir de la evidencia disponible los científicos alertan de peligros potenciales graves, pero la investigación orientada al impacto en la salud y el medio ambiente lleva bastante retraso respecto a la investigación de las propiedades que pueden tener interés industrial; aún se está dedicando un porcentaje demasiado pequeño del dinero asignado a la investigación de nanomateriales a conocer los riesgos para la salud, la seguridad y el medio natural.

* Puedes encontrar la definición de los términos subrayados con una línea de puntos en el glosario del área de riesgos químicos del portal web Herramientas de prevención de riesgos laborales para pymes.

¹ En el siguiente apartado de esta introducción se presenta la definición de nanomateriales.

² Sobre las “tecnologías facilitadoras esenciales”, ver https://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies_es

³ La Ley 33/2011, de 4 de octubre, General de Salud Pública, enuncia el principio de precaución así (art. 3.d): “La existencia de indicios fundados de una posible afectación grave de la salud de la población, aun cuando hubiera incertidumbre científica sobre el carácter del riesgo, determinará la cesación, prohibición o limitación de la actividad sobre la que concurren”. Para ver cómo define este principio la Comisión Europea, ver COM (2000) 1 final, Comunicación de la Comisión sobre el recurso al principio de precaución, disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0001:FIN:Es:PDF>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

El resultado es que las nanopartículas están presentes ya en el medio laboral sin que, para la mayoría, dispongamos aún del conocimiento necesario para la gestión de la prevención. En este sentido hay que destacar que además se ha comprobado que los contrastes que presentan las nanopartículas respecto al mismo material cuando se presenta a tamaño mayor (macro o “padre”), hacen que los métodos de evaluación de riesgos habituales en higiene industrial, más o menos contrastados para las partículas mayores, no puedan ser trasladados sin más a los materiales a escala nano.

En todo caso hay consenso de que su atractivo tecnológico y económico no debe hacer obviar los potenciales daños a la salud y al medio ambiente que se están atisbando. Sin embargo, son pocos los países que comienzan a desarrollar políticas públicas claras que condicionen su entrada en los centros de trabajo a una actividad preventiva decididamente protectora y a una vigilancia enérgica de la efectividad de las medidas dispuestas.

En cuanto a la normativa, su presencia en el mercado está regulada por los reglamentos REACH y CLP, que (a falta de la adaptación específica a los nanomateriales, como vienen demandando multitud de actores) permiten que los nanomateriales quepan en la definición general de “sustancia” química de ambos reglamentos. Tampoco existe a día de hoy una normativa particular sobre la presencia de estos materiales en los centros de trabajo, por lo que se aplica el Real Decreto 374/2001, sobre la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, y en caso de que haya indicios en este sentido, se aplicaría el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

Ante esta situación, reconociendo que estamos ante un nuevo tipo de riesgo, la mayor parte de los institutos públicos para la salud y seguridad en el trabajo de los países industriales han publicado ya materiales para orientar la actividad preventiva frente a los nanomateriales. Mencionamos aquí, solo como ejemplo, las publicaciones del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos, del Health, Safety and the Environment (HSE) británico y el National Institute for Occupational Safety and Health, de Japón (JNIOSH). También el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha publicado documentos técnicos, notas técnicas de prevención, artículos en diversas revistas y materiales divulgativos⁴.

Para la protección de la salud de las trabajadoras y los trabajadores, además de exigir la implantación de la prevención de riesgos laborales en las empresas, se hace necesario implantar desde ya los fundamentos de una vigilancia epidemiológica efectiva de la salud de los trabajadores y las trabajadoras expuestos en su trabajo a nanomateriales, supervisada por las autoridades sanitarias, para que se prolongue en el tiempo, incluso tras finalizada la exposición, teniendo en cuenta que muchos efectos de las exposiciones laborales en la salud aparecen solo muchos años después de producidas.

En algunos países se han dado pasos en este sentido: las autoridades han creado su propio registro nacional, de carácter obligatorio, de los productos usados, fabricados o importados que contengan nanomateriales. Algunos de estos registros, como los de Francia y Bélgica, incluyen también la identidad de

⁴ Hay también guías sectoriales. Ver por ejemplo Aguilar Franco, J. y otros (2015). *Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales en distintos sectores: construcción*. Madrid, INSHT. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Riesgos%20derivados%20nanomateriales%20construccion.pdf>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

los usuarios profesionales⁵. Este tipo de registros facilita la implantación de sistemas de alerta precoz ante eventuales alteraciones de la salud derivadas de la exposición laboral, lo que llegado el caso permitirá tanto tomar medidas públicas como el acceso de las personas afectadas al reconocimiento de una contingencia profesional y, así, a su correspondiente compensación por el sistema de Seguridad Social.

En todo caso, con los conocimientos disponibles actualmente hay que concluir que:

1. Los nanomateriales, por sus características conocidas, tienen potencialmente efectos graves en la salud de los trabajadores y el medio ambiente.
2. Por precaución se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la exposición de las personas durante todas las fases del proceso productivo (la investigación, la fabricación, el uso o manipulación profesional, en las diferentes etapas de la vida del nanomaterial, o de los materiales que lo contienen) y la emisión al medio ambiente (y en su tratamiento como residuo).
3. Es necesaria una acción pública decidida para la protección de la salud y el medio ambiente, adaptando la normativa para dar un trato singular a este nuevo tipo de materiales e implantar dispositivos para la monitorización de la salud y vigilar el impacto ambiental.

En la presente guía se presenta en primer lugar la peligrosidad potencial de estos materiales para la salud de los trabajadores y las trabajadoras y el medio ambiente.

Seguidamente se presentan las incertidumbres en la identificación, cuantificación y gestión de los riesgos laborales.

Por último se revisan las alternativas que se están proponiendo para trabajar con estos materiales sin renunciar a la protección de la salud y seguridad.

El concepto de nanomateriales

Los objetos a tamaño nano están mucho más cerca del tamaño de un átomo que del tamaño de un grano de arena. El prefijo “nano” significa enano. En el Sistema Internacional de Unidades (SIU), un nanómetro (nm) se corresponde con una mil millonésima parte de un metro. Esto se puede expresar como 10⁻⁹ metros; o bien 0.000,000,001 m, o lo que es lo mismo,

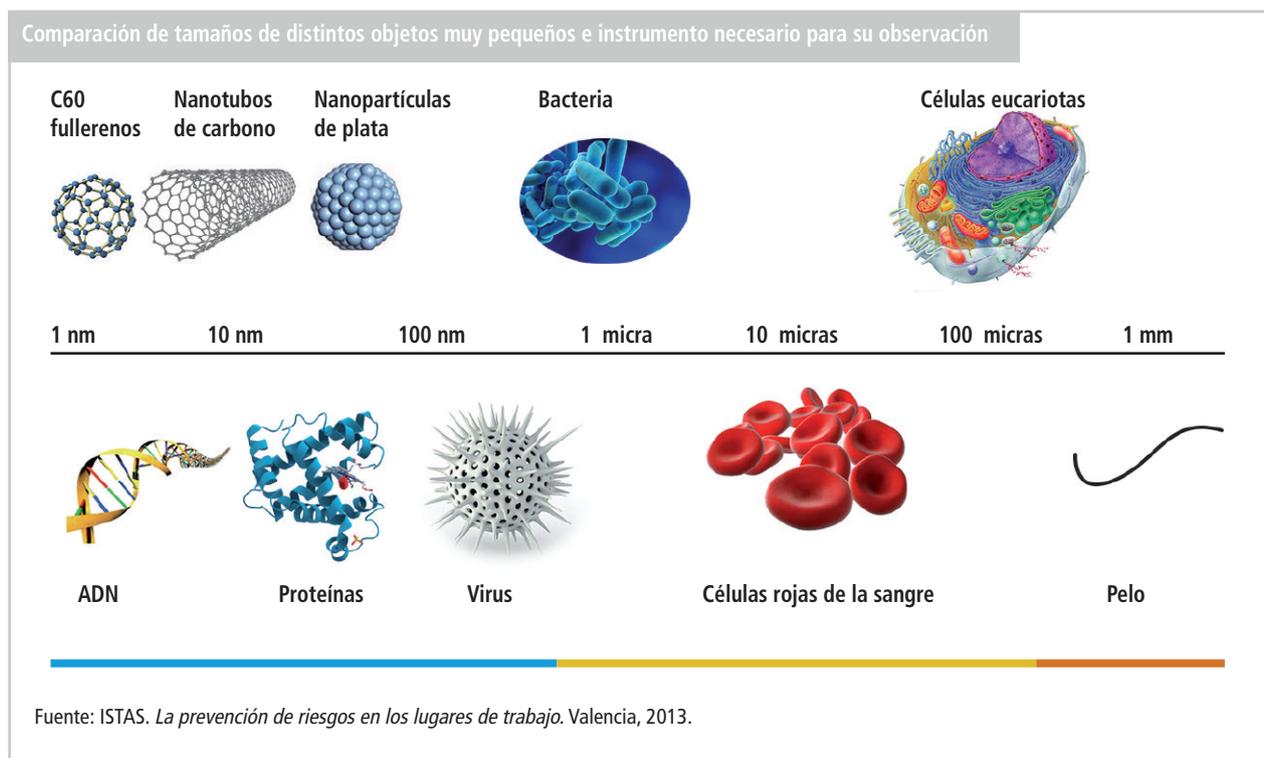
$$1 \text{ nm} = \frac{1}{1.000.000.000 \text{ m}}$$

En términos comparativos se puede ilustrar mejor lo pequeño que es un nanómetro: el grosor de una hoja de papel es aproximadamente 100.000 nanómetros; un cabello humano tiene un grosor de entre 80.000 y 100.000 nanómetros; un glóbulo rojo mide en torno a 7.000 nm, y un virus se encuentra entre 10 a 100 nm. Otra comparación que ilustra lo muy pequeño que es 1 nm es la relación de tamaños entre un ser hu-

⁵ Por contra, la UE no contempla por el momento aprobar un registro europeo, y ha anunciado que considera suficiente el observatorio anunciado por la ECHA. Ver noticia en http://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/Regulations_on_Nanomaterials_in_EU_and_Nano_Register.html. Para el seguimiento de noticias sobre países que han implantado este tipo de registros, ver http://www.chemsafetypro.com/Topics/EU/Regulations_on_Nanomaterials_in_EU_and_Nano_Register.html



mano y una pequeña esfera nanométrica con un radio de 1 nm: es equivalente a la diferencia que existe entre la Tierra y una cereza⁶. En el siguiente gráfico se ilustra esta comparación de tamaños; en la parte inferior de la misma se indica el instrumental requerido para la observación de objetos de distinto tamaño.



Los nanomateriales pueden llegar a los centros de trabajo desde distintos **orígenes**. Por una parte hay nanomateriales generados **de forma deliberada**, a partir de investigación y desarrollo, aplicando tecnologías actuales que permiten crear materiales en la escala nano a partir de, en teoría, cualquier mineral y de casi cualquier sustancia química.

Sin embargo, en los lugares de trabajo también pueden estar presentes partículas igualmente pequeñas, en la escala nano, pero derivadas de otras fuentes, y que se denominan en higiene industrial **“partículas extrafinas”**. Entre estas, según su origen, cabe diferenciar:

- ▶ Partículas que se generan de forma natural, como por ejemplo el polvo de arena, nieblas o humos derivados de actividad volcánica.
- ▶ Partículas que se generan en el propio lugar de trabajo, como resultado involuntario de actividades industriales, como los humos derivados de procesos de combustión, humos de soldadura, etc.

La definición “legal” adoptada por la UE en 2011 está siendo revisada, pues hay varios aspectos técnicos sujetos a debate. En general se tiende a considerar como nanomaterial a aquel que tiene, al menos, una de sus dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros. Se busca una definición que englobe materiales que tengan distintas formas (láminas o platos, fibras, hilos o partículas, etc.).

⁶ Cabe observar aquí que las partículas nanométricas pueden ser alrededor de 100 veces más pequeñas que las partículas que se recuentan habitualmente en las valoraciones de la contaminación atmosférica, que varían en tamaño de 2,5 micrómetros (PM2,5) a 10 micrómetros (PM10).



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Ejemplos de fuentes potenciales de exposición a nanoobjetos

Tipo de proceso	Fuente
Procesos a alta temperatura	Refinado de metales - general Fundición de aluminio Fundición de hierro Galvanizado Soldadura Ranurado por fusión o combustión Corte de metal - lanza térmica Corte de metal - láser Recubrimiento en caliente por espray Encerado en caliente
Combustión	Motores diésel Motores de gasolina Motores de gas Incineración (p.ej.: centrales eléctricas, calefacción, cremación) Calefacción de gas
Calidad ambiente en interiores - aerosoles relacionados	Formación de aerosoles por reacción entre emisiones de gas/vapor de la maquinaria de oficina, limpieza Contaminación debida a nanoaerosoles ambientales
Procesos mecánicos	Molienda y mecanizado de metales a alta velocidad
Generación de polvo mediante procesos de llama	Producción de negro de humo Producción de TiO2 ultrafino Producción de sílice amorfa Producción de alúmina amorfa
Manipulación	Manipulación de polvo de nanoobjetos sin procesar Manipulación de depósitos coloides secos
Nanotecnología	Producción de nanotubos de carbono Generación en fase gaseosa de nanoobjetos Uso y manipulación de aerosoles en nanoobjetos Esprays de suspensiones de nanoobjetos, soluciones y lodos

Fuente: Gálvez y Colorado, 2015.

Por otra parte, dado que los materiales suelen contener partículas de diferente tamaño, la definición debe acotar qué porcentaje es el mínimo. Ahora mismo se considera que al menos el 50% de las partículas del material debe presentar tamaño nano; pero para la nueva definición que se está discutiendo en Europa, se contempla que habrá casos en los que se debe considerar que son nanomateriales también algunos que contengan al menos un 10% de nanopartículas⁷.

⁷ La actividad regulatoria se desarrolla actualmente conjuntamente por los países miembros de la OCDE y otros agentes. Esto está explicado en <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2015/11/OECD-update-nov2015.pdf>. Ver la posición de la Comisión Europea en http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/definition_en.htm. Sobre los aspectos técnicos de estos debates ver, por ejemplo, Garduño-Balderas, L. G.; Urrutia-Ortega, I. M.; Medina-Reyes, E. I., and Chirino, Y. I. (2015) Difficulties in establishing regulations for engineered nanomaterials and considerations for policy makers: avoiding an unbalance between benefits and risks. *J. Appl. Toxicol.*, 35: 1073–1085. DOI: 10.1002/jat.3180. La actividad regulatoria que desarrollan conjuntamente los miembros de la OCDE y otros agentes está explicada en <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2015/11/OECD-update-nov2015.pdf>.



Propiedades de los nanomateriales

La mayoría de los nanomateriales, debido al tamaño de sus partículas y los cambios físico-químicos que se derivan, tiene propiedades singulares y diferentes a las que tiene el mismo material cuando se presenta en partículas de tamaño mayor. La investigación va revelando nuevas y, a veces, sorprendentes características físicas, químicas, reactivas, etc. Estas nuevas propiedades son las que los hacen muy atractivos para diversas aplicaciones, pero al mismo tiempo son las que van descubriéndonos que los nuevos riesgos potenciales resultan hoy, en su mayoría, desconocidos.

“La nanotecnología consiste en la investigación científica y el desarrollo tecnológico que permiten entender, a nivel atómico y molecular, todos los fenómenos que ocurren en la nanoescala, con el fin de utilizar este conocimiento para crear estructuras, materiales, dispositivos y sistemas de complejidad creciente que posean nuevas propiedades y realicen nuevas funciones debido al pequeño tamaño de sus componentes”⁸.

Además de ser diferentes respecto del material a escala mayor, cada uno de los nanomateriales que se crea de este modo tiene propiedades singulares, que lo distinguen de otros materiales a escala nanométrica. Para complicar el asunto, algunas de las propiedades que son relevantes desde el punto de vista de la peligrosidad para la salud y la seguridad, dependen del proceso específico que se aplicó para la fabricación del material.

Esto hace que sea necesario el estudio particular de los riesgos de cada tipo de partícula nano, así como de las medidas para la prevención de riesgos laborales⁹.

Aunque se está investigando el mejor modo de generalizar lo que se sabe de unas para entender los riesgos de otras, a día de hoy resulta osado hacer generalizaciones. En todo caso hay algunas observaciones generales sobre la peligrosidad que parecen ser válidas.

En primer lugar, el modo en que se presentan en el medio laboral, pues cuanto más “sujetas” estén las partículas, menos probabilidad hay de que se introduzcan en el cuerpo:

- ▶ Pueden formar parte de matrices, de nanocompuestos, de superficies nanoestructuradas y de nanocomponentes (electrónicos, ópticos, sensores, etc.), en los que los nanoobjetos están incorporados en una sustancia, material u objeto. En todo caso, el riesgo no se puede descartar por completo, pues se ha observado que, en determinadas condiciones, algunos nanomateriales podrían liberarse.
- ▶ Pueden generarse nanoobjetos asociados a nanoaerosoles derivados de procesos a alta temperatura y a procesos mecánicos, en los que se producen de manera secundaria (no deseada).

Cabe también distinguir dos tipos diferentes de situaciones: pueden llegar a estar presentes como resultado de su fabricación o manipulación deliberada, pero también se pueden adquirir a un tercero. En

⁸ Serena Domingo, P.A. (2010). *La nanotecnología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

⁹ Ceyda Oksel et al. (2016). Evaluation of existing control measures in reducing health and safety risks of engineered nanomateriales. *Environ. Sci.: Nano*, 2016,3, 869-882. DOI: 10.1039/C6EN00122J.



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

este caso pueden llegar como materia prima, en forma de polvos o coloides, listas para ser incorporadas en algunos procesos productivos como la fabricación de materiales compuestos (plásticos, pinturas, cosméticos, raquetas de tenis, textiles, etc.) o para aplicarlas como aditivos, recubrimientos de superficies, etcétera.

Algunos tipos de nanomateriales creados mediante nanotecnologías

Tipo	Ejemplos
Basados en carbono	<p>Grafeno: tiene forma de lámina, con un espesor de un solo átomo.</p> <p>Fullerenos o buckybolos: nanomateriales de carbono con forma elipsoidal o esférica.</p> <p>Nanotubos de carbono: nanomateriales de carbono con forma cilíndrica.</p>
Basados en metales y óxidos de metales	<p>Estos nanomateriales incluyen puntos cuánticos ("quantum dots" o "átomos artificiales"), nanopartículas de oro y plata y óxidos metálicos como el dióxido de titanio, óxido de zinc, óxido de cerio, óxido de aluminio, óxido de hierro, etc.</p> <p>En biomedicina se utilizan como partícula de material semiconductor a nanoescala que puede ser embebido en células u organismos que se utilizan para diversos fines experimentales, como las proteínas de etiquetado (seleniuro de zinc, sulfuro de zinc, sulfuro de cadmio, etc.). Se está estudiando utilizarlos como transporte de fármacos hasta células específicas, etc.</p> <p>Se prevén diversas aplicaciones en desarrollo de hardware, optoelectrónica, etc.</p>
Nanocompositos o nanomateriales compuestos	<p>Combinan nanopartículas con otras nanopartículas o con materiales de mayor tamaño. Hay varias clases principales: nanocompositos de matriz cerámica que incluyen un metal como el segundo componente; nanocompositos de matriz metálica reforzados, por ejemplo, con nanotubos de carbono; nanocompositos de matriz polimérica y partículas inorgánicas; etc.</p>

Presencia de nanomateriales en distintos procesos productivos y sectores

Como señalábamos anteriormente, estos materiales ya están incorporados a procesos productivos de un amplio número de sectores, como la industria del automóvil, la industria espacial y aeronáutica, la industria electrónica y de comunicación, la industria química y la de nuevos materiales, la industria farmacéutica y la medicina, así como en cosméticos, productos para el cuidado de la salud y en tecnologías energéticas. Del mismo modo hay materiales utilizados en el sector de la construcción que las contienen. Asimismo puede haber exposición a nanopartículas de forma no intencionada en la limpieza y en la recogida y tratamiento de residuos, etc.

En la siguiente tabla señalamos algunos ejemplos de sectores productivos donde están presentes en materiales, procesos productivos o en sus aplicaciones¹⁰.

¹⁰ Se puede ver un listado de aplicaciones por tipo de nanopartícula en <http://carboninspired.com/blog/?p=523>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Utilización de nanomateriales en procesos productivos

Sector	Proceso productivo o aplicación
Automóvil	<p>Pintura y revestimientos para automóviles y aviones, piezas de automóviles reforzadas, aditivos para combustibles, baterías, neumáticos duraderos y reciclables, catalizadores.</p> <p>Electrónica tolerante a la radiación.</p> <p>Sistemas integrados de nanosensores.</p> <p>Sensores ópticos.</p>
Biomedicina y productos farmacéuticos	<p>Nanomateriales para la administración de fármacos, apertura remota por láser de luz de microcápsulas.</p> <p>Agentes antimicrobianos. Recubrimiento de tejidos para hospitales, mascarillas, batas quirúrgicas, catéteres, gasas de heridas, imagen molecular.</p> <p>Aditivos en los materiales dentales polimerizables, aditivo en el cemento óseo, SiO₂ relleno de resina con nanocompuesto.</p> <p>Recubrimiento de implantes para la sustitución de articulaciones.</p> <p>Sistemas de diagnóstico, biosensores.</p>
Química y materiales	<p>Fabricación de pigmentos, recubrimientos de autolimpieza y antiarañazos, polvos cerámicos, inhibidores de corrosión, aislamiento térmico, tintas y cosméticos, materiales compuestos, papel adhesivo, fluidos magnéticos, superficies y tejidos antibacterianos, etc.</p>
Cuidado personal y cosmética	<p>Protectores solares, hidratantes faciales, pastas de dientes, barras de labios, tratamientos del acné, productos para el cuidado del bebé.</p> <p>Champú, acondicionador, secadores de pelo, planchas para el pelo.</p>
Defensa	<p>Trajes de batalla para los soldados, sistema de vigilancia de la salud y curación.</p> <p>Materiales neutralizantes para armas químicas.</p>
Electrónica y comunicaciones	<p>Electrónica molecular y fotónica.</p> <p>Piezas de ordenador, memorias y almacenamiento de información de alta densidad, catalizadores multifuncionales, microchips, sensores, pantallas planas, transistores de nanotubos de carbono, paneles de visualización de peso ligero, inhibidores de corrosión.</p> <p>Nanorrobots, operaciones automáticas en la nanoescala.</p> <p>Película conductora transparente basada en nanotubos para papel electrónico.</p> <p>Diodos láser, fibra óptica, interruptores, conductores, recubrimientos antiestáticos.</p>
Energía	<p>Células fotovoltaicas, baterías, materiales aislantes.</p> <p>Almacenamiento de hidrógeno en grafeno.</p>
Medio ambiente	<p>Modelización del clima.</p> <p>Plaguicidas y fertilizantes.</p> <p>Tratamiento de agua y filtros.</p> <p>Catalizadores para mejorar la calidad del aire.</p>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Utilización de nanomateriales en procesos productivos (continuación)

Sector	Proceso productivo o aplicación
Alimentación	Envases de plástico para bloquear la radiación UV y proporcionar protección contra las bacterias. Botellas, cajas de cartón y películas que contienen nanocompuestos de arcilla, como barrera para el paso de gases o de los olores. Nanosensores de caducidad para detectar bacterias y otros contaminantes, como la salmonela, en una planta de envasado. Aditivos y conservantes.
Materiales deportivos	Revestimiento para botes y kayaks. Cañas de pescar hechas con resina epoxi. Raquetas de tenis, palos de golf, bates de béisbol, equipamiento para esquí, cuadros de bicicletas y componentes. Cera para esquíes, recubrimiento antivaho para gafas.
Materiales para la construcción	Recubrimientos superficiales para incrementar el aislamiento, retardantes de fuego, etc. Aditivos en cementos, acero, paneles, pavimentos, asfalto, etc.
Ingeniería	Recubrimientos protectores, rodamientos libres de lubricantes.
Productos domésticos	Productos antiolor, recubrimientos cerámicos para planchas, productos de limpieza para cristales, cerámica y metales.
Industria textil	Se están desarrollando productos textiles con nanomateriales para ser aplicados en campos diversos: deportivos, médicos, seguridad, recubrimientos superficiales para la construcción o el automóvil, etc.; ropa con propiedades antimanchas, ropa antiolor, etc.

Esta amplia relación de sectores y aplicaciones indica que hay trabajadores y trabajadoras potencialmente expuestos a estos materiales en actividades productivas, desde la producción y síntesis de los nanomateriales, la fabricación de los productos que contienen nanomateriales, en las operaciones de limpieza y mantenimiento en esas industrias, en el transporte de estos productos y durante las operaciones de tratamiento y eliminación en vertederos de estos productos, una vez convertidos en residuos.

Hay que tener en cuenta que a las potenciales exposiciones laborales se suman las eventuales exposiciones que podríamos sufrir como consumidores, de las que muchas veces no se tiene conciencia debido a que la normativa no exige señalar su presencia.

Estos datos indican que es necesario que el público objetivo de las acciones de información sobre los riesgos de los nanomateriales incluya tanto a las trabajadoras y los trabajadores industriales, de laboratorios, de servicios, etc., así como a los consumidores, estudiantes, etc.

Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

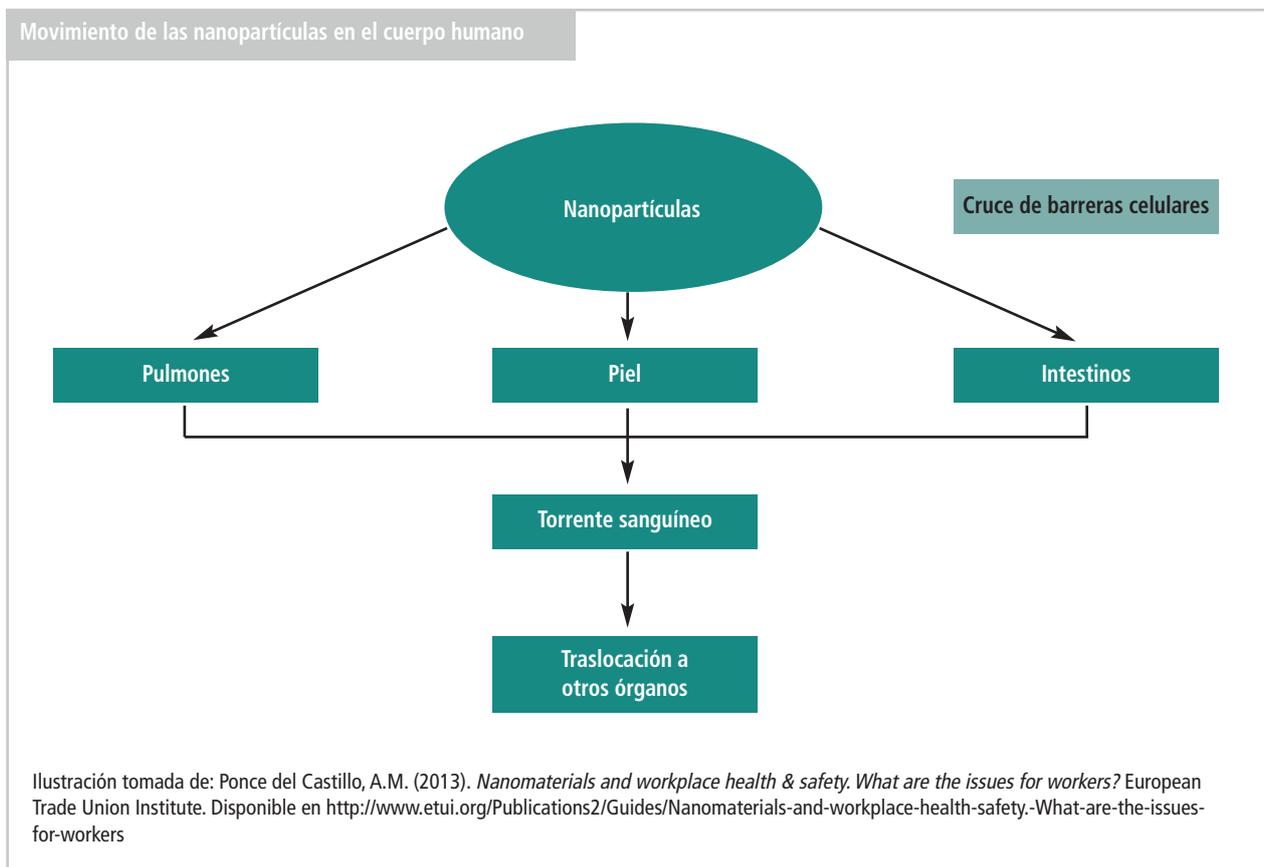
Las nanopartículas y la salud

Las nanopartículas pueden llegar a entrar en el organismo por distintas vías: por inhalación, por ingestión o a través de la piel. Los efectos en la salud, sin embargo, se pueden producir en distintos sistemas y órganos, pues su pequeño tamaño les capacita para llegar a ellos.

Vías de entrada en el organismo

La **inhalación** es la principal ruta de exposición laboral. Las nanopartículas son partículas respirables: se pueden depositar en el tracto respiratorio y debido a su pequeño tamaño pueden llegar a la región de los alveolos pulmonares y permanecer en el interior de los pulmones durante largos periodos de tiempo y/o trasladarse a otros órganos a través del torrente sanguíneo.

La segunda vía de exposición es la **absorción por la piel**. Se ha comprobado que algunos tipos de nanopartículas pueden penetrar a través de la piel sana, pero en particular se debe contemplar la posibilidad de entrada a través de la piel lesionada o dañada. También podrían entrar al organismo a través de los ojos. La exposición cutánea puede tener lugar a través de la manipulación intencionada o del contacto con superficies contaminadas.





Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

La **ingestión** es la tercera vía de exposición posible; aunque no es habitual en el medio laboral, las nanopartículas podrían entrar en el organismo a través de la ingesta o por el contacto de las manos con la boca. Las partículas, una vez en la boca, llegarían a través del tracto digestivo y los intestinos al torrente sanguíneo, y de esta forma se desplazarían a otros órganos.

Efectos en la salud

Lo que se conoce respecto a la peligrosidad de las partículas a escalas mayores, en base a los resultados de los estudios toxicológicos y epidemiológicos, no puede extrapolarse directamente para los nanoobjetos. Hay materiales que en tamaño macro no son tóxicos, pero pueden volverse tóxicos cuando están en forma de nanopartículas. Por el contrario, cuando se conocen propiedades tóxicas al material de origen, se debe suponer que los nanomateriales presentan al menos la misma toxicidad que los materiales "padre".

Los principales parámetros que generan la toxicidad de las nanopartículas son su tamaño (y la distribución de tamaños), su solubilidad (si el elemento es insoluble, se incrementa la toxicidad respecto a las sustancias hidrosolubles, como los metales y compuestos metálicos; si no se conoce su solubilidad, hay que suponer que es insoluble), su estado de aglomeración (libres, agrupados en aglomerados o agregados), su forma (hilos, fibras, platos, etc.), su estructura cristalina (las estructuras cristalinas de las nanopartículas presentan mayor toxicidad que las amorfas), la toxicidad conocida de su composición química y la de su recubrimiento (con los conocimientos actuales hay que suponer que si los compuestos padres son tóxicos, a nivel de nanoescala aumenta la toxicidad), las características de su superficie y su porosidad¹¹.

Además de diferentes vías de entrada al organismo, los nanomateriales suelen tener diferentes rutas de absorción. El tamaño nano permite que lleguen a órganos inaccesibles para las partículas de tamaño mayor (traslocación).

En el organismo, las nanopartículas interactúan con los sistemas biológicos del organismo de manera diferente. Pueden moverse con más facilidad que las partículas de mayor tamaño, pasar a la sangre y/o a la linfa, y así desplazarse a otros órganos como el hígado, el riñón, el corazón o el bazo. Se ha comprobado que algunas nanopartículas tienen las mismas dimensiones que determinadas moléculas biológicas y pueden interactuar con ellas.

Las nanopartículas pueden atravesar membranas celulares y penetrar en las células. En estas pueden penetrar en el citoplasma y acceder a las estructuras intracelulares, llegando a las mitocondrias o a los núcleos.

Se ha demostrado que las nanopartículas pueden trasladarse al sistema nervioso a través de los nervios olfativos y pueden alcanzar las estructuras cerebrales más profundas, afectando así a las funciones del sistema nervioso.

Se ha observado que las nanopartículas insolubles pueden permanecer en el cuerpo durante largos pe-

¹¹ Ximena Blamey Benavides, Edgar Mosquera y Francisco Díaz (2016). *Estudio exploratorio II. Identificación de nanopartículas en procesos industriales de soldadura y de minería*. Cienc Trab. vol.18 no.55, Santiago de Chile. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492016000100006>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

riodos de tiempo y desencadenar respuestas inflamatorias o inmunológicas. Se estima que una cantidad suficiente de partículas tóxicas (no determinada aún) es capaz de afectar a la superficie pulmonar, dando lugar a una serie de respuestas biológicas que producirían una enfermedad en esa superficie en concreto. Este es el modo en que se producen las neumoconiosis y casi todas las enfermedades relacionadas con exposición a aerosoles de las regiones extratorácica y traqueobronquial. A este hallazgo se le une otro que señala la importancia de la forma de la partícula; se ha comprobado que ciertos nanomateriales que tienen una estructura alargada, en forma de fibra, como los **nanotubos de carbono**, provocan inflamaciones en la superficie pulmonar. La peligrosidad de este efecto para la salud es evidente cuando se le compara con la inflamación producida por las fibras de amianto.

Por otro lado, estudios de laboratorio indican que nanopartículas solubles que se inhalen también penetrarán en los fluidos pulmonares y pasarán así al torrente sanguíneo. Este hallazgo indica posibles efectos sistémicos como los provocados tras la exposición a aerosoles que contienen plomo, que tienen como efecto patologías del sistema nervioso central.

En todo caso es fundamental conocer las propiedades toxicológicas intrínsecas del material¹². Para estimar la toxicidad, también se analiza el modo de fabricación y los recubrimientos de las partículas. También se debe tomar en cuenta el efecto de la confluencia del nanomaterial que se está considerando con otros materiales que pudieran estar presentes (ya sea en tamaño nano, micro o macro).

Otro problema es que faltan conocimientos como para hablar con certeza de dosis “aceptables” y de umbrales. Esto se debe a que, a diferencia de los materiales solubles que se examinan generalmente en toxicología, la toxicidad de un nanomaterial puede depender de su forma, de su área superficial y de que en el organismo se puedan difundir, agregarse o aglomerarse y sedimentar, y esto varía según su tamaño, su densidad y las propiedades físicas y químicas. Esto significa que los ensayos tradicionales in vitro pueden dar respuestas inadecuadas y, además, que los resultados de las pruebas sobre diferentes nanopartículas son menos comparables que para los productos químicos solubles¹³.

Los intentos de generalizar los hallazgos se han topado con la comprobación de que el número de factores que pueden influir en los efectos sobre la salud crea incertidumbre acerca de si los conocimientos sobre efectos en la salud y la seguridad reunidos para un tipo de nanomaterial concreto son aplicables a otros, de características similares pero no idénticas. Al respecto se ha observado que:

“Las nanopartículas manufacturadas se han sintetizado para que tengan unas propiedades concretas que son función no solo de su composición, sino también de su estructura, forma, propiedades superficiales, tamaño, etc. De forma que es posible que esas mismas propiedades que se han controlado al diseñar el nanomaterial para que tenga las características específicas que se buscaban, pueden dar lugar a unas propiedades toxicológicas específicas o potenciadas. Por ejemplo: si se considera que para la toxicidad de un nanomaterial influyen tamaño, carga, solubilidad, composición, recubrimiento, forma, grado de aglomeración y contaminantes, se calcula que, si se considera el proceso de producción, el método de purificación, los recubrimientos y la estruc-

¹² En base a estas, por ejemplo, se estima que los efectos de las partículas de negro de carbón pueden ser más severos que los de dióxido de titanio (TiO₂). <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0102.html>

¹³ Editorial article (2011). The dosis makes the poison. *Nature Nanotechnology*, 6, 329. DOI:10.1038/nnano.2011.87.



tura, podría haber hasta 50.000 tipos de nanotubos de carbono, carbon nanotubes (CNT), y se ignora si esto podría suponer una gran diferencia o no”¹⁴.

En todo caso es fundamental apreciar que la exposición a nanopartículas es un peligro para el embarazo, porque hay muchas formas para que, por algunas de las vías señaladas más arriba, puedan llegar a la placenta y al feto.

Efectos en la seguridad

El pequeño tamaño de las partículas y el incremento del área superficial de las partículas, además de afectar a la toxicidad, causan cambios en las propiedades físico-químicas relevantes desde el punto de vista de la seguridad, dando lugar a riesgos diferentes a los que presenta el mismo material con su composición química macro.

Por una parte se modifican sus propiedades y se incrementa su capacidad para conducir la electricidad o el calor, su punto de fusión, sus propiedades magnéticas, etc. Por otra, su pequeño tamaño permite que permanezcan más tiempo suspendidas en el aire. De este modo, se incrementa la facilidad de **ignición** y la violencia explosiva. Se ha comprobado que algunas nanopartículas en forma de polvo aumentan el riesgo de **reacciones catalíticas, incendio y/o explosión**. También se ha comprobado que si la superficie de nanopartículas tiene capacidad para absorber, por ejemplo, disolventes, se facilitan aún más las reacciones explosivas.

¹⁴ Celia Tanarro Gozalo, M^a Encarnación Sousa Rodríguez, José N. Tejedor Traspaderne. SST nº 61, de marzo de 2011. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SST%20N%C2%BA%2061%20-%20Marzo%202011.PDF>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Plan de prevención

Reconocer las dificultades

En el campo de los nanomateriales, aunque se ha reconocido ya por las autoridades que son un riesgo emergente y preocupante, para la mayoría de estos materiales no se dispone de estudios específicos sobre sus efectos en la salud. Aunque en base a la investigación ya se pueden hacer las consideraciones presentadas en el apartado anterior, los riesgos resultan bastante desconocidos. Por tanto, aunque no se dispone para la mayoría de estudios toxicológicos suficientes ni de datos epidemiológicos, por el **principio de precaución** se deben considerar sumamente peligrosos para la seguridad y la salud de los trabajadores (y del medio ambiente y los consumidores).

La falta de conocimientos hace inadecuado el traslado mecánico de las técnicas de control clásicas de la higiene industrial. En particular, no se debe trasladar lo que se sabe sobre los riesgos que se conocen para los materiales convencionales a tamaño mayor más que como referencia mínima¹⁵.

Otro ejemplo: a falta de conocimientos específicos sobre los riesgos de cada material y a falta de estudios epidemiológicos, aunque hay propuestas en este sentido, no se dispone aún de **valores límites ambientales** (VLA) que puedan servir de referencia para establecer valores “seguros” para poder trabajar. La higiene industrial controla el riesgo ambiental derivado de los agentes químicos midiendo la concentración de materia en el aire (masa) en la zona de respiración del trabajador o trabajadora, y en el caso de las fibras se cuenta su número en un volumen de aire. Luego, evaluar si existe riesgo comparando los resultados obtenidos en la medición con los VLA. En cambio, para las nanopartículas la masa no suele ser tan relevante como el área superficial, el tamaño, el volumen, el número de partículas, la solubilidad, etc. Resumiendo, no se cuenta a día de hoy con sistemas para controlar si la presencia de nanomateriales en el ambiente resulta peligrosa o no¹⁶.

Tampoco resulta viable, a día de hoy, controlar las dosis a las que pueden estar sujetos los trabajadores.

Estas carencias no deben hacer ignorar el peligro de estos materiales. Por el contrario, se ha de partir del hecho de que estamos ante materiales altamente peligrosos, postura que nos orientará a buscar el máximo nivel de protección para los trabajadores y las trabajadoras. En este sentido resulta fundamental asumir que se deben evitar las exposiciones, aplicando el principio de precaución. De este modo, la labor

¹⁵ La información disponible para materiales en la escala mayor, sobre la que se basan las fichas de datos de seguridad, se refiere a esos tamaños y esa información no es suficiente para la prevención de riesgos laborales de los nanomateriales.

¹⁶ Hay propuestas unos parámetros generales para caracterizar el riesgo, como concentración de masa, distribución del tamaño de partículas, área superficial, morfología, etc. En el documento *Problemática en el establecimiento de valores límite: el caso de las nanopartículas* (Celia Tanarro Gozalo, M^a Encarnación Sousa Rodríguez, José N. Tejedor Traspaderne. SST nº 61, de marzo de 2011) se explican las dificultades para determinarlos. Los autores señalan que: “Aunque hay entidades que proponen unos valores límites prácticos, propuestos entre otros motivos para poder comprobar la efectividad de las medidas de control puestas en marcha y minimizar exposiciones, no están basados en criterios toxicológicos. Es decir, no ofrecen las mismas garantías que los valores límites, que se supone que son fruto de estudios a largo plazo y que, en principio, protegen a la mayoría de los trabajadores de desarrollar una enfermedad profesional derivada de la exposición. Por supuesto, como indica IFA, en ningún caso se debe superar el VLA general para polvo, ni deben aplicarse los *benchmark limits* a partículas ultrafinas como humos de soldadura o emisiones diésel, que de ser necesario ya tienen sus propios valores límites basados en criterios toxicológicos.” Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SST%20N%C2%BA%2061%20-%20Marzo%202011.PDF>. Entre las entidades que han desarrollado los citados “valores límites prácticos” está NIOSH, que los ha propuesto para nanotubos de carbono (TWA 7 µg/m³) y para dióxido de titanio nano (TWA 0,3 mg/m³).



preventiva debe buscar las medidas más rigurosas para evitar cualquier exposición, al menos hasta que se disponga de evidencia científica suficiente que demuestre lo contrario.

El deber de protección

El deber de protección del empresario respecto a sus trabajadores y las obligaciones en materia de prevención de riesgos laborales frente a las nanopartículas no se diferencian formalmente respecto a los que tiene para la prevención de riesgos de los materiales convencionales a tamaño macro.

En la gestión de riesgos tradicional, sin embargo, se parte de información que se presume contrastada sobre la peligrosidad de una sustancia; el riesgo se evalúa en base a esa información, incluyendo los conocimientos de las vías de exposición y de las dosis que resultan nocivas, lo que sirve para establecer medidas de control. Por contra, las particularidades de los materiales a tamaño nanométrico y las implicaciones que esto tiene para la gestión preventiva ya han sido reconocidas por los organismos científicos y técnicos nacionales e internacionales. Estos organismos han salido al paso ante la realidad del traslado acelerado que están teniendo las nanopartículas creadas en laboratorios a las diversas industrias, elaborando “guías” que aportan recomendaciones y enfoques para abordar la prevención. Dichas guías intentan adaptar el esquema de la prevención de riesgos laborales al caso de las nanopartículas, aunque tomando en cuenta el alto nivel presumible de peligrosidad. No cabe la ignorancia.

En el caso de los nanomateriales, la carencia de información sobre la toxicidad intrínseca del material y de sus posibles efectos a largo plazo, así como la ausencia de valores límites, debe hacer presumir su peligrosidad.

En todo caso es un deber empresarial, aplicable a cualquier entorno laboral, mantenerse al día y dar seguimiento a las novedades de la investigación sobre los efectos de los nanomateriales en la salud, y trasladar esa información a los trabajadores y las trabajadoras.

Elaborar el plan de prevención

La gestión del riesgo potencial de cada nanomaterial ha de fundamentarse en la idea de que la falta de datos comprobados acerca de su toxicidad o de sus efectos en la salud no significa que estos no existan, tal como se expuso anteriormente. Por el contrario, la carencia de información específica sobre los riesgos de un material ha de impulsar la adopción de un enfoque estricto para asegurar la máxima protección de los trabajadores.

En primer lugar debería plantearse la cuestión de si es posible evitar la incorporación de nanomateriales al proceso productivo, valorando su utilidad social, la existencia de otras alternativas no peligrosas o menos peligrosas. En todo caso, en esta decisión el empresario debe tener claro que, si decide producir o incorporar nanopartículas al proceso productivo, deberá poner en marcha todas las medidas preventivas que aseguren que no se produce exposición. Para ello debe implantar medidas que sirvan para **evitar** el contacto de los trabajadores con los materiales peligrosos, actuando **en el origen**, atendiendo a la jerarquía de control en prevención de riesgos laborales (art. 15 de la LPRL), sin omitir otras medidas complementarias que puedan servir para reducir la exposición, si fallara la prevención en el origen.



Identificación preliminar

Para una prevención de riesgos efectiva se deben identificar todos los procesos y lugares en los que podría darse una exposición, contemplando el conjunto del proceso, tanto durante el proceso de llegada de materiales, producción, aplicación, etc., como durante la gestión de residuos. Es necesario identificar y caracterizar las diversas vías de exposición, las rutas de entrada y valorar la magnitud de la misma. Por ejemplo, hay que considerar las diversas actividades que se desarrollan, en su caso:

- ▶ Recepción y almacenamiento; transporte y distribución dentro de los centros productivos o procesos para el envío hacia otros centros; exposiciones durante el transporte por carretera, transporte marítimo, etc.
- ▶ Manipulación, mecanización de productos que contienen nanomateriales (por ejemplo, perforación, molienda, pulido, etc.), durante su filtración o separación, durante su muestreo en las operaciones de control de calidad o en el embalaje de los productos finales.
- ▶ Traslado no deseado de materiales a zonas teóricamente "no productivas", que pudieran verse contaminadas por fallos en los sistemas de extracción, etc. Fugas o derrames.
- ▶ Procesos de limpieza y mantenimiento de los lugares de trabajo (suelos, paredes, etc.) y de los equipos de trabajo, herramientas, contenedores, vehículos, etc.
- ▶ Exposiciones en operaciones de tratamiento y eliminación de residuos, en los tratamientos *in situ* de estos, durante la recogida de residuos y su gestión (reutilización, reciclaje, incineración) o durante su eliminación en vertederos.

Por otra parte debe reunirse toda la información disponible para caracterizar el riesgo. Por ejemplo, la que se describe a continuación:

- ▶ Modo de presentación, cantidad de nanomaterial.
- ▶ Caracterización del material: posibles rutas de entrada y toxicidad conocida. Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, vapores, etc.
- ▶ Frecuencia del riesgo de exposición y duración de la misma.
- ▶ Personal potencialmente expuesto: personal directo, trabajadores adyacentes, visitantes, etc. Formación de este personal.
- ▶ Zonas donde podrían presentarse las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto).
- ▶ Procesos en los que se pueden crear residuos, vertidos y emisiones con nanopartículas.

En el caso de que los materiales se adquieran de un tercero, y tomando en cuenta que la mayor parte de las fichas de datos de seguridad no contiene actualmente información sobre la presentación nanométrica de los materiales o producto, el empresario ha de requerir especialmente al fabricante que le suministre la información relevante para la evaluación de riesgos laborales. En particular, el suministrador debe informar de si el producto ha sido testado para su forma nanométrica respecto a sus propiedades peligrosas como toxicidad aguda, capacidad de producir asma, toxicidad cutánea, toxicidad para la reproducción y capacidad de producir mutaciones o de producir cáncer.



Metodología de evaluación de riesgos

Tal como se expuso en los anteriores apartados, actualmente se carece de la información necesaria para realizar las evaluaciones de riesgos de estos materiales del modo en que se hace habitualmente para otros tipos de contaminantes ambientales. En su lugar se están utilizando los métodos conocidos como cualitativos, *control banding* o “simplificados”.

Evaluación de la exposición

Cada vez se hace más necesario disponer de información real sobre exposición a nanoobjetos para poder comprender y controlar el riesgo asociado a dicha exposición.

El enfoque clásico a la hora de tratar las exposiciones a contaminantes en forma de aerosol era considerar las concentraciones en masa por unidad de volumen (mg/m^3) para cada una de las fracciones (inhalable, torácica y respirable) definidas por las normas de muestreo de aerosoles [...]. Sin embargo, los estudios toxicológicos ponen de manifiesto la importancia del área superficial en la toxicología de los nanoobjetos, lo que pone en duda la validez del enfoque clásico en lo relativo a la evaluación del riesgo. Por este motivo existen en el mercado gran número de equipos que dan diferentes datos relacionados con la exposición, en términos no solo de masa por unidad de volumen, sino también de número de partículas por unidad de volumen, área superficial, etc.

En cualquier caso, es complicado obtener datos que permitan evaluar la exposición personal de los trabajadores debido a que el diseño de los equipos comerciales disponibles impide el muestreo personal, y a la dificultad de discriminación entre los nanoobjetos de fondo y aquellos procedentes de la exposición laboral.

Por ello es necesario planificar una estrategia de muestreo adecuada, dada la variación espacio - temporal de la concentración y la distribución por tamaño de partícula para poder relacionar el muestreo estático con la concentración personal. Los informes técnicos ISO TR 27628 [] y UNE-EN ISO TR 12885 resumen los principales métodos para el muestreo de nanopartículas dividiendo los equipos en tres categorías, dependiendo de la información que proporcionan: masa, número y área superficial.

La tabla 2 resume las propiedades de los equipos actualmente disponibles y el tipo de información suministrada... (ver más en Gálvez y Colorado, 2015. <http://www.seguridad-laboral.es/revistas/fsl/144/index.html#112/z>).

Métodos “simplificados” (*control banding*)

Reconociendo las dificultades para cuantificar la exposición laboral y para la monitorización personal, el INSHT, siguiendo a las principales entidades técnicas en la materia, recomienda aplicar para la evaluación del riesgo “metodologías simplificadas”.

Dada la falta de información, para que estas metodologías resulten protectoras, se ha de considerar que la falta de información sobre la peligrosidad de determinado nanomaterial conlleva asignar una “seve-



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

ridad” muy alta, aunque aún no se disponga de evidencias¹⁷. Hay que tomar en cuenta, además, que estos métodos solo contemplan la prevención de riesgos laborales y no la protección ambiental.

Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad NTP-INSHT 877

		Probabilidad			
		Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (75-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL3	RL3	RL4	RL4
	Alta (51-75)	RL2	RL2	RL3	RL4
	Media (26-50)	RL1	RL1	RL2	RL3
	Baja (0-25)	RL1	RL1	RL1	RL2

RL1: Ventilación general
 RL2: Ventilación por extracción localizada o campanas de humos
 RL3: Confinamiento
 RL4: Buscar asesoramiento externo

Metodologías “simplificadas” para la evaluación cualitativa de riesgo químico o control banding

Estas metodologías consisten en operar con lo que se sabe sobre dos parámetros: la “severidad” y la “probabilidad”. A partir de estos se obtiene una puntuación que combina los parámetros toxicológicos conocidos y el riesgo potencial de exposición. La puntuación se expresa en una escala de cuatro niveles, y para cada uno de estos niveles se indica uno de los cuatro tipos de medidas a implantar. De este modo se pretende orientar la toma de decisiones acerca de los niveles de control necesarios en situaciones en las que no se dispone de información completa sobre el riesgo y la exposición.

¹⁷ Hay disponible una nota técnica de prevención (NTP) 877, *Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas*, publicada en 2010, que propone aplicar el modelo COSHH británico para el control de sustancias peligrosas para la salud. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/877w.pdf>. El método británico, concebido para la prevención de riesgos en pymes, está disponible en <http://www.hse.gov.uk/nanotechnology/index.htm>. Otra propuesta es el método Stoffenmanager para nanos, disponible en <http://nano.stoffenmanager.nl>. Estos métodos no están todavía totalmente estandarizados y su fiabilidad no está demostrada. Al respecto, diversos estudios encontraron que al aplicar métodos diferentes, sus resultados resultaron discrepantes. Ver por ejemplo, Silva, F.; Arezes, P.; Swuste, P. *risk assessment in a research laboratory during sol-gel synthesis of nano-TiO2* (Safety Sci, 2015, v. 80 n. dec, pp. 201-212). En este estudio la exposición a riesgos por nanopartículas de TiO2 se evaluó en un laboratorio de investigación utilizando métodos cuantitativos y cualitativos de evaluación de riesgos. Se encontró que los resultados de los equipos de lectura directa y el CB NanoTool parecen estar relacionados y alineados, mientras que los resultados obtenidos con el Stoffenmanager nano parecían indicar un nivel de riesgo más alto. Sobre las limitaciones de los métodos de control banding ver, por ejemplo, Eastlake, A.; Zumwalde, R.; Geraci C. (2016). *Can Control Banding be Useful for the Safe Handling of Nanomaterials? A Systematic Review*. J Nanopart Res. 2016; 18. pii: 169. Epub, Jun 22. DOI: 10.1007/s11051-016-3476-0.



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Cálculo de la puntuación de la severidad

Factores a considerar

Nanopartícula

Material padre (2)

	Bajo	Medio	Desconocido	Alto
Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	0	5	7,5	10
Forma	0	5	7,5	10
	Esférica o compacta	En diferentes formas		Fibrosa o tubular
Diámetro	0	5	7,5	10
	De 40 a 100 nm	De 11 a 40 nm		De 1 a 10 nm
Solubilidad	0	5	7,5	10
		Soluble		Insoluble
Carcinogenicidad (1)	0		4,5	6
	No carcinogénica			Carcinogénica
Toxicidad para la reproducción	0		4,5	6
	No			Sí
Mutagenicidad	0		4,5	6
	No			Sí
Toxicidad dérmica	0		4,5	6
	No			Sí
Capacidad de producir asma	0		4,5	6
	No			Sí
Toxicidad	2,5	5	7,5	10
	VLA-ED entre 101 µg/m³ y 1 mg/m³	VLA-ED entre 10 y 100 µg/m³		VLA-ED menor de 10 µg/m³
Carcinogenicidad	0		3	4
	No carcinogénica			Carcinogénica
Toxicidad para la reproducción	0		3	4
	No			Sí
Mutagenicidad	0		3	4
	No			Sí
Toxicidad dérmica	0		3	4
	No			Sí
Capacidad de producir asma	0		3	4
	No			Sí

(1) Tanto si es un cancerígeno humano como animal.

(2) El material padre se refiere a un producto con la misma composición, pero un tamaño de partícula mayor para el que suelen existir datos. La puntuación es 0 si el valor límite de larga duración VLA-ED es mayor de 1 mg/m³. Si no existe un VLA-ED en España (9) se puede acudir a otras listas de valores límite (10).



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Medidas preventivas

Medidas para evitar el contacto

Las medidas más eficaces son las orientadas a evitar todo contacto entre las personas y los materiales potencialmente peligrosos, es decir, las que permitan evitar la exposición en el origen. Por tanto, se deben preferir las actuaciones sobre el foco contaminante. También, complementariamente, se puede actuar sobre el medio de difusión del contaminante y, si se considera necesario, se actuará también sobre las personas que eventualmente podrían ser receptoras del contaminante.

De estos principios se deduce que todas las operaciones en las que se liberen nanomateriales al ambiente deberían realizarse en instalaciones confinadas o en las que los trabajadores estén de alguna otra manera aislados del material; por ejemplo, mediante el uso de cabinas. Estas medidas destinadas a evitar la exposición deben ser monitorizadas para valorar su efectividad; es necesario determinar si los métodos adoptados son eficaces para los nanomateriales utilizados. Las medidas en el origen se deben completar con otras medidas para minimizar cualquier posible exposición. Por ejemplo, si se comprobara que las medidas de protección en el origen no son suficientes, se implantarán además medidas de protección individual¹⁸.

Las medidas disponibles serían las siguientes:

- ▶ En la fase de proyecto de los procesos en los que pueda haber presencia de partículas nano, se diseñarán métodos eficaces de **aislamiento, encerramiento o contención física** del proceso, o bien de las personas. Para ello se utilizarán procesos cerrados, campanas de gases o gabinetes de bioseguridad, etc. Debe tenerse en cuenta que, en caso de una fuga en un circuito cerrado o en el encerramiento del proceso, las nanopartículas se comportarán como un gas y se dispersarán, pudiendo llegar a cualquier lugar de la planta.
- ▶ Si se trata de agregar nanomateriales a un proceso, se debe **evitar la generación de polvo**. Se deben seleccionar preferiblemente nanomateriales que vengan contenidos en una matriz sólida o líquida (dispersión, suspensión, pasta, encapsulamiento, etc.), o bien, durante el proceso, implantar sistemas para la supresión o minimización de la formación de polvo (por ejemplo, ligando los materiales a un soporte sólido o líquido).
- ▶ Si se usan métodos húmedos o se trabaja con soportes líquidos, se buscarán modos de impedir que se produzcan salpicaduras o el contacto con estas.
- ▶ Se adoptarán medidas para evitar **que las personas estén en ambientes con polvo**. En todos aquellos lugares en los que se realicen procesos donde exista la posibilidad de que se forme polvo, se tomarán medidas para evitar la exposición de las personas y la emisión al medio ambiente. Para ello se pueden utilizar equipos con sistemas de aspiración y recogida de polvo incorporados o unidades de extracción o aspiración con filtros de alta eficacia (HEPA H14 o ULPA). Su elección atenderá al tipo de proceso, material, cantidad utilizada y forma de uso. Para asegurar el funcionamiento adecuado de los sistemas de extracción es necesario asegurar su mantenimiento regular y asumir, siempre, que las intervenciones de limpieza y mantenimiento son tareas muy peligrosas.

¹⁸ *Personal Protective Equipment for engineered nanoparticles*. Fact Sheet Sponsored by the AIHA Nanotechnology Working Group https://www.aiha.org/government-affairs/Documents/PPE%20for%20ENP_FINAL.pdf



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

- ▶ La gestión preventiva del **orden y la limpieza** del lugar de trabajo y de los equipos de trabajo debe estar pautada en el plan de prevención. Se establecerán los medios adecuados (uso de aspiradores industriales con filtros HEPA incorporados, utilización de métodos húmedos, no se utilizarán cepillos ni sistemas de aire comprimido, etc.) y se cuidará especialmente que esté fijado el modo de realizar estos procesos. Se establecerá el seguimiento de la efectividad de estas medidas.
- ▶ **Medidas organizativas:** señalización de las zonas de trabajo donde se utilicen nanopartículas y nanomateriales, restricción de acceso a zonas con presencia de nanopartículas, para la reducción del personal potencialmente expuesto y del tiempo de exposición.
- ▶ Gestión preventiva del almacenamiento y el transporte de los nanomateriales (envases cerrados y correctamente identificados, etc.).
- ▶ Atención especial a la **coordinación empresarial** en prevención de riesgos laborales: gestionar la intervención de trabajadores externos, de contratistas o subcontratistas o autónomos.
- ▶ **Instrucciones de trabajo escritas:** se debe establecer cómo manejar y gestionar los nanomateriales de una manera segura en todas las operaciones relevantes. En su caso, establecer la necesidad de sistemas de permisos de trabajo por escrito.
- ▶ **Formación e información** sobre riesgos para trabajadores, mandos y delegados de prevención¹⁹.
- ▶ El plan debe desarrollar un registro de personas potencialmente **expuestas** y un protocolo de **vigilancia de la salud**, siempre acordado con los trabajadores²⁰.
- ▶ Se deben identificar las personas que a efectos de la LPRL pudieran ser consideradas especialmente **sensibles**. Para mujeres embarazadas y/o en período de lactancia se pueden prever, por ejemplo, medidas para reducir aún más la probabilidad de exposición. Por ejemplo, se preverán medidas organizativas como el cambio de ubicación o de puesto de trabajo.
- ▶ **Ropa de protección:** es mejor la ropa de protección realizada con materiales “no tejidos”, ya que según los estudios disponibles son más efectivos frente a la penetración de nanopartículas que los “tejidos”; la ropa de protección de algodón y la de mezcla de algodón-poliéster no resulta adecuada frente a la penetración de nanopartículas. Se pueden utilizar materiales desechables, como los realizados con polietileno de alta densidad. Este tipo de ropa, sin embargo, contribuye a generar estrés térmico, por lo que, en su caso, también se deberá controlar este riesgo.
- ▶ Se deben utilizar equipos de **protección individual** (EPI) como complemento para el resto de medidas adoptadas cuando se manipulen nanomateriales para los que se conoce su elevada peligrosidad o cuando exista un alto grado de desconocimiento de las propiedades peligrosas de los mismos. Los equipos de protección individual están indicados cuando se trata de operaciones puntuales o ante situaciones de emergencia. Cuando se implante su uso, se desarrollará **un programa para la adecuada selección, ajuste, entrenamiento y mantenimiento** de los equipos que se vayan a usar:
 - Se debe organizar el trabajo de modo que no se requiera el uso permanente durante la jornada.
 - La selección del EPI debe ser cuidadosa en función de los riesgos asociados. Hay que tomar en cuenta si hay otros riesgos, además de las nanopartículas; por ejemplo, si hay riesgo de contacto con otras sustancias químicas que formen parte de la matriz del nanomaterial (como disolventes, tensioactivo, etc.). También se debe atender a las condiciones de uso: es fundamental la ergonomía. El ajuste es crítico para evitar la entrada de nanomateriales.

¹⁹ Ver más en el apartado sobre formación, página 24.

²⁰ Ver apartado especial sobre vigilancia de la salud, página 25.



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

- La selección de un EPI adecuado es complicada porque hay muchas incertidumbres técnicas. Hay que tener en cuenta que los EPI solo pueden ofrecer una protección eficaz si se seleccionan adecuadamente, están siempre en perfecto estado (bien mantenidos) y se utilizan adecuadamente durante todas las exposiciones potenciales.
 - En general, las recomendaciones para la selección de un EPI para la manipulación de nanopartículas son las mismas que para las exposiciones a otros polvos, polvos finos o aerosoles, aunque la selección del EPI debe basarse en diversas consideraciones, como la caracterización química y toxicológica conocida de la nanopartícula, la cantidad manejada y el estado físico (por ejemplo, polvo seco vs. suspensión líquida), la existencia en el lugar de otras medidas de control de la exposición, los requisitos de rendimiento y las limitaciones del EPI, y la presencia de otros peligros (por ejemplo, presencia de polvo combustible y la necesidad de calzado y ropa disipadora de electricidad estática).
 - Las trabajadoras y los trabajadores deben participar en la selección de los EPI. Tanto los supervisores a cargo de las operaciones con nanomateriales como los trabajadores que van a usarlos deben estar capacitados para: 1) Identificar la necesidad de usar el EPI: cuál es el que debe ser usado (incluyendo el tamaño adecuado para el ajuste apropiado) y qué tareas requieren cada EPI específico. 2) Ponerse, ajustarse, llevar y quitarse correctamente el EPI, sin contaminarse a sí mismos ni introducir contaminación cruzada en el lugar de trabajo. 3) Reconocer las limitaciones del EPI y el posible deterioro y reducción del rendimiento, y cuándo es necesario cambiarlo por uno nuevo. 4) Inspeccionar, almacenar, mantener, descontaminar y deshacerse correctamente del EPI²¹.
- ▶ Los guantes y otras protecciones de la piel se deben elegir por sus propiedades de permeabilidad y de penetración, que es una información que debe aportar el fabricante, según lo que se conozca sobre el nanomaterial. En general parece que los guantes más adecuados serían los de nitrilo. Es posible utilizar otro tipo de guantes y es de especial importancia tener en cuenta que los guantes deben ser también impermeables a otro tipo de compuestos que se estén manejando junto con las nanopartículas, como por ejemplo disolventes²².
- ▶ Para un uso continuado se recomienda utilizar dos pares de guantes. Esto permite quitarse el guante exterior y, tras quitarse la ropa, quitarse el siguiente. En todo caso, los guantes se deben reemplazar con la frecuencia necesaria, especialmente cuando se trabaja con líquidos y/o pueda haber otros factores de desgaste.

Tipos de guantes indicados para algunos nanomateriales

Nanomaterial /estado	Tipo de guante
Nanotubos de carbono	Nitrilo sobre látex
Dióxido de titanio y platino	Látex, nitrilo, neopreno
Grafito	Látex, nitrilo, neopreno, vinilo

Nota: Considerar el riesgo de alergia al látex.
Cuadro tomado de: <http://innovation.luskin.ucla.edu/sites/default/files/nano%20toolkit%202012%200419%20updated.pdf>

²¹ Ver https://www.aiha.org/government-affairs/Documents/PPE%20for%20ENP_FINAL.pdf

²² Virginia Gálvez Pérez y Mercedes Colorado Soriano (2015). "Los nanomateriales, un nuevo reto para la prevención de riesgos laborales". Artículo en revista *Formación de Seguridad Laboral*, diciembre, nº 144, pp. 109-114. Disponible en <http://www.seguridad-laboral.es/revistas/fsl/144/index.html#114/z>



Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

- ▶ Reforzar las medidas de higiene personal como: prohibición de beber y comer en el lugar de trabajo, gestión de la ropa de trabajo específica y del lugar para colocar los EPI, sistemas de limpieza personal, etc.
- ▶ Planificar las acciones en casos de salpicadura, derrame, fuga o cualquier emergencia, deben estar escritas en un procedimiento, para lo cual se habrá realizado formación y simulacros.
- ▶ Se debe elaborar un programa para el tratamiento de residuos. Dicho programa dará consideración de residuo peligroso al que contenga cualquier material para el que no se tenga prueba de lo contrario.

Medidas para reducir el riesgo de explosión o incendio

La reducción del riesgo de explosión o incendio se puede lograr aplicando medidas de seguridad específicas para la reducción de la probabilidad de accidentes.

Se desarrollarán procedimientos de mantenimiento que eviten fugas, generación accidental de atmósferas explosivas, generación de electricidad estática o que se formen fuentes de ignición de manera accidental. Se puede actuar también sobre los factores del proceso que puedan contribuir al riesgo, como la temperatura y la presión. Otra posibilidad para reducir la severidad es diluir los polvos, extraerlos o sustituirlos.

Si el riesgo se mantiene, se tomarán medidas orientadas a la protección de los trabajadores y las trabajadoras potencialmente expuestos al riesgo.

Formación e información de los trabajadores y las trabajadoras

Todas las personas que podrían llegar a estar en contacto o expuestas a nanomateriales deben estar identificadas como parte de la estrategia de gestión de riesgos. Su formación e información permitirá implicarles en su seguridad y la de otros, pues la participación competente, informada y activa de los trabajadores garantiza la efectividad de las medidas del plan de prevención. Los trabajadores y las trabajadoras deberían ser informados acerca de:

- ▶ Las características de los materiales a los que podrían estar expuestos, sus peligros conocidos y las incertidumbres.
- ▶ Estrategia preventiva adoptada.
- ▶ Límites de exposición (si los hubiera) e incertidumbres. Resultados, en su caso, de mediciones y muestreos.
- ▶ Instrucciones de trabajo y precauciones que se han de tener en cuenta para cada tarea.
- ▶ Equipos de protección.

Además, los representantes de los trabajadores deben contar con formación e información suficientes para participar en la elaboración del plan de prevención y, en particular, del proceso de evaluación de riesgos. Para ello pedirán al empresario y al servicio de prevención toda la información disponible. También deben contar con asesoramiento externo, del sindicato y/o por parte de los institutos técnicos públicos.



Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Vigilancia de la salud

La vigilancia de los efectos del trabajo en la salud es un derecho de los trabajadores, recogido en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales; es también una actividad que atiende a la obligación empresarial de garantizar la integridad de la salud de los trabajadores a su cargo.

El objetivo de esta actividad es identificar, lo más tempranamente posible, cualquier alteración de la misma que pudiera estar relacionada con el trabajo y permitir así que se tomen medidas adicionales para la protección de la salud de las personas.

Si como resultado de estas actividades se encontrara que hubo algún impacto en la salud, se da lugar a diferentes actuaciones: a) atender a la salud de las personas afectadas, b) mejorar las medidas preventivas, c) establecer el vínculo entre las condiciones de trabajo y una eventual enfermedad profesional, y d) establecer eventuales responsabilidades empresariales. Además, mediante la vigilancia de la salud de colectivos de trabajadores (en una empresa, en una ocupación, expuestos a un determinado factor de riesgo), e) se generan datos que contribuyen a elaborar conocimientos útiles para la protección de ese colectivo o de público en general, y en el caso específico de nuevos riesgos, o riesgos emergentes, f) se generan datos que contribuyen a la elaboración del saber científico.

Las actividades de vigilancia de la salud en el contexto del trabajo son un conjunto de procedimientos orientados a la recogida y análisis de información sobre la salud de los trabajadores. En la vigilancia de la salud laboral, las exploraciones o pruebas deben ser específicas para los riesgos que se hayan identificado en la evaluación de riesgos: esto significa que no vale cualquier tipo de exploración, sino que cada actuación se debe justificar respecto a algún riesgo laboral identificado previamente, y las exploraciones y pruebas deben ser probadamente eficaces para el objetivo. Cualquier prueba que se haga, entonces, se tiene que justificar en el conocimiento científico acerca de su utilidad, respecto al agente contaminante específico.

En el caso de los nanomateriales, las revisiones y pruebas médicas se deberían orientar a valorar si se ha producido una contaminación (es decir, si se advierte presencia de un contaminante o de una reacción a este en el organismo, tomando muestras de sangre, orina, etc.), si ha llegado al órgano diana (pulmón, riñón, etc.) o si se está viendo afectado determinado sistema corporal (por ejemplo, el sistema respiratorio, el sistema inmune, etc.).

Sin embargo, en el caso de las nanopartículas, la situación actual es que falta información acerca de la mayoría de los mecanismos toxicológicos implicados, y tampoco se dispone de datos de estudios epidemiológicos. Estas carencias impiden saber cuáles son los indicadores que se deben monitorizar o cuáles son las alteraciones de la salud que se deberían buscar respecto a cada material.

En este sentido hay pocos materiales para los que ya se han comprobado efectos determinados. Por ejemplo, para los nanotubos de carbono (NTC) por vía inhalatoria se sabe que dan lugar, gracias a estudios de laboratorio con animales, a efectos muy graves: debido a su pequeño tamaño y a su forma alargada, se acumulan en la superficie pulmonar y allí producen lesiones y respuestas inflamatorias similares a las que causa el amianto (más información sobre NTC en el capítulo “Ejemplos de algunos tipos de nanomateriales” de esta guía). No existe aún conocimiento de este tipo respecto a otros materiales.



Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas
y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Además, la identificación de un efecto negativo sobre la salud no permite descartar que ese mismo material pueda producir también otros efectos, adicionales, desconocidos por el momento. En esta situación se produce una gran incertidumbre porque:

- ▶ Las pruebas médicas que se realicen podrían dar resultados que no tengan la relevancia necesaria para descartar que se estén produciendo efectos en la salud.
- ▶ Cualquier alteración de la salud que se observe, debería ser estudiada con más profundidad para establecer si tiene relación con las condiciones de trabajo.

En general, dado que la principal vía de entrada de nanoobjetos en el organismo es la inhalatoria, los expertos recomiendan estudiar, como principal órgano diana, la función pulmonar. Sin embargo hay que tener en cuenta, debido a la comprobada capacidad de traslocación de estos materiales, que por vía inhalatoria o dérmica también pueden llegar a afectar a otros órganos, como los riñones o el hígado.

En todo caso, el hecho es que no contamos en la actualidad con protocolos de vigilancia de la salud reconocidos para los trabajadores y las trabajadoras expuestos a nanomateriales. Tampoco se dispone aún de sistemas para la monitorización de la exposición individual, ni dosimétricos ni biológicos.

En este sentido, las pruebas médicas que se puedan ofrecer a día de hoy desde las empresas son, en estos momentos, necesariamente inespecíficas. Por tanto no ofrecen las necesarias garantías de eficiencia: a) los resultados de cualquier prueba que indiquen una alteración no permitirán establecer con certeza que se deben a una exposición laboral, y b) cuando el resultado de una prueba no indique ninguna alteración, no se puede concluir que una exposición no produjo efectos, pues podría ser que las pruebas que se estén realizando no sean las relevantes para el material en cuestión o que no sean suficientemente sensibles, o que los efectos solo aparecen a largo plazo, etc.

Por otra parte, desde el movimiento sindical tendemos a impugnar que se realicen pruebas inespecíficas en el marco de la prevención de riesgos laborales porque no ofrecen las garantías necesarias respecto a los derechos de los trabajadores y las trabajadoras. Por el contrario, las pruebas inespecíficas pueden redundar en un menoscabo de las condiciones de empleo. En este sentido, la normativa sobre vigilancia de la salud establece que las pruebas deben ser específicas, justamente para evitar que sus resultados puedan afectar a los derechos de empleo y a sus condiciones.

De estas consideraciones concluimos que, aunque la responsabilidad de la vigilancia de la salud recae en nuestra normativa en el empleador, dado que los nanomateriales son un riesgo emergente potencialmente muy grave pero rodeado aún de muchas incógnitas, y dado que no existen todavía protocolos de vigilancia específicos, resulta fundamental que las autoridades tomen un papel activo tanto en la monitorización de las exposiciones como de los posibles efectos en la salud.

En este sentido proponemos que, al igual que en otros países, las autoridades establezcan un registro de las empresas que utilizan estos materiales así como un registro de trabajadores y trabajadoras potencialmente expuestos, de carácter sanitario. A los trabajadores así registrados se les ofrecerá la vigilancia de su salud a lo largo del tiempo, incluso después de concluida la exposición y/o la relación laboral. Esto permitiría que en el futuro se pueda establecer la relación entre exposición y un eventual daño a la salud, asunto importante debido a que muchas alteraciones de la salud aparecen solo a medio o largo plazo.



Nanopartículas y medio ambiente

Hay que partir de la idea de que las nanotecnologías crean, desde los laboratorios, las industrias o a través de los productos de consumo, nuevas formas de residuos y de contaminación. El conocimiento sobre el impacto de los nanomateriales sobre el medio ambiente es aún más escaso que para los efectos sobre la salud humana, aunque los estudios de laboratorio arrojan datos muy preocupantes sobre el posible impacto en otros seres vivos.

Resulta por tanto indispensable asegurar que no se liberen nanomateriales al medio ambiente. Para ello se requieren medidas preventivas durante todo el ciclo de vida de los nanomateriales; en su producción, en su aplicación industrial, en el uso de productos que contengan nanomateriales y, al final de su vida útil, durante su gestión y tratamiento como residuos.

De manera práctica será necesario plantearse: ¿qué sucede con los productos que contienen nanomateriales al final de su vida útil? ¿En qué otros momentos se pueden convertir en emisiones ambientales o en residuos? ¿Qué medidas se aplicarán para evitarlo?²³.

Gestión y almacenamiento de residuos

Para actuar con cautela, las empresas que produzcan o utilicen nanomateriales deben desarrollar su programa de gestión de residuos considerándolos residuos peligrosos; esto implica en primer lugar impedir que se mezclen con otro tipo de residuos, y luego darles el tratamiento adecuado.

Los nanomateriales pueden estar contenidos en cualquier objeto o artículo contaminado con nanomateriales como filtros, equipos de protección (como guantes, mascarillas, monos de trabajo desechables, material de laboratorio...), suspensiones líquidas que contengan nanomateriales, matrices sólidas que contienen nanomateriales friables o tienen nanoestructuras que se puedan desprender o romper en contacto con el aire o el agua o cuando estén sometidos a algún tipo de fuerza mecánica. También pueden estar contaminados los equipos que hayan estado en contacto con nanomateriales, que deberán ser sometidos a procesos de descontaminación antes de ser reutilizados, desechados o reciclados.

Declaración sobre residuos que contienen nanomateriales suscrita por organizaciones ecologistas y sindicales²⁴

El destino de los nanomateriales en los flujos de residuos es una preocupación significativa. Este tipo de desechos ya están apareciendo en los procesos de reciclaje y eliminación de residuos cuando los productos llegan al final de su vida útil, e irán aumentando con la continua creación de productos que contienen nanomateriales.

²³ German Environment Agency (2016). Nanomaterials in the environment – Current state of knowledge and regulations on chemical safety. Recommendations of the German Environment Agency. Background, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/nanomaterials_in_the_environment.pdf

²⁴ Ver "Declaración sobre residuos que contienen nanomateriales suscrita por organizaciones ecologistas y sindicales" (incluida CCOO) en: <http://www.ciel.org/wp-content/uploads/2016/04/Declaracion-sobre-desechos-que-contienen-nanomateriales-Spanish.pdf>



Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas
y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Productos de consumo desechados, residuos de aplicaciones industriales y médicas, y desechos de los procesos de tratamiento de basura o aguas residuales pueden contener diversas formas de nanomateriales que son difíciles de caracterizar y cuantificar. Esto puede derivar en una exposición ambiental y humana a una clase de sustancias cuya toxicidad aún no se entiende completamente.

Dada la incertidumbre sobre los riesgos de los nanomateriales, su dispersión dentro de los flujos de residuos y del medio ambiente debe ser controlada. Las políticas y reglamentos deben adoptar un enfoque de precaución y apuntar a minimizar la exposición humana y ambiental a residuos que contengan nanomateriales.

Las organizaciones de la sociedad civil que firman esta declaración, hacen el llamado a los gobiernos, centros de investigación, instituciones de financiamiento de investigación e innovación y las empresas para:

- ▶ *Implementar la responsabilidad completa del productor de garantizar un manejo seguro de los residuos que contienen NM. Funciones más estrictas, como exigir a los productores la caracterización y declaración de residuos. Esto requerirá el establecimiento de requisitos y normas específicos en materia nano sobre protección de la salud ocupacional y seguridad para los trabajadores.*
- ▶ *Restringir los movimientos transfronterizos de los desechos que contienen ciertos NM. El marco jurídico de la UE debería aplicar estrictos mecanismos de control para la exportación de residuos con contenido de NM, similares a los existentes para la gestión de residuos peligrosos.*
- ▶ *Habilitar una cuantificación y caracterización transparente de los flujos de residuos que contienen NM a través de un registro público de nanoprodutos en toda la UE. Dicho registro será un instrumento para proporcionar información cuantitativa sobre la presencia de NM en los productos y servirá de base para el seguimiento de los flujos de residuos que contienen nanomateriales en diversas formas.*
- ▶ *Estimular la innovación sobre prevención de residuos. La reducción en origen de los residuos que contienen NM debe ser un requisito estándar para todos los proyectos de investigación y desarrollo financiados con fondos públicos que involucran a las nanotecnologías.*
- ▶ *Fomentar el desarrollo de tecnologías de reciclaje y eliminación seguras y eficaces para los productos que contienen NM. Estas tecnologías deben garantizar una eliminación ambientalmente segura o la inmovilización de NM en los desechos y tratamiento de aguas residuales.*
- ▶ *Desarrollar y establecer criterios verificables de fin-de-residuos para materiales reciclables que contienen NM. La presencia de los nanomateriales en el reciclado de materias primas no debe impedir la recuperación segura y económicamente viable de materiales secundarios. El establecimiento del marco para evitar la contaminación cruzada de los materiales reciclados con NM es esencial para apoyar los esfuerzos de la economía de la UE.*
- ▶ *Los innovadores deben explorar cómo las propiedades avanzadas de los NM se pueden emplear en apoyo de la economía sin introducir nuevos riesgos ambientales o agravar los ya existentes. Deben demostrar, por ejemplo, cómo los materiales funcionales se pueden aplicar para hacer más viable la reparación, refabricación y reciclaje de otros productos (por ejemplo, el uso de adhesivos intercambiables para facilitar el desmontaje de un producto).*



Participación de los trabajadores

Los trabajadores y las trabajadoras y sus representantes deben participar en el desarrollo de la estrategia de gestión de riesgos, incluyendo el diseño del proceso, la selección de medidas de control, la selección de equipos de protección, de las medidas de control de la eficacia del sistema y de la vigilancia de la salud, la formación, etc.

Hay que tomar en cuenta que los trabajadores deben ser consultados siempre respecto a las modificaciones del proceso productivo, aplicándose esto por supuesto también a las nanopartículas. Por ello, en caso de que la empresa comunique que se está planteando la introducción o producción de nanomateriales en el proceso de trabajo, durante el periodo de consulta los representantes de los trabajadores podrán cuestionar la necesidad, para que se dé preferencia a alternativas no contaminantes.

LPRL, artículo 33: Consulta de los trabajadores

1. El empresario deberá consultar a los trabajadores, con la debida antelación, la adopción de las decisiones relativas a:
 - a) La planificación y la organización del trabajo en la empresa y la introducción de nuevas tecnologías, en todo lo relacionado con las consecuencias que estas pudieran tener para la seguridad y la salud de los trabajadores derivadas de la elección de los equipos, la determinación y la adecuación de las condiciones de trabajo y el impacto de los factores ambientales en el trabajo.

Si ya están presentes los nanomateriales, los representantes de los trabajadores participarán en la elaboración del plan de prevención para verificar la protección de los trabajadores y el medio ambiente. En todo caso, necesitan requerir al empresario toda la información relevante para poder intervenir.

El plan de prevención comprende dos instrumentos fundamentales: la evaluación de riesgos laborales y la planificación de la actividad preventiva. Sin embargo, como hemos visto, actualmente faltan datos que resultan imprescindibles para realizar una evaluación de riesgos rigurosa. Por ello hay que demandar que se parta del supuesto de que son altamente peligrosos, hasta que se disponga de evidencia científica suficiente que demuestre lo contrario. Esto es, aplicar el **principio de precaución**.

Este principio, en la empresa, supone que en la **planificación de la actividad preventiva** se dispongan medidas preventivas tan efectivas como para impedir cualquier nivel y tipo de exposición de los trabajadores y trabajadoras o cualquier emisión ambiental, y que, además, se extreme la vigilancia de la eficacia de las medidas adoptadas.

En el proceso de participación en la planificación de la actividad preventiva los delegados y las delegadas han de cerciorarse de que estén contempladas todas las posibles vías de exposición y todos los puestos potencialmente afectados.



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

Siguiendo los principios de la acción preventiva enunciados en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, se deben implantar medidas orientadas a evitar la exposición, complementadas con medidas orientadas a la protección colectiva.

Los trabajadores y las trabajadoras han de exigir que se lleve un registro de todas las personas que eventualmente pudieran llegar a estar expuestas en su trabajo, y que se les forme e informe adecuadamente. Igualmente, los representantes de los trabajadores participarán en la adopción de protocolos para la vigilancia de la salud, y en el seguimiento de los resultados de todas las actividades.



Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas
y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Control público

Las autoridades europeas reconocen en general que las nanotecnologías representan un nuevo tipo de riesgo, pero atendiendo a la oposición patronal (que prefiere instrumentos como las normas voluntarias) retrasan la adopción de normativa específica, y solo en algunos casos publican guías de actuación, de carácter voluntario²⁵. Recientemente, la UE ha dado un paso y ha reconocido la necesidad de establecer un sistema específico de autorización previa en el marco del sistema REACH y se esperan novedades para 2017.

Por ahora, la Comisión Europea se ha comprometido a una mayor transparencia, y en esta línea ha creado un portal web para suministrar información (The JRC Web Platform on Nanomaterials, en <https://ihcp.jrc.ec.europa.eu/scientific-tools/web-platform-on-nanomaterials>) a la espera del anunciado portal web (**NanoObservatorio** de la UE) que será gestionado por la ECHA²⁶.

Las propuestas que comparten actualmente la mayoría de expertos, sindicalistas y ecologistas son:

- ▶ Obligar a los promotores a investigar los peligros de los materiales a escala nano antes de introducirlos en las empresas o en el mercado. Actualmente se dedica menos del 1% del dinero de la investigación a conocer los riesgos.
- ▶ Modificación del sistema REACH para que exija al fabricante o importador de nanomateriales el registro específico de los materiales en tamaño nano. El fabricante de nanomateriales debería tener que registrar los nanomateriales como tales antes de ponerlos en el mercado. De este modo se lograría que las fichas de datos de seguridad (con la información necesaria para la identificación, usos, caracterización de riesgos, etc.) y el etiquetado contengan la información necesaria para que los empresarios que adquieren su producto puedan poner en marcha la adecuada prevención de riesgos laborales, incluyendo los usos desaconsejados así como consejos para el uso seguro. Los datos disponibles en las fichas para los materiales a su escala "normal" no cubren esta necesidad.
- ▶ En paralelo a la modificación de las disposiciones REACH y CLP, también se demanda la creación de registros públicos de nanomateriales en el mercado y/o productos que contengan nanomateriales, y que se obligue a las empresas a documentar el uso en el trabajo de estos materiales, las exposiciones de los trabajadores y las trabajadoras y los resultados de la vigilancia de la salud, como ya se está haciendo en Bélgica, Dinamarca, Francia, Italia y Noruega. Este tipo de registros permite extraer datos para una vigilancia pública de la salud y, en su caso, permitirá dar alertas tempranas.
- ▶ Desarrollar la vigilancia epidemiológica pública de la salud enfocada a los trabajadores potencialmente expuestos, a través de estudios especiales y supervisando las actividades de vigilancia de la salud de los trabajadores y las trabajadoras que se realice desde las empresas.

²⁵ Amenta, V. et al. (2015) Regulatory aspects of nanotechnology in the agri/feed/food sector in EU and non-EU countries. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73, 1, October 2015, Pages 463-476. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.06.016>

²⁶ Fuente: ETUI <https://www.etui.org/Topics/Health-Safety/News/Commission-will-ensure-transparency-on-nanomaterials-via-a-website>, y Nanotech "EC Denies 2014 Petition Seeking EU-Wide Ban on Nanoparticles", <http://nanotech.lawbc.com/2016/07/ec-denies-2014-petition-seeking-eu-wide-ban-on-nanoparticles/>



Ejemplos de algunos tipos de nanomateriales

En este apartado presentamos información ilustrativa sobre algunos nanomateriales relevante para la prevención de riesgos laborales.

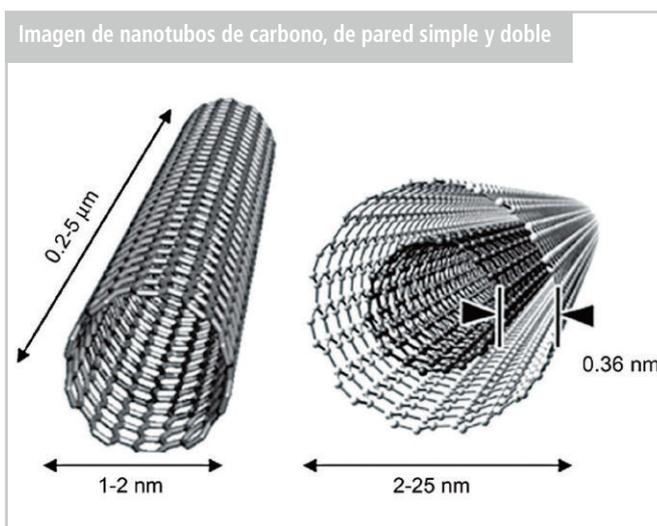
Nanomateriales de carbono: nanotubos, grafeno, fullerenos, etc.

Un mismo elemento químico, el carbono puro, era conocido en forma de dos tipos de materiales: el grafito, que utilizamos en las minas de los lápices, constituido por láminas apiladas fáciles de separar, y el diamante, de estructura cúbica cristalina.

Desde finales del siglo XX se han descubierto otras formas, como compuestos intercalares de grafito y polímeros. En los años ochenta del siglo XX se descubrieron los fullerenos, en los noventa los nanotubos de carbono y a principios del siglo XXI se descubrió cómo aislar y manipular láminas de grafito con un espesor de un solo átomo: el grafeno.

Estos nanomateriales suscitan muchísima expectativa respecto a sus aplicaciones industriales por sus interesantes propiedades, que podrían aplicarse en múltiples formas. A día de hoy se están destinando enormes presupuestos públicos y privados a su desarrollo industrial, lo que está promoviendo una especie de "fiebre del oro".

Debido a la distinta disposición de sus átomos, cada uno de los nanomateriales de carbono tiene propiedades físicas, químicas y morfológicas significativamente diferentes. Adicionalmente, estas propiedades se pueden modificar adicionalmente uniendo estos materiales a diferentes grupos químicos; aplicándolos, por ejemplo, en la superficie de grafeno. Por lo cual, desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, especialmente, el grafeno no es un único material sino una extensa familia.





Introducción

Las nanopartículas y la salud

Plan de prevención

Medidas preventivas

Nanopartículas
y medio ambiente

Participación de los trabajadores

Control público

Ejemplos de algunos nanomateriales

Los nanotubos de carbono (NTC) consisten en láminas de grafito enrolladas sobre sí mismas. Dependiendo del grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, los tubos tienen distinto diámetro y diferente geometría interna. Los nanotubos “monocapa” o de pared simple están formados como si los extremos de un folio se uniesen por sus extremos, formando un tubo. Existen también nanotubos multicapa; estos son nanotubos cuya estructura se asemeja a la de una serie de tubos concéntricos incluidos unos dentro de otros, a modo de muñecas rusas, de diámetros crecientes desde el centro a la periferia.

Riesgos de los nanotubos de carbono

Un aspecto de la toxicidad de los NTC que ya se conoce (tanto los sencillos como los multicapa) se deriva de su forma alargada. Esta los hace similares a las fibras de amianto (y otras): se ha comprobado en estudios de laboratorio que su forma permite que, al entrar en los pulmones de ratones, se acumulen y permanezcan en la pleura, causando efectos similares a los del amianto: inflamación, nódulos microscópicos, fibrosis, cambios bioquímicos en la superficie afectada, etc.

Hay nanotubos de carbono con diferente composición química, y esto se debe bien a su contaminación o a que en su fabricación interviene algún metal. Este hecho afecta también a las diferencias en toxicidad.

Estos datos, junto a la expansión de su uso, han llevado a varias entidades a publicar guías para la prevención de riesgos laborales durante su uso, reconociendo que se trata de un material peligroso para el que se debe poner en marcha toda la batería de medidas de control disponibles. En este sentido, la NIOSH y otras agencias han propuesto un valor límite ambiental para controlar la exposición respiratoria, pero no hay consenso sobre su capacidad protectora, teniendo en cuenta que el aparato respiratorio no es el único que puede resultar dañado, según los estudios de laboratorio²⁷.

El grafeno

Mientras que el uso y la seguridad de los nanotubos de carbono se vienen estudiando desde hace algún tiempo, para el grafeno se dispone de menos estudios, en parte por las dificultades iniciales para su producción masiva. Los avances en este sentido son bastante recientes, aunque actualmente diferentes tipos de materiales de grafeno se están incorporando en diversas industrias y se está considerando su incorporación en muchas más.

Los estudios sobre su impacto en la salud y el medio ambiente están mucho más retrasados que los referidos a sus aplicaciones. Sin embargo, un trabajo de revisión de la investigación disponible sobre el grafeno publicado recientemente concluye que hay datos para afirmar que hay muchísimas incertidumbres que dificultan la prevención de riesgos laborales.

²⁷ National Institute for Occupational Safety and Health (2013). Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers. *Current Intelligence Bulletin* 65. Disponible en <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>



Introducción	Las nanopartículas y la salud	Plan de prevención	Medidas preventivas	Nanopartículas y medio ambiente
Participación de los trabajadores		Control público		Ejemplos de algunos nanomateriales

La toxicidad del grafeno puede depender de la forma, tamaño, pureza, etapas de procesamiento posproducción, estado oxidativo, los grupos funcionales, estado de dispersión, métodos de síntesis, vía y la dosis de administración y tiempos de exposición. La morfología, forma y tamaño de las nanopartículas de grafeno podrían influir en sus características de absorción celular, mientras que la presencia de grupos funcionales puede alterar sus interacciones con proteínas, biomoléculas y micronutrientes. Los materiales de partida iniciales y los métodos utilizados en la producción de grafeno oxidado pueden dar lugar a la presencia de impurezas metálicas y restos oxidativos en el producto final, lo que podría resultar en efectos de toxicidad variables. Las etapas posteriores al proceso de síntesis empleadas para dispersar las nanopartículas en medios acuosos también pueden influir en la toxicidad... (Lalwani, et al., 2016)²⁸.

Hay que recalcar que, en todo caso, tampoco en este caso se pueden trasladar los TLV para el grafito y el negro de carbón.

Dióxido de titanio (TiO₂)

El dióxido de Titanio (TiO₂) es un nanomaterial cuya utilización industrial está muy extendida (por ejemplo, en productos cosméticos como protectores solares, lacas y pinturas y como aditivo en alimentación)²⁹. Aunque la industria considera que este material es inerte y no tóxico, hay investigaciones que indican que puede penetrar en el organismo por diversas vías, incluida la vía dérmica, y a través de la sangre llegar a diversos órganos³⁰. En todo caso, en julio de 2016, la Comisión Europea aprobó el uso de nanopartículas de óxido de titanio en filtros solares, siempre que se presente al consumidor en forma de crema (y no en formato de espray)³¹.

El uso industrial de TiO₂ puede suponer la formación de polvo, peligro que no ha sido evaluado específicamente para las formas nano, pero que se ha de suponer que se incrementa respecto a la forma mayor, que sí tiene TLV³².

El conjunto de la investigación con respecto a la carcinogenicidad de diferentes tamaños de partículas de dióxido de titanio ha llevado al Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH) a recomendar dos límites de exposición diferentes. Estas recomendaciones reflejan los hallazgos en la literatura de investigación que muestran que las partículas de dióxido de titanio más pequeñas son más propensas a presentar un riesgo carcinogénico que las partículas de dióxido de titanio de mayor tamaño³³.

²⁸ PG. Lalwani, et al. (2016). Toxicology of graphene-based nanomaterials, Adv. Drug Deliv. Rev., <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.028>. Ver también Arvidsson, R.; Molander, S. and Sandén, B.A. (2013). Review of Potential Environmental and Health Risks of the Nanomaterial Graphene. Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal Vol. 19, Iss. 4, Human and Ecological Risk Assessment 19 (4): 873-887. May 2013. DOI: 10.1080/10807039.2012.702039.

²⁹ Unions sound the alarm on nanos in food. Noticia del 26 de marzo 2015. Disponible en <https://www.etui.org/News/Unions-sound-the-alarm-on-nanos-in-food>

³⁰ Ver California Nanosafety Consortium of Higher Education (2012). Nanotoolkit Working Safely with Engineered Nanomaterials in Academic Research Settings <http://innovation.luskin.ucla.edu/sites/default/files/nano%20toolkit%202012%200419%20updated.pdf>, y también en Chang, X.; Zhang, Y.; Tang, M. & Wang, B. (2013). Health effects of exposure to nano-TiO₂: a meta-analysis of experimental studies. Nanoscale Research Letters, 8 (1), 51. <http://doi.org/10.1186/1556-276X-8-51> y <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3599498/>

³¹ Mientras, por el contrario, para proteger a los consumidores, la UE ha dejado fuera de aprobación a las presentaciones tipo espray (dando por buena por esta vía la estimación de la IARC que considera que el TiO₂ es una sustancia posiblemente cancerígena (2B) por vía inhalatoria. La aprobación se hizo mediante la modificación de los correspondientes anexos a la regulación sobre cosméticos.

³² En España, el valor límite máximo (VLA-ED) de exposición –fracción respirable– para los lugares de trabajo es de 10 mg/m³ para el material convencional (INHST, 2015. "Límites de exposición profesional para agentes químicos"). El valor TLV de la ACGIH americana es el mismo.

³³ NIOSH recomienda para las partículas finas de TiO₂ un límite de exposición de 2,4 mg/m³, mientras que para el TiO₂ ultrafino fija un límite de exposición de 0,3 mg/m³, como concentraciones medias ponderadas en el tiempo de hasta 10 horas al día durante una semana de trabajo de 40 horas.



Selección de enlaces en castellano

- Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA). Regulación de nanomateriales. Disponible en <https://echa.europa.eu/regulations/nanomaterials>
- EU-OSHA. Gestión de los nanomateriales en el lugar de trabajo. Disponible en <https://osha.europa.eu/es/themes/nanomaterials>
- Gálvez Pérez V y Colorado Soriano M (2016). “Los nanomateriales, un nuevo reto para la prevención de riesgos laborales”. *Formación Seguridad Laboral*, 144, pp. 109-124. Disponible en <http://www.seguridad-laboral.es/revistas/fsl/144/index.html#108>
- Rosell Farràs MG y Pujol Senovilla L (2008). NTP 797: “Riesgos asociados a la nanotecnología”. INSHT. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/786a820/797%20web.pdf>
- Serena Domingo PA (2013-5). ¿Qué sabemos de... nanotecnología? Capítulos de la serie emitida entre 2013 y 2015 en el espacio *La UNED* en TVE2. Disponibles en <https://canal.uned.es/serial/index/id/875>
- Tanarro Gozalo C (2010). NTP 877: “Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas”. INSHT. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/877w.pdf>
- Tanarro Gozalo C, Sousa Rodríguez ME, Tejedor Traspaderne JN (2011). “Problemática en el establecimiento de valores límite: el caso de las nanopartículas”. *Revista Seguridad y Salud en el Trabajo* - Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSHT, nº 61, marzo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/SST%20N%C2%BA%2061%20-%20Marzo%202011.PDF>
- Zafra Barranco MJ (2013). “Nanomateriales. Aplicaciones y riesgos en su utilización”. Presentación disponible en INVASSAT: <http://www.invassat.gva.es/documents/161660384/161741793/Valencia+2013+Jornada+Tecnica+nanomateriales+Ponencia+Zafra/1229f0ec-a7c8-4b6c-9ee7-8ed33ff402a9>



Otros enlaces

- AIHA Nanotechnology Working Group (2015). Personal Protective Equipment for Engineered Nanoparticles. Fact Sheet Sponsored by the Approved by AIHA Board. https://www.aiha.org/government-affairs/Documents/PPE%20for%20ENP_FINAL.pdf
- California Nanosafety Consortium of Higher Education (2012). Nanotoolkit: Working Safely with Engineered Nanomaterials in Academic Research Settings. Disponible en <http://innovation.luskin.ucla.edu/content/nanotoolkit-working-safely-engineered-nanomaterials-academic-research-settings>
- Ceyda Oksel et al. (2016). Evaluation of existing control measures in reducing health and safety risks of engineered nanomateriales Environ. Sci.: Nano, 2016,3, 869-882 . DOI: 10.1039/C6EN00122J.
- Debia M et al. (2016). A Systematic Review of Reported Exposure to Engineered Nanomaterials. Ann Occup Hyg. 2016 Jul 15. pii: mew041. DOI: 10.1093/annhyg/mew041.
- EU OSHA WIKI: Nanomaterials. Article by Stepa RA and Kuhl K (Kooperationsstelle). Disponible en <https://oshwiki.eu/wiki/Nanomaterials>
- European Agency for Safety and Health at Work. E-FACTS #72: "Tools for the Management of Nanomaterials in the Workplace and Prevention Measures." <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-themanagement-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>.
- European Commission. Web Platform on Nanomaterials. <https://ihcp.jrc.ec.europa.eu/scientific-tools/web-platform-on-nanomaterials>
- Groso A et al. (2016). Engineered nanomaterials: toward effective safety management in research laboratories. J Nanobiotechnology. 2016; 14: 21. DOI: 10.1186/s12951-016-0169-x.
- HSE (2013). Using nanomaterials at work Including carbon nanotubes (CNTs) and other bio-persistent high aspect ratio nanomaterials (HARNs). <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg272.htm>
- Institute of Occupational Medicine (IOM). In the know... on health surveillance of workers in the nanotechnology sector. En <http://www.safenano.org/news/intheknow/in-the-knowon-health-surveillance-of-workers-in-the-nanotechnology-sector/>
- Nanodiode Project - Training materials on nano and workers (2015). Disponible en <http://www.etui.org/Topics/Health-Safety/Nanotechnologies/Nanodiode-project-training-materials-on-nano-and-workers>
- NIOSH (2016). Building a Safety Program to Protect the Nanotechnology Workforce: A Guide for Small to Medium-Sized Enterprises. <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-102/pdfs/2016-102.pdf>



- NIOSH (2016). Evaluation of Metal Exposure at a Nanoparticle Research and Development Company. HHE Report No. 2014-0207-3248. March. <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2014-0207-3248.pdf>
- Ponce del Castillo AM (2013). Nanomaterials and workplace health & safety. What are the issues for workers? European Trade Union Institute. Disponible en <http://www.etui.org/Publications2/Guides/Nanomaterials-and-workplace-health-safety.-What-are-the-issues-for-workers>
- Sha B, Gao W, Cui X, Wang L and Xu F (2015). The potential health challenges of TiO₂ nanomaterials. *J. Appl. Toxicol.*, 35: 1086–1101. doi: 10.1002/jat.3193.
- USA-DOL: Nanotechnology - Health Effects and Workplace Assessments and Controls. Disponible en https://www.osha.gov/dsg/nanotechnology/nanotech_healtheffects.html

Sobre nanotubos de carbono

- HSE (2013). Using nanomateriales at work: including carbon nanotubes (CNTs) and other. Disponible en www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg272.pdf
- OECD Environment Directorate (2016). Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 70. Disponible en <http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282016%2922&doclanguage=en> OECD report
- NIOSH (2013). Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers. *NIOSH CIB 65*. Disponible en <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>