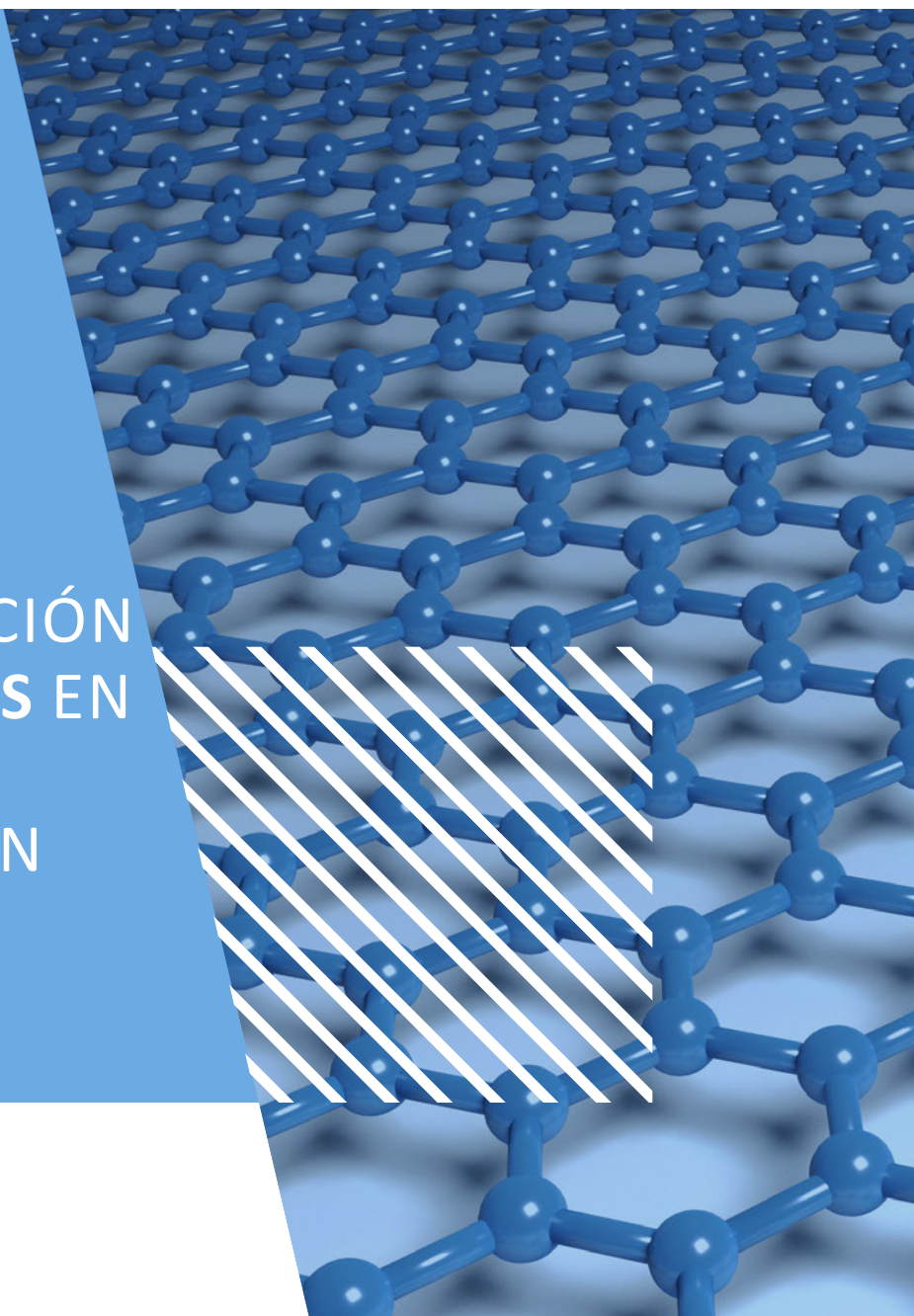


ACCIÓN ES2017-0031

PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES FRENTE A LA EXPOSICIÓN DE **NANOPARTÍCULAS** EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN



GOBIERNO
DE ESPAÑA

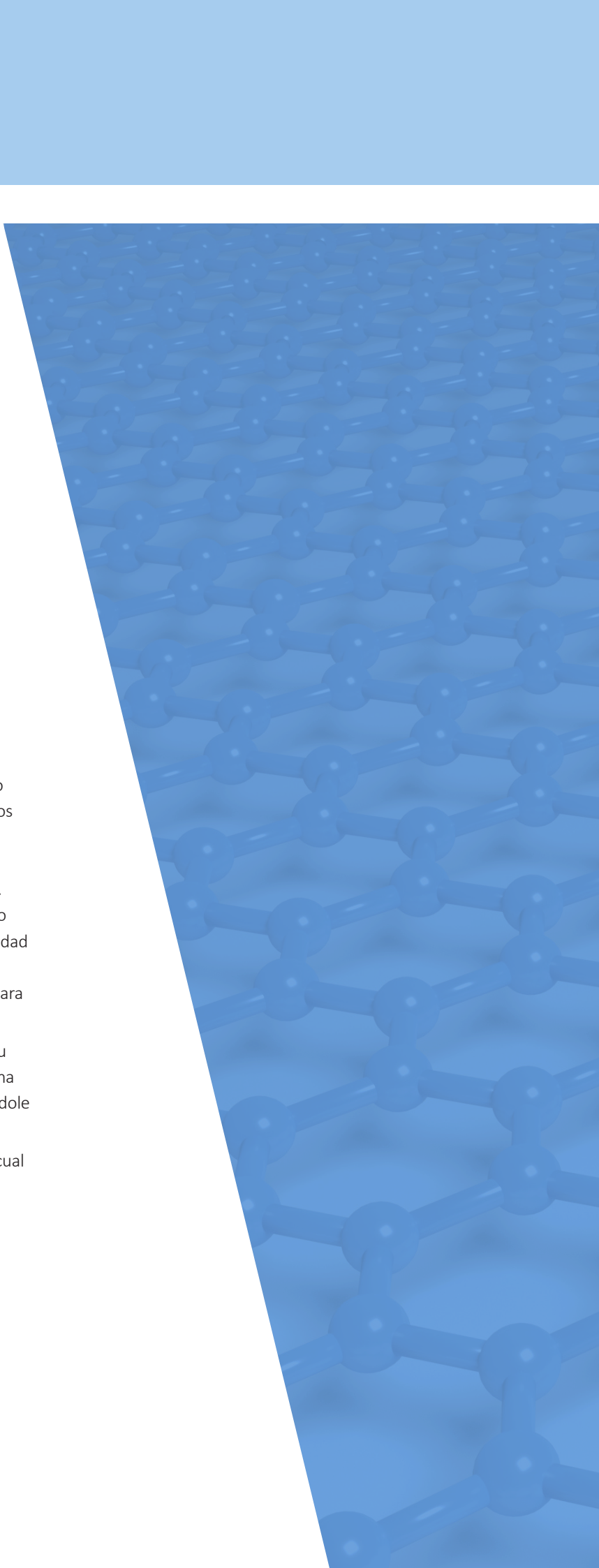
MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN



El presente manual ha sido desarrollado en el marco del Proyecto Nº: ES2017-0031 “Estudio de los Riesgos de los Nanomateriales en los procesos de corte en la construcción”, con la financiación de la Fundación Estatal para la Prevención de Riesgos Laborales F.S.P. (Convocatoria de asignación de recursos del ejercicio 2017). El contenido de dicho manual es responsabilidad exclusiva de la entidad ejecutante y no refleja necesariamente la opinión de la Fundación Estatal para la Prevención de Riesgos Laborales.

La Fundación Laboral de la Construcción agradece su colaboración a todas aquellas personas que de alguna manera han formado parte de este proyecto haciéndole posible.

A la Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA), la cual aportó el equipo formado por:

- El Catedrático de Ingeniería Química y Materiales, el Profesor Ricardo Díaz Martín
- Su alumno de Doctorado, el Ingeniero Industrial, Albert Xavier Rojas Royo

A la empresa Bosch, herramientas eléctricas.

Depósito Legal: M-10177-2019

01	INTRODUCCIÓN	6
1.1	El significado de “nano” y definición de nanomaterial.....	7
1.2	Conceptos nano.....	8
1.3	Formas y modificaciones nano	9
1.4	En la búsqueda de una definición operativa de nanomaterial y nanopartícula. Clasificación de las nanopartículas en función de su origen	10
1.5	Peligros y riesgos de los nanomateriales.....	13
02	IDENTIFICACIÓN DE NANOMATERIALES Y POSIBLE EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	15
2.1	Potencial de exposición a nanomateriales en la construcción y demolición.....	31
2.2	Análisis del caso de la demolición y la posible exposición a nanomateriales.....	32
2.3	Impacto potencial de la intemperie y el envejecimiento.	33
2.4	Exposición a nanopartículas en función de su origen y posible relación con el sector de la construcción.	34
2.5	Fuentes de PGNP en los lugares de trabajo.....	35
2.6	Fuentes de FCNP en los lugares de trabajo.	36
03	EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES Y NANOPARTÍCULAS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. FASES DE OBRA – OFICIOS – OPERACIONES	37
04	MEDIDAS TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A LAS NANOPARTÍCULAS.....	40
4.1	Sistemas de extracción localizada.	41
4.2	Medidas preventivas para disminuir la generación de polvo y, por tanto, la posible generación de nanopartículas en procesos de construcción.....	46
4.3	Medidas técnicas por fase de obra, oficios, operaciones y fuentes.	64
05	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS A TRAVÉS DE LA ETIQUETA Y LA FICHA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO	67
5.1	Relación entre el Reglamento CLP y los nanomateriales.....	68
5.2	Catálogo de clasificación y etiquetado (C&L) como fuente de información.....	68
5.3	Fichas de datos de seguridad y su relación con los nanomateriales	69
5.4	Ejemplo de ficha de datos de seguridad modificada incluyendo textos relacionados con el nanomaterial de que se trata.....	74

06	EVALUACIÓN DEL RIESGO	75
6.1	Modelos cualitativos o simplificados de evaluación.....	76
6.2	Criterio de uso de metodologías simplificadas.....	77
6.3	Ejemplo de modelo cualitativo o simplificado de evaluación de aplicación a nanomateriales. Stoffenmanager Nano	82
6.4	Estimación de que se formen PGNP, MNM y FCNP en los lugares de trabajo	86
07	VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN	89
7.1	Valores límites ocupacionales para nanomateriales en España	90
7.2	Ordenación jerárquica de OEL.....	91
7.3	Valores límite ocupacionales propuestos en diferentes países de la Unión Europea.	93
08	RECOMENDACIONES SOBRE VIGILANCIA DE LA SALUD. MEDIDAS PREVENTIVAS. PROTECCIÓN COLECTIVA. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A LAS NANOPARTÍCULAS.....	102
8.1	Vigilancia de la salud en relación a la exposición a nanomateriales	103
8.2	Estrategias de prevención de riesgos para la exposición a nanomateriales. Medidas generales	105
8.3	Controles relacionados con sustancias.....	106
8.4	Controles de ingeniería	107
8.5	Controles administrativos.....	109
8.6	Medidas de sustitución aplicadas a la construcción.....	111
8.7	Seguridad en la etapa de diseño del nanomaterial (safety by design). Ejemplos aplicables al sector de la construcción.....	111
8.8	Equipos de protección individual frente a las nanopartículas.....	113
8.9	Resumen de usos de EPI frente a MNM	116

09	DECLARACIÓN DE NANOMATERIALES. RESUMEN DE DECLARACIÓN DE SUSTANCIAS A TRAVÉS DEL REACH.....	119
9.1	La conexión entre el REACH y la Seguridad y Salud en el Trabajo.	120
9.2	Las modificaciones al REACH de 2018	123
10	LEGISLACIÓN Y NORMATIVA DE APLICACIÓN	125
10.1	Legislación en referencia a los nanomateriales en la UE.....	126
10.2	Normalización.....	127
10.3	Legislación y normalización en referencia a nanomateriales, en el sector de la construcción, en la UE	127
10.4	Legislación sobre nanotecnología y construcción en el resto del mundo	128
10.5	Normalización.....	129
10.6	Legislación en España en referencia a la Seguridad y la Salud en el Trabajo.....	129
11	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	131
ANEXO Nº 1		
Ejemplo de fichas de datos de seguridad con inclusión de información del nanomaterial.....		146
ANEXO Nº 2		
Fichas por oficios		157

01

INTRODUCCIÓN



1.1 EL SIGNIFICADO DE “NANO” Y DEFINICIÓN DE NANOMATERIAL

“Kilo” significa mil (1000) y un kilómetro es otra forma de escribir los 1000 metros. Por la misma convención, “nano” significa una billonésima parte (0,000000001 o 10^{-9}), y un nanómetro (nm) es otra forma de escribir una billonésima parte de un metro.

El tamaño nano se refiere típicamente al rango de 1-100 nm. Este rango está incluido en la mayoría de las definiciones de nanomateriales. En Europa, la definición más común de nanomateriales es la recomendada por la Comisión Europea^[1], y las definiciones recogidas en las normas ISO de una amplia gama de terminología nano^[2].

Según la Recomendación 2011/696/UE de la Comisión^[1] un nanomaterial es:

“Un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en la granulometría numérica, una o más dimensiones externas está en el rango de tamaño 1 nm-100 nm.”

Debido a su pequeño tamaño de partícula, algunos nanomateriales muestran diferentes propiedades mecánicas, eléctricas, ópticas y otras diferentes, al mismo material en mayor tamaño. Este efecto se puede utilizar para aumentar el rendimiento de los materiales en los productos o lograr funciones completamente nuevas.

Los nanomateriales deben distinguirse del término más amplio de “nanotecnología”, que, además de nanomateriales, se refiere a otros materiales nanoestructurados, incluidos materiales más grandes con estructuras superficiales o internas en la nanoescala. Una gran parte de la innovación en nanotecnología está en dichos materiales nanoestructurados, por ejemplo, nanoelectrónica. Sin embargo, la discusión sobre

salud y seguridad se centra en los nanomateriales porque el pequeño tamaño de las nanopartículas significa que pueden atravesar membranas y células del cuerpo humano donde las partículas más gruesas no pueden. Una implicación de esto es que las pruebas de materiales compuestos de partículas de mayor tamaño, en algunos casos, no identificarán los peligros de las nanoformas de una sustancia.

Aunque ISO y la Comisión Europea están de acuerdo en que “nano”, en este contexto, se refiere al rango de tamaño 1-100 nm, difieren en otras áreas.

La definición ISO de nanomateriales incluye tanto nanoobjetos individuales como partículas y los llamados materiales nanoestructurados (el último se refiere a materiales que pueden tener nanoestructuras internas, como poros de tamaño nanométrico y / o una superficie con estructuras de tamaño nanométrico). La definición de la UE se refiere solo a las partículas, entendidas como “una pieza diminuta de materia con límites físicos definidos”^[2]. Esta diferencia se debe al hecho de que las definiciones de ISO se usan con mayor frecuencia en un contexto técnico / científico, mientras que la definición de la UE se usa en un contexto político y regulatorio que se centra en cómo las personas y el medio ambiente podrían exponerse a las nanopartículas. La nanoestructura interna del acero inoxidable, por ejemplo, no sería relevante en un contexto regulatorio. Sin embargo, es importante destacar que en su preámbulo, la definición de la UE establece que se refiere al tamaño de partícula solamente y no al daño potencial que las partículas podrían causar.

Otra diferencia importante es que la definición ISO se refiere a la parte individual de la materia, como un solo nano-objeto, mientras que la definición de la UE se refiere a todo el material, por ejemplo, un polvo que comprende muchas nanopartículas. Dicho polvo rara

vez se compone de partículas completamente idénticas, pero es típicamente una mezcla de diferentes tamaños de partículas que forman una distribución de tamaño. Dicho polvo está de acuerdo con la definición de la UE definida como un nanomaterial si más del 50% de las partículas no unidas (partículas primarias) están entre 1 y 100 nm. Esto implica que al usar la definición de la UE, un polvo no necesariamente se definiría

como un nanomaterial, a pesar de que contiene partículas de tamaño nanométrico. Por otro lado, un material cuya masa comprende principalmente partículas mayores de 100 nm, aún sería un nanomaterial si las partículas más livianas y pequeñas entre 1 y 100 nm comprenden más del 50% en número.

1.2 CONCEPTOS NANO

A partir de la definición de nanomaterial^[1] recomendada por la Comisión Europea, pasaremos a exponer diferentes conceptos de la definición de la UE, utilizados en la caracterización de los nanomateriales:

- **Nanomaterial:** material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partes en la granulometría en número, una o más dimensiones externas están en el rango de tamaño 1 nm-100 nm.
- **Partícula:** parte diminuta de materia con límites físicos definidos.
- **Agregado:** partícula que comprende partículas fuertemente unidas o fusionadas.
- **Aglomerado:** colección de partículas o agregados débilmente unidos donde el área de superficie externa resultante es similar a la suma de las áreas de superficie de los componentes individuales.
- **Partículas no unidas** (o partículas primarias): partículas que no están unidas en un agregado o aglomerado. Basado en el punto 12 de la recomendación de la Comisión Europea^[1].

Nanomateriales: Materiales naturales, incidentales o manufacturados

La definición de la UE cubre básicamente todos los tipos de nanomateriales, incluyendo:

- nanomateriales formados por procesos naturales como erupciones volcánicas,
- nanomateriales formados involuntariamente por la actividad humana como el uso de velas de cera o la quema de combustibles fósiles y
- nanomateriales fabricados o manufacturados intencionalmente.

En un contexto dado, la legislación sobre productos químicos se dirige típicamente a los materiales manufacturados y productos químicos. Por supuesto, esto no impide que la definición de la UE se aplique para evaluar si estos materiales manufacturados intencionalmente se encuentran bajo la definición de nanomateriales o no.

1.3 FORMAS Y MODIFICACIONES NANO

Los nanomateriales se entienden a menudo como partículas redondas muy pequeñas. Esto, sin embargo, está lejos de ser siempre el caso. Dependiendo de la aplicación y la técnica de fabricación, los nanomateriales también pueden tener forma de aguja, forma de varilla, rombo, fibras, etc.

Los nanomateriales también pueden denominarse “nano-portadores” que pueden transportar otra sustancia. Se presta especial atención a los “portadores” que, entre otras aplicaciones, son prometedores para el desarrollo de metodologías que distribuyan medicamentos en una ubicación concreta del cuerpo.

A menudo se hace referencia a los nanomateriales como si comprendieran un solo compuesto químico. Sin embargo, nanomateriales manufacturados están cubiertos con una capa delgada de recubrimiento y/o están funcionalizados, lo que significa que hay otras sustancias ligadas a la superficie. Tales modificaciones se hacen a menudo para mejorar las propiedades de los nanomateriales. Por ejemplo, el nano dióxido de titanio utilizado en los productos de protección solar se modifica en la superficie, de manera que los radicales de oxígeno libres formados por la fotocatalisis quedan atrapados en la superficie antes de que puedan causar daños en la piel; los nanotransportadores de medicamentos pueden tratarse en la superficie para liberar el medicamento que contienen cuando el tratamiento de superficie reconoce el órgano o las células que deben ser medicadas.

La palabra nano seguida del nombre de un producto químico, por lo tanto, no describe necesariamente el material de manera única. Por lo tanto, es habitual hablar de caracterización, de un nanomaterial en términos de su química, tamaño, forma, modificación de la superficie, etc.

Lo anteriormente expuesto ilustra que hay una variedad casi infinita en la fabricación y diseño de nanomateriales. Esto se explota comercialmente, pero también plantea desafíos para la evaluación y regulación de los nanomateriales. En la práctica, sería difícil investigar las propiedades peligrosas de todos los tipos específicos de nanomateriales. Un desafío importante en este contexto es si los datos sobre las propiedades peligrosas de un nanomaterial se pueden reutilizar.

La definición recomendada de nanomateriales se basa en el tamaño de las partículas primarias, pero los materiales a menudo están presentes como agregados y aglomerados más grandes, tanto cuando se usan para producir mezclas químicas y artículos, como en productos terminados.

Es posible determinar la distribución de tamaño de las partículas primarias en nanomateriales puros con bastante precisión mediante Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM). Esto puede volverse rápidamente más difícil cuando los nanomateriales están en mezclas y artículos.

En la actualidad, casi todos los pigmentos están incluidos en la definición de nanomaterial propuesta por la UE, ya que no es posible determinar con certeza que no son nanomateriales^[3]. Lo mismo puede aplicarse a muchos aditivos (cargas), por ejemplo, utilizadas en pinturas y plásticos y otras materias primas en polvo.

El “nanomaterial en sí mismo” se refiere a los nanomateriales agregados que se lanzan y que el nanomaterial liberado no está enlazado en una matriz. Los nanomateriales manufacturados, pueden estar mezclados con otras sustancias no nano, incluso pueden estar insertados en una matriz de una sustancia. Por ejemplo, podemos añadir nanomateriales a un cemento. La tendencia, de las nanopartículas, en función

del nanomaterial, es que se formen agregados o aglomerados, en función de la mayor o menor fuerza de los enlaces que se puedan crear. En el caso de que se desprendan nanopartículas de dicho cemento, por ejemplo en procesos de corte, abrasión o degradación, será difícil discriminar las nanopartículas que pertenecen al nanomaterial manufacturado del resto de nanopartículas que se puedan generar en el proceso y que no pertenezcan al nanomaterial manufacturado.

Por tanto, “El nanomaterial manufacturado” como tal se refiere al nanomaterial que se puede liberar, como nanopartículas nanomanufacturadas, que no se han enlazado a una sustancia o matriz.”

Dado que las sustancias de cualquier mezcla se unirán a las moléculas circundantes por fuerzas más débiles o más fuertes, no es una cuestión simple determinar si es el nanomaterial “en sí” el que se está liberando. Este asunto fue abordado y resaltado a través de una revisión de la literatura y una serie de experimentos^[4].

Los experimentos^[4] tenían como fin determinar hasta qué punto se libera el nanomaterial de cremas para zapatos, lápices, cemento y azulejos cuyas superficies se habían tratado con nanomateriales. Los resultados indicaron que los nanomateriales se liberaban o podían liberarse de todos los productos probados. Los nanomateriales en mezclas líquidas como pintura y pegamento están unidos por medio de enlaces químicos relativamente débiles y, por lo general, podrían moverse con bastante libertad en la mezcla. Los resultados también indican que las nanopartículas en mezclas de polvo, como el cemento, no están fuertemente unidas y se liberarán principalmente como aglomerados. Sin embargo, las partículas individuales libres también pueden estar presentes en el polvo.

Sobre la base del estudio de la literatura^[4], también se llegó a la conclusión de que los nanomateriales libres serían liberados al aire en la aplicación de líquidos que contienen nanomateriales. Fue difícil obtener resultados claros.

EN LA BÚSQUEDA DE UNA DEFINICIÓN OPERATIVA DE NANOMATERIAL Y

1.4

NANOPARTÍCULA. CLASIFICACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN

Es necesario partir de la definición de nanomateriales de la Comisión Europea^[1]:

“Nanomaterial” significa un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en la distribución de tamaño en número, una o más dimensiones externas están en el rango de tamaño 1 nm-100 nm. (...) ”

Esto, y de acuerdo con el documento de preguntas y respuestas que acompaña a la aclaración de la Comisión Europea^[5], implica que las PGNP se consideran nanomateriales “incidentales”

y cumplen plenamente con la definición propuesta. Esto sería extensible a las FCNP. Estos conceptos, los pasaremos a analizar y definir a continuación.

Para los tipos de nanopartículas con diferentes orígenes se utilizan las siguientes definiciones operativas^[6]:

- **MNM: Manufactured NanoMaterials** (NanoMateriales Manufacturados o fabricados). Los MNM son nanomateriales de nuevo diseño y se utilizan en productos “comerciales” para dar a los productos finales nanopropiedades específicas. Los

MNM cumplen con la definición propuesta para nanomateriales: 1-100 nm y > 50% en número de partículas en el material. Esto implica que los materiales convencionales (algunos de ellos pueden estar ya en el mercado desde hace mucho tiempo) que cumplen con esta definición se consideran nanomateriales.

Es obvio observar que para las nanopartículas (NP) medidas en el aire en el lugar de trabajo o en el ambiente, el porcentaje relativo definido en la definición europea (> 50%) no es relevante^[6].

- **FCNP:** *Fraction NPs in Conventional Products* (Fracción de Nanopartículas en Compuestos Convencionales). Esta es la fracción de NP contenidas en una sustancia o componente convencional. Si el componente convencional contiene > 50% de NP (NP en número), el componente es, por definición, un nanomaterial. Esto significa que una sustancia (por ejemplo, una pintura o un tinte) que contiene < 50% de nanopartículas (1-100 nm) (número de partículas), no es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de “baja energía” NP. Algunos ejemplos son el talco, el carbonato de calcio y varios aditivos utilizados en la fabricación de pinturas^[6].
- **PGNP:** *Process-Generated Nanoparticles* (Nanopartículas Generadas en Procesos). Son las nanopartículas generadas en procesos de calefacción y combustión, por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía. Las nanopartículas formadas durante el mecanizado (esmerinado, taladrado, pulido,...) de las superficies recubiertas con un nanorecubrimiento no son necesariamente idénticas a los MNM originales (primarias) en el nanorecubrimiento. Las nuevas NP formadas pueden ser grupos de MNM + aglutinante y otros componentes contenidos en el recubrimiento. Esto significa también que durante el mecanizado de superficies no nano se pueden formar y emitir PGNP.

- **BGNP:** *Background Nanoparticles* (Nanopartículas de Fondo). Estas incluyen las NP formadas durante los procesos naturales, como el vulcanismo, los incendios forestales, la erosión, etc. Estas incluyen también las NP con un origen antropogénico emitidas al medio ambiente, como las formadas por la calefacción doméstica, actividades industriales, tráfico rodado, etc. Otros tipos podrían tener origen en sistemas de ventilación sin sistema de filtrado en lugares de trabajo (ventanas abiertas), las BGNP contribuyen a la concentración de NP en el lugar de trabajo. Las BGNP son, por definición, idénticas a las denominadas como UFP en la química atmosférica.

- **UFP:** *Ultrafine particle* (Partículas UltraFinas). Las partículas ultrafinas son partículas de tamaño a escala nanométrica (< 100 nm de diámetro). En tamaño, son idénticos a los nanomateriales como lo define EC 2011. El nombre UFP se usa comúnmente en ciencias ambientales y en políticas de contaminación del aire.

A continuación, se expone una tabla comparativa, en referencia a las características, entre MNM, FCNP, PGNP y BGNP.

Comparación de las características entre MNM, FCNP, PGNP y BGNP. Fuente:^[6].

Tabla 1

CARACTERÍSTICAS	MNM	FCNP	PGNP	BGNP
Creación	Fabricado para propiedades específicas.	Presente en algunos compuestos gruesos existentes.	Generadas en procesos de alta energía en lugares de trabajo.	Liberadas de tráfico, y de actividades industriales y domésticas
Uso	Para fines específicos y en productos nano	Como material base en productos convencionales	No utilizado como tal	No utilizado como tal
Composición	Única	Idéntica al material grueso	Dependiendo del proceso	Dependiendo del proceso
Tamaño	1 - 100 nm por definición	1 - 100 nm por definición	1- 100 nm por definición	1- 100 nm por definición
Forma	Generalmente uniforme, en forma de fibra o granular.	Generalmente uniforme en forma granular	Diferentes formas, granulares, a veces fibras	Diferentes formas, granulares, a veces fibras
Superficie	Generalmente con un recubrimiento específico	A veces con un recubrimiento específico	Sin recubrimiento	Sin recubrimiento
Densidad	Para MNM granulares $< 6.000 \text{ kg/m}^3$	$< 6.000 \text{ kg/m}^3$	Para la mayoría granular PGNP: $< 6.000 \text{ kg/m}^3$	Para la mayoría de los BGNP: $< 6.000 \text{ kg/m}^3$
Toxicidad	Estrés oxidativo, inflamación, efectos genotóxicos,....	Estrés oxidativo, inflamación, efectos genotóxicos,....	Estrés oxidativo, inflamación, efectos genotóxicos,....	Estrés oxidativo, inflamación, efectos genotóxicos,....
Biopersistencia/solubilidad	Dependiendo de la composición. Para muchos: solubilidad $< 100 \text{ mg/l}$ (= insoluble)	Dependiendo de la composición. Para muchos: solubilidad $< 100 \text{ mg/l}$ (= insoluble)	Dependiendo de la composición. Puede contener compuestos solubles e insolubles.	Dependiendo de la composición. Puede contener compuestos solubles e insolubles.
Dinámica de exposición	Intermitente, a corto plazo, generalmente baja exposición como 8 h-TWA	Exposición intermitente, a corto plazo, a veces alta, como 15 min-TWA	Intermitente y continuada, posiblemente alta exposición como 8 h-TWA y 15 min-TWA	Generalmente se diluye en aire ambiente. Picos en áreas de tráfico
Niveles de exposición	Los niveles máximos a corto plazo durante la fabricación de productos con contenido nano generalmente no superan los $105/\text{cm}^3$.	Los niveles máximos a corto plazo durante la fabricación de productos pueden superar los $106/\text{cm}^3$.	Los niveles máximos de exposición continuada superan frecuentemente los $106/\text{cm}^3$.	Nivel promedio en área occidental industrializada no muy contaminada $10,000-30,000/\text{cm}^3$
Conocimiento	Alto para materias primas y fabricantes de productos, bajo para usuarios intermedios	Casi cero en lugares de trabajo habituales	Casi cero en lugares de trabajo habituales	Alta para autoridades medioambientales.
Control	Frecuentemente medidas de control específicas	Medidas de control raramente específicas	Medidas de control raramente específicas	Medidas de control raramente específicas
Responsabilidad	Empresario para un lugar de trabajo seguro. Fabricante/proveedor para información	Empresario para un lugar de trabajo seguro. Fabricante/proveedor para información	Empresario para un lugar de trabajo seguro. Fabricante del equipo original para información	Autoridades medioambientales
OEL (Límite de Exposición Laboral)	NRV. Nano Reference Values (Valores de referencia Nano)	OEL del material grueso (no nano) (pero éste generalmente no es específico para nanomateriales)	Ninguno (OEL de polvo general, pero este no es específico para nanomateriales)	Ninguno (PM _{2,5} , pero éste no es específico para UFP)
Inclusión en la evaluación de riesgos laborales	Cada vez más reconocido en la evaluación de riesgos.	Generalmente ignorado	Generalmente ignorado	Generalmente ignorado

1.5 PELIGROS Y RIESGOS DE LOS **NANOMATERIALES**

Los nanomateriales no solo tienen propiedades técnicas únicas, sino también su perfil toxicológico y su interacción con el medio ambiente pueden diferir significativamente del mismo material en un tamaño de partícula más grande. Existe una amplia gama de estudios científicos disponibles sobre los efectos de las nanopartículas^[7]. La OCDE ha publicado una serie de publicaciones sobre las propiedades de varios nanomateriales seleccionados (web de la OCDE, Publications in the Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials).

De la información científica existente, está claro que las nanopartículas pueden, en cierta medida, pasar las membranas del cuerpo, entrar en la circulación sanguínea, llegar a los órganos y células del cuerpo y causar impactos en estos órganos y células. Estos impactos parecen ser parcialmente reversibles, ya que el cuerpo es capaz de eliminar las nanopartículas hasta cierto punto, pero la bioacumulación no puede ser excluida. En condiciones experimentales, los efectos más comúnmente observados en referencia a la exposición a nanopartículas, particularmente

después de la inhalación, son el estrés oxidativo, las respuestas inflamatorias y en algunos casos los efectos genotóxicos^[8]. La naturaleza y dimensión de estos efectos sugiere riesgos significativos, especialmente en el contexto de la protección de los trabajadores, a menos que se tomen las medidas adecuadas de gestión de riesgos. Sin embargo, más allá de este contexto específico, no hay indicaciones de que los nanomateriales sean, en promedio, más o menos tóxicos que otros químicos^[8]. No hay evidencia de incidentes graves y agudos de salud humana relacionados con los nanomateriales, a pesar del uso extensivo de muchos nanomateriales durante décadas. Dicho esto, para los nanomateriales y para otros productos químicos, el vínculo entre ellos y sus efectos en la salud humana y el medio ambiente no es fácil de establecer. Los datos sobre los posibles impactos a largo plazo se limitan solo a unos pocos estudios, por ejemplo, sobre el negro de humo^[9], ^[10].

02

IDENTIFICACIÓN DE
NANOMATERIALES
Y POSIBLE
EXPOSICIÓN DE LOS
TRABAJADORES EN
EL SECTOR DE LA
CONSTRUCCIÓN



Es difícil identificar qué productos contienen nanomateriales y cuáles podrían ser estos materiales. La legislación que se aplica a los productos de construcción (como REACH y CLP) no establece, hasta ahora, requisitos específicos en relación con los nanomateriales o nanopartículas, y dichos productos rara vez llevan etiquetas detalladas que describan su composición^[11].

Los MNM pueden ser liberados accidental o incidentalmente al medio ambiente en diferentes etapas de su ciclo de vida. Una vez en el medio ambiente, los MNM pueden sufrir diversas transformaciones físicas, químicas y biológicas que cambian sus propiedades, impacto y destino^[12].

La exposición de los trabajadores a las NP puede ocurrir durante la producción, manejo y refinamiento, empaquetado/ensacado y envío, producción y procesamiento de materiales que contienen NP^[13], ^[14]. Cuando un trabajador inhala polvo que contiene NP, la exposición real depende de la estructura y solubilidad del polvo. Si el polvo es insoluble, parte de los NP permanecerán incrustadas en la matriz y la exposición solo será a las NP de la superficie del grano de polvo. Si el polvo es soluble, habrá una exposición sistemática a la cantidad total de NP que contiene el grano de polvo.^[15]

En general, es probable que los procesos que generan nanomateriales en la fase gaseosa (después de retirar el nanomaterial de un sistema de generación cerrado), o que usen o produzcan nanomateriales como polvos o lodos/suspensiones/soluciones (es decir, en medios líquidos), suponen un mayor riesgo de liberación de nanopartículas. Además, es probable que el mantenimiento de los sistemas de producción (incluida la limpieza y eliminación de materiales de los sistemas de recolección de polvo) dé lugar

a la exposición a NP. También pueden ocurrir exposiciones asociadas a vertidos de residuos que contienen nanomateriales.^[16]

La exposición a través de la inhalación del polvo generado al procesar materiales (por ejemplo, de corte, lijado, taladrado o mecanizado) o aerosoles de rociado de pintura son los escenarios más propensos a plantear riesgos para la salud^[15].

Los factores críticos que afectan la exposición a los ENM incluyen la cantidad de material que se está utilizando, la capacidad del material para dispersarse (en el caso de un polvo) o la forma de pulverizaciones o gotitas en el aire (en el caso de suspensiones), el grado de contención y duración del uso^[17].

Los trabajos y operaciones que pueden aumentar la probabilidad de exposición a las nanopartículas incluyen, por ejemplo,^[18]:

- La generación de nanopartículas en la fase gaseosa en sistemas no cerrados aumenta la posibilidad de que se liberen aerosoles al lugar de trabajo.
- El manejo de polvos nanoestructurados puede resultar en aerosolización.
- Trabajar con nanomateriales en medios líquidos sin protección adecuada (por ejemplo, guantes) aumenta la probabilidad de exposición de la piel.
- Trabajar con nanomateriales en líquido durante las operaciones de vertido o mezcla o cuando se trata de un alto grado de agitación puede causar la formación de gotitas suspendidas, en el aire, inhalables y respirables.
- Llevar a cabo el mantenimiento de los equipos y procesos utilizados para producir o fabricar nanomateriales, o la limpieza de derrames o materiales de desecho, representa un potencial de exposición para los trabajadores que realizan estas tareas.
- La limpieza de los sistemas de recolección de polvo utilizados para capturar nanopartículas aumenta el potencial de exposición a la piel y la inhalación.

- El mecanizado, el lijado, el taladrado u otros procesos de mecanizado de los materiales que contienen nanopartículas pueden provocar la aerosolización de los nanomateriales”.

El análisis del ciclo de vida de un producto de construcción relacionado con el tamaño “nano” a lo largo de su cadena de valor ayuda a identificar la posible exposición laboral durante el ciclo de vida del producto de construcción en estudio.

La Tabla Nº 2 muestra la relación entre los procesos de construcción y los pasos del Ciclo de Vida (excepto el “paso 1: diseño”, que está fuera del alcance del proyecto). Para cada proceso, se han identificado posibles Escenarios de Exposición Ocupacional (ES) a nivel de tarea^[17].

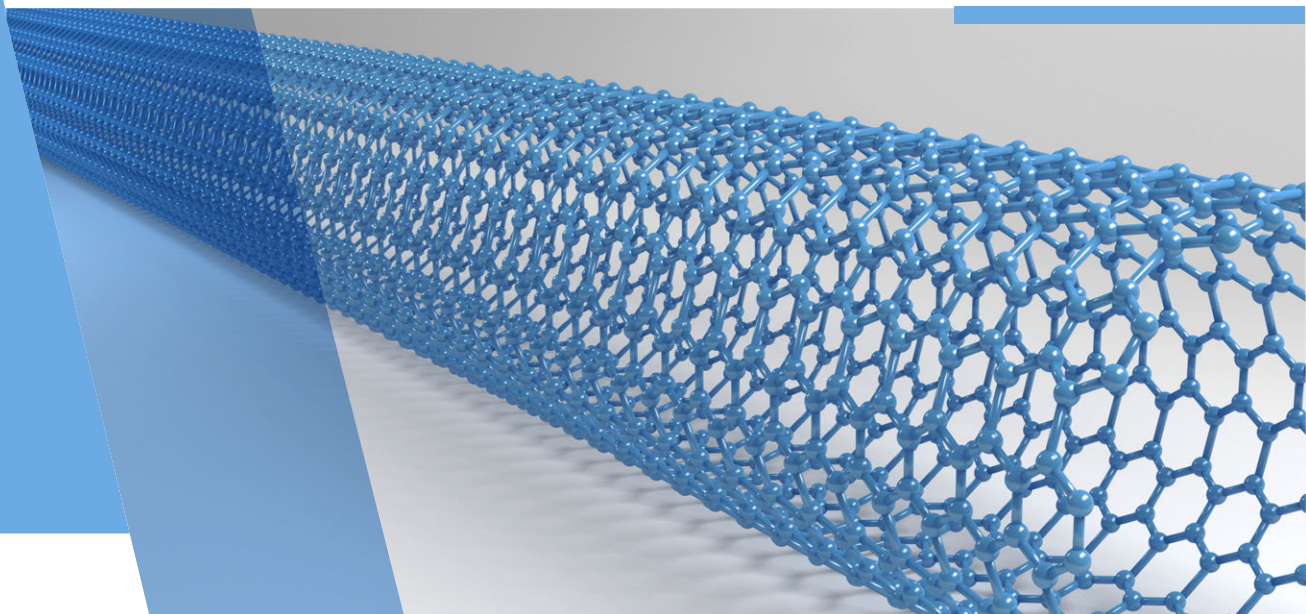
Los escenarios que se han clasificado con un nivel potencial preliminar de exposición son^[17]:

1. Escenarios que involucran materiales con NOAA (Nanoobjetos Aglomerados y Agregados) incrustados en una matriz sólida a la que se aplica alta energía (por ejemplo, mecanizado, aserrado, demolición, etc.) y pueden generar una liberación de polvos incrustados con NOAA;

2. Escenarios que involucran la combustión (incendio accidental) de materiales con NOAA incrustados en una matriz sólida, donde se pueden liberar humos que contienen NOAA; y finalmente

3. Escenarios en los que los NOAA se encuentran en una suspensión que está muy dispersa (por ejemplo, tareas de pulverización, lechada).

Se espera el nivel de exposición potencial más bajo para las tareas en las que el NOAA se incrusta en un sólido o se dispersa en líquidos (y no se aplica energía). Es importante tener en cuenta que estos niveles de exposición asignados al ES son bastante preliminares y solo se basan en el estado del nanomaterial y la energía que se le aplica y que serán las condiciones reales las que determinarán la exposición real de los trabajadores.



Clasificación de escenarios de exposición laboral en procesos constructivos. Fuente:^[17]

Tabla 2

ES (ISO/TS 12901-2)	ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN (ACV-PC) Y ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL (ES)	EXPOSICIÓN POTENCIAL	NIVEL DE EXPOSICIÓN
PASO-FASE 2 TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN			
Síntesis de NOAA	ES relacionado con tareas de limpieza/mantenimiento	Exposición potencial a NOAA	Alto
Material en forma de polvo	ES relacionado con tareas que implican la manipulación de nanopolvos	Exposición potencial a NOAA	Alto
Material disperso en una matriz sólida	ES relacionado con tareas de mecanizado y montaje con NOAA incrustados en una matriz sólida	Exposición potencial a NOAA incrustados en la matriz	Medio
Material en suspensión en un líquido	ES relacionado con la manipulación de un líquido que contiene NOAA en suspensión	Exposición potencial al líquido que contiene NOAA	Bajo
	ES relacionado con la manipulación de un líquido que contiene NOAA en suspensión aplicándole energía (por ejemplo, tareas de proyección, lechada)	Exposición potencial al líquido que contiene NOAA	Medio
PASO-FASE 3 MANTENIMIENTO			
Material dispersado en una matriz sólida	ES relacionado con un fuego accidental con NOAA contenido en una matriz sólida	Exposición potencial a NOAA incrustados en la matriz	Medio
PASO-FASE 4 DEMOLICION			
Material dispersado en una matriz sólida	ES relacionado con el final de vida/demolición de materiales con NOAA incrustados en una matriz sólida	Exposición potencial a NOAA incrustados en la matriz	Medio

La exposición respiratoria es el caso más común de exposición en la industria de la construcción. Esto puede ocurrir a través de actividades que generan polvo o forman aerosoles. Tras la inhalación, otra de las vías de entrada en el organismo es la ingestión^[19].

Se distinguen seis clases de fuente en las posibles situaciones de exposición de los trabajadores en el ciclo de vida de los nanoproductos^[19]:

SD1. Emisión puntual o de corta duración durante la fase de producción antes de extraer el material a granel (por ejemplo, fugas a través de conexiones, sellos, etc. durante la síntesis de MNO / liberación incidental; ejemplos de procesos de producción son pirólisis de llama y condensación química de vapor);

SD2. Manipulación y transferencia de MNO en polvo a granel (por ejemplo, embolsado o descarga de polvo);

SD3. Dispersión de productos intermedios sólidos o productos que contienen MNO listos para usar

SD4. Pulverización de nanoproductos listos para usar.

SD5. Manipulación de productos intermedios líquidos que contienen MNO.

SD6. Actividades que resultan en la fracturación y abrasión de productos finales que contienen MNO (por ejemplo, lijado de superficies).

Las actividades en la industria de la construcción consideradas en la publicación del Proyecto SCACFFOLD se clasifican en las seis clases de fuentes generales como se muestra en la Tabla N°3.

Actividades que utilizan MNO en construcción. Relación entre escenarios y clase de fuente. Fuente:^[19]

Tabla 3

PRODUCTO	SUSTANCIA	ESCENARIOS SCAFFOLD		CLASE DE FUENTE
Mortero descontaminante	TiO ₂	ES1	Fabricación de NM	SD1
		ES1	Formulaciones que contienen MNMs	SD2
		ES2	Aplicación de enfoscado monocapa. Aplicación de mortero (en obra)	SD2
		ES3	Montaje / mecanizado <i>in situ</i> . Mecanizado de mortero en escala piloto	SD2
		ES4	Dstrucción: demoliciones, reacondicionamiento ES4. Demolición del mortero a escala piloto / laboratorio	SD6
		ES5	Incendio accidental: combustión de MNM. Simulación de incendio accidental a escala de laboratorio	n.a.
Hormigón autocompactante	SiO ₂	ES6	Fabricación de NM	SD1
		ES7	Mezcla de hormigón para pilares, losas y estructuras especiales CASO DE ESTUDIO. Proceso de fabricación/aplicación de hormigón	SD2
		ES8	Montaje / Mecanizado <i>in situ</i> ; Mecanizado del hormigón a escala piloto.	SD2
		ES9	Mantenimiento, demolición o falla de la estructura ES9 Demolición del concreto a escala piloto / laboratorio	SD6
		ES10	Incendio accidental: combustión de MNM Simulación de incendio accidental a escala de laboratorio	n.a.
Revestimiento	CNF	ES11	Fabricación <i>in situ</i> (del recubrimiento) ES11 Proceso de fabricación (recubrimiento con CNF)/laboratorio	SD1
		ES12	Mecanizado para la adecuación de la superficie de otros elementos. Mecanizado de recubrimiento a escala piloto.	SD2
		ES13	Mantenimiento o demolición del recubrimiento ES13 Demolición del recubrimiento a escala de laboratorio	SD6
		ES14	Incendio accidental: combustión de MNM Simulación de incendio accidental a escala de laboratorio	n.a.
Revestimiento autolimpiable	TiO ₂	ES15	Preparación, dosificación, aplicación de revestimientos CASO DE ESTUDIO Aplicación de revestimiento (pulverización sol-gel)	SD4
		ES16	Mecanizado superficial; Mecanizado del recubrimiento a escala piloto.	SD2
		ES17	Demolición, fin de vida útil ES17 Demolición del recubrimiento a escala de laboratorio	SD6
		ES18	Incendio accidental: combustión de MNM Simulación de incendio accidental a escala de laboratorio	n.a.
Paneles resistentes al fuego	Nanoarcilla	ES19	Fabricación externa CASO DE ESTUDIO Proceso de fabricación	SD1
		ES20	Montaje de los paneles y mecanizado para la instalación de superficies de otros elementos. Mecanizado de los paneles RF a escala piloto.	SD2
		ES21	Demolición, final de vida útil ES21 ESTUDIO DE CASO Demolición de los paneles RF a escala de laboratorio	SD6
		ES22	Incendio accidental: combustión de MNM Simulación de incendio accidental a escala de laboratorio	n.a.
Aislamiento	Celulosa	ES23	Fabricación no in situ ES23 Fabricación de aislamiento	SD1
		ES24	Montaje de los paneles y mecanizado para las instalaciones superficiales de otros elementos. ES24 Mecanizado de los paneles aislantes a escala piloto.	SD2
		ES25	Demolición, fin de vida útil ES25 Demolición de los paneles de aislamiento a escala de laboratorio	SD6
		ES26	Incendio accidental: combustión de MNM	n.a.

Por otro lado, en relación a la Higiene Industrial tradicional, no nano, podemos considerar que la generación de niveles altos de polvo son causados por uno o más de los siguientes parámetros^[20]:

- **Tarea:** cuanta más energía implique el trabajo, mayor será el riesgo. Las herramientas de alta energía como sierras de corte, amoladoras y granalladoras producen mucho polvo en muy poco tiempo.

- **Área de trabajo:** cuanto más cerrado esté un espacio, más polvo se acumulará. Sin embargo, no asuma que los niveles de polvo serán bajos cuando trabaje en el exterior con herramientas de alta energía.

- **Tiempo:** cuanto más tiempo lleve el trabajo, más polvo habrá.

- **Frecuencia:** hacer el mismo trabajo día tras día aumenta el riesgo.

A continuación, se presentan ejemplos de tareas de alto riesgo se enumeran en la Tabla 4.

Tareas comunes de alto riesgo, en relación a la emisión de polvo, relacionadas con el sector de la construcción. Fuente^[20]

Tabla 4

TAREA
Cortar bordillos de hormigón, bloques y pavimentos con una sierra de corte
Operaciones de corte de hormigón (por ejemplo realización de regatas, etc.) y Saneado de juntas, llagas de ladrillo, extracción de mortero, etc.
Cortar tejas con una sierra de corte
Pulido o rectificado con herramientas manuales (suelos superficies)
Perforaciones de corta duración de 15 a 30 minutos con herramientas eléctricas rotativas de mano
Taladrar agujeros con herramientas eléctricas rotativas de mano como "actividad principal"
Perforación con núcleo seco (brocas)
Perforación con núcleo húmedo (brocas)
Utilización de martillos rompedores en espacios cerrados con ventilación limitada
Granallado a presión con agentes abrasivos
Demolición
Eliminación de pequeños escombros, polvo y desechos
Cortar madera con herramientas eléctricas
Lijado de madera con herramientas eléctricas.
Lijado de juntas y superficies de yeso

De forma más concreta, en la identificación de fuentes y procesos que podamos hallar en el sector de la construcción y que pueden estar relacionadas con la emisión de nanomateriales, al medioambiente de trabajo, tomamos como fuente la siguiente tabla relacional basada en la Higiene Industrial tradicional.

Tabla relacional, procesos, fuentes y mecanismos de creación. Posible relación parcial con el sector de la construcción. Fuente:[21]

Tabla 5

PROCESOS	FUENTES/EJEMPLOS	MECANISMOS DE CREACIÓN Y FUENTES.	FORMA
a. Herramientas rotativas y piezas.	Lijadoras orbitales, de banda y de disco. Cortadores de discos. Sierras circulares y fresadoras. Tornos. TaladrosMuelas y discos abrasivos y pulidoras.	El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. El movimiento de aire creado puede ser un chorro de aire unidireccional si la parte giratoria está parcialmente encerrada en, por ejemplo, un protector. O el aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.	Polvo, niebla
b. Procesos en caliente (y en frío).	Hornos. Fundición. Soldadura. Vertido de nitrógeno líquido	Las fuentes y procesos en caliente, liberan nubes contaminantes calientes y calientan el aire del entorno de trabajo. La columna de aire caliente se eleva y se expande arrastrando aire del lugar de trabajo. Las fuentes y procesos en frío, presentan los mismos mecanismos que para 'caliente' pero, en este caso, la columna desciende, en lugar de ascender como en el caso de los procesos en caliente.	Humo, vapor, gas
c. Caída libre, sólidos, líquidos y polvos.	Caída y vertido de líquido, polvo o materiales sólidos. Transferencia por transportador de polvos / sólidos.	La caída de material induce un flujo de aire hacia abajo. Si el material es un polvo, habrá un poco de cizallamiento del aire cargado de polvo en los bordes de la corriente que cae.	Polvo, vapor
d. Desplazamiento/ movimiento	Transferencia de líquido, polvo y sólidos granulares a un recipiente.	Los materiales desplazarán su propio volumen de aire fuera del contenedor. Si han caído desde altura, el flujo de aire inducido desplazará más aire del contenedor.	Polvo, vapor
e. Proyección/ pulverización y granallado	Pulverización de pintura. Limpieza abrasiva	La presión del aire comprimido se utiliza para inducir y expulsar líquidos o partículas sólidas contra las superficies a pintar o decapar. En el proceso, el chorro de aire comprimido y el cono de partículas líquidas / sólidas en movimiento inducen un mayor movimiento de aire y crean un chorro en forma de cono. (El gas o el líquido que se escapa a presión produce fuentes similares aunque de formas diferentes). El alcance de una pistola pulverizadora de pintura puede ser de más de 12 metros y la velocidad inicial, inmediatamente en frente de la boquilla, puede ser de más de 100 metros/segundo. Es un proceso energético y difícil de controlar.	Niebla, vapor, polvo
f. Fractura de sólidos	Trituración de rocas. Trituración/machaqueo de hormigón. Partir/dividir (por ejemplo, bloques de hormigón)	La presión conduce a una fractura del sólido con una liberación muy local pero explosiva de aire cargado de polvo (nube de polvo). El movimiento del material puede crear un flujo de aire, aumentar el tamaño de la nube de polvo y darle un flujo direccional, por ejemplo, fraccionamiento de tejas. La fractura de sólidos, como la piedra o el hormigón, libera astillas y polvo fino en el aire. Las astillas caen y el polvo fino fluye lejos del lugar de la fractura, suspendido en el aire.	Polvo
g. Impacto y vibración	Verter sacos con polvo en una superficie. Maquinaria vibratoria que resuspende el polvo asentado.	El polvo sedimentado o repartido sobre una superficie se resuspende o se propulsa al aire por el impacto físico o la vibración aplicada a la superficie. La ropa contaminada con polvo puede comportarse de la misma manera. El aire comprimido dirigido a una superficie para eliminar residuos (por ejemplo, polvo) puede tener un efecto similar. Una vez resuspendido, hacia dónde se mueva el aire cargado de polvo, dependerá del movimiento del aire, corrientes existentes en el lugar de trabajo. El polvo sedimentado o el polvo derramado puede ser propulsado al aire desde una superficie contaminada y expulsado al aire por impacto o vibración. La cantidad liberada de polvo en el aire dependerá del grado de contaminación de la superficie, la naturaleza del polvo y la energía (frecuencia y amplitud) del impacto o vibración aplicada a la superficie.	Polvo

Tabla relacional, procesos, fuentes y mecanismos de creación. Posible relación parcial con el sector de la construcción. Fuente:[21]

Tabla 5

PROCESOS	FUENTES/EJEMPLOS	MECANISMOS DE CREACIÓN Y FUENTES.	FORMA
h. Compactación	Trituración de residuos. Enrollar sacos usados	La acción de compactación exprime el aire del material creando nubes de polvo / vapor. La dirección del trayecto y el tamaño / forma de la nube contaminante que fluye dependerá de la forma y el tamaño del material que se está compactando. La compactación es similar al desplazamiento y el mecanismo por el cual se crean las nubes de contaminantes en el aire es el mismo. A medida que el material, contaminado con polvo o líquido, es comprimido, el aire se expulsa de los espacios del interior del material. La acción de aplastar o comprimir, y en algunos casos, el calentamiento inducido, libera contaminantes y el aire expelido por los flujos de compactación del material pasa al medioambiente como una nube contaminante.	Polvo
i. Manipulación	Clasificación	Los mecanismos dependerán de lo que se maneje. Si está cubierto de polvo sedimentado se puede volver a suspender. Si los objetos se apilan, el desplazamiento del aire puede llevar a una nueva suspensión. El transporte de objetos polvorientos puede provocar la contaminación directa de la ropa de trabajo y la piel. Los mecanismos que conducen a la creación de nubes de contaminantes en el aire dependen de cómo se manejan los objetos y de los contaminantes involucrados. Los mecanismos potenciales incluirán impacto y vibración, desplazamiento y contacto directo con la piel.	Polvo, niebla
j. Mecanizado	Molienda. Torneado	Niebla de fluido refrigerante creada por partes rotativas y / o recíprocas. Impulso del chorro de fluido en el mecanismo de mecanizado a medida que se activan las herramientas. Humo condensado si el material que se está trabajando se calienta lo suficiente. Esto se puede crear cuando el fluido de refrigeración entra en contacto con partes rotativas. La niebla se crea mecánicamente en este caso. Donde las herramientas y los componentes se calientan, el líquido puede hervir y condensarse, creando un humo fino. El efecto del ventilador (chorro de aire) puede hacer que la nube contaminante se aleje del proceso como un chorro direccional.	Niebla
k. Abrasión	Lijado. Esmerilado. Pulido. Rebarbado	Frotando una superficie por fricción. La superficie y el abrasivo (hasta cierto punto) se disgregan en partículas. Las partículas finas son suspendidas en el aire. La mayoría de la abrasión es deliberada. Y se aplica abrasivo a una superficie y se frota o raspa. La acción de la superficie rugosa del abrasivo crea partículas, que se mantienen en suspensión en el aire.	Polvo
l. Barrido	Polvo y partículas	La acción mecánica del cepillo (de la herramienta de barrido) crea una nube de polvo en el aire con algo de flujo de aire en la dirección del cepillado. El barrido del polvo sedimentado o del polvo derramado perturbará las partículas finas y las hará en el aire. La acción de barrido también creará movimiento de aire direccional y turbulencia. La nube de partículas contaminantes creadas fluirá hacia la zona de respiración del barrendero y se propagará a otras partes del lugar de trabajo.	Polvo

Según una encuesta europea realizada entre empresarios y trabajadores, en el sector de la construcción, los nanomateriales se encuentran principalmente en cemento y el hormigón, recubrimientos e impregnación^[15]. Otras aplicaciones son en vidrio, acero y madera, protección contra incendios y material aislante^[22].

Una amplia búsqueda en Internet llevada a cabo por The Danish Environmental Protection Agency^[22] identificó una gama de NM utilizados en diversos materiales de construcción, incluida una gama de productos específicos. Esta información se resume en la Tabla 6.

Resumen y ejemplos de productos de construcción con nanomateriales, identificados a través del estudio realizado por Danish Environmental Protection Agency (DEPA). Fuente:^[22]

Tabla 6

TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.	FUNCIONALIDAD INTRODUCIDA	TIPO DE INTRODUCCIÓN/MATRIZ	NANOMATERIAL	REFERENCIA	EJEMPLOS DE PRODUCTOS COMERCIALES.
Hormigón/Cemento	Superficie autolimpiante (fotocatalítica)	Capa superficial	TiO ₂	[23] [24]	
	Hormigón /cemento ultra fuerte	Mezclado en matriz, para mejorar la resistencia	SiO ₂ (humo de sílice)	[23]	
			SiO ₂	[25]	Dyckerhoff Nanodur (www.dyckerhoff.de)
	Reducción de la corrosión			[23]	
	Incremento de la durabilidad	Mezclado en matriz	SiO ₂	[23] [24]	
	Hormigón denso y fuerte, con mejores propiedades de bloqueo de agua y corrosión	Mezclado en matriz	SiO ₂	[26]	
	Mejora de las propiedades mecánicas	Mezclado en matriz	CNT (Nanotubo de Carbono)	[24]	
Material de aislamiento		Mezclado en matriz	Óxidos metálicos	[25]	
	Propiedades de aislamiento mejoradas contra el calor, el frío, el fuego o una combinación de ellos	Aerogel (a menudo basado en SiO ₂ o carbono)	Material nano-poroso (la estructura interna consiste en nanoburbujas / agujeros)	[23][25]	Nansulate (http://www.nansulate.com/index.html)
Recubrimientos/revestimientos	Penetración de la superficie mejorada, cobertura, espesor reducido de la capa.		No identificado (dispersiones de tamaño nanométrico)	[23]	
	Recubrimientos transparentes	Aditivo en el recubrimiento.	No identificado (dispersiones de tamaño nanométrico)	[23]	
	Fotocatalítica, autolimpiante, propiedades hidrófobas	Aditivo en el recubrimiento.	TiO ₂ , ZnO, SiO ₂	[23]	
	Propiedades antibacterianas	Aditivo en el recubrimiento.	Ag, TiO ₂ , ZnO	[23]	
	Resistencia al rayado	Aditivo en el recubrimiento.	SiO ₂ , Óxido de Aluminio	[23]	

Resumen y ejemplos de productos de construcción con nanomateriales, identificados a través del estudio realizado por Danish Environmental Protection Agency (DEPA). Fuente:^[22]

Tabla 6

TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.	FUNCIONALIDAD INTRODUCIDA	TIPO DE INTRODUCCIÓN/MATRIZ	NANOMATERIAL	REFERENCIA	EJEMPLOS DE PRODUCTOS COMERCIALES.
Recubrimientos/revestimientos	Superficies fáciles de limpiar	Aditivo en el recubrimiento	Polímeros de fluorocarbonos	[23]	
	Retardante del fuego	Aditivo en el recubrimiento	TiO ₂ , SiO ₂ , nanoarcillas	[23]	
	Propiedades aislantes/protección contra la corrosión	Aditivo en el recubrimiento/pintura	Celdas, poros y partículas de tamaño nanométrico, no identificadas	[24]	
Madera	Protección de la madera frente al UV (revestimiento)	Aditivo en el recubrimiento	TiO ₂ , ZnO, CeO ₂	[23]	
	Decoloración de la madera por tanino (revestimiento)	Aditivo en el recubrimiento	Nanoarcillas	[23]	
	Madera repelente al agua (revestimiento)	No identificada	SiO ₂ , alúmina	[24]	
Acero	Mejora la resistencia, tiene propiedades favorables de resistencia a la corrosión	Superficie nanoestructurada	No identificado		MMFX steel (http://www.mmfx.com/)
	Aleaciones de acero con mayor resistencia y buena ductilidad.		Carbono, hierro ¹		
	Sustitución de acero por CNT en cables de acero ²	No identificada	CNT	[27]	
Vidrio	Reflexión IR	Revestimiento de la superficie	Óxido de tungsteno	[23]	
	Vidrio no reflectante	Estructura de la superficie/revestimiento	SiO ₂ nano-poroso	[23] [24]	
	Protección contra fuego o calor	Recubrimiento de superficies, capa intermedia de gel de sílice transparente.	Óxidos metálicos, SiO ₂	[23]	
	Propiedades de fácil limpieza	Recubrimiento de superficies	Ag, SiO ₂ , fluorocarbono, polímeros	[23]	
	Fotocatalítica, propiedades autolimpiables	Recubrimiento de superficies	TiO ₂	[23]	Pilkington Activ [25]

¹According to the Nanotech project (<http://www.nanotechproject.org/cpi/products/sandvik-nanoflex-r-alloy/>) [Accessed 28.02.2019]

²Se identificó como posible uso futuro de la nanotecnología en la industria de la construcción, según los investigadores. (The Constructor, n.d)

Por otro lado, en los trabajos realizados por Caballero-Guzmán en referencia a los nanoresiduos en diferentes sectores, identificó los siguiente nanomateriales en productos del sector de la construcción.

Especificación de productos dentro de las principales categorías de productos para nanomateriales dirigidos por Caballero-Guzmán^[67]

Tabla 7

CATEGORÍA DE PRODUCTO	NANOMATERIAL	CONTENIDO DE LA CATEGORÍA DE PRODUCTO
Pinturas	nano-TiO ₂	Pintura para paredes interiores
	nano-ZnO	Pintura para paredes exteriores
	nano-Ag	Pintura para paredes interiores
	CNT	Revestimiento antiestático y antiincrustante.
Vidrio y cerámica	nano-TiO ₂	Ventanas
	nano-ZnO	No se encontró información
	nano-Ag	No se encontró información

Por lo anteriormente expuesto, de una manera general, podemos afirmar que las actividades de trabajo en la construcción y la demolición pueden liberar polvo y, por lo tanto, también pueden liberar nanopartículas manufacturadas si están presentes (por ejemplo, corte, desbaste y lijado durante la construcción, y métodos explosivos y trituración del hormigón en la demolición). La evidencia actual sugiere que las nanopartículas (u otros nanoobjetos, como las fibras) liberadas, aunque tales NP en general aún están unidas a fragmentos de la matriz de base (y por lo tanto tienen menos probabilidades de ser tóxicas), pero el número de estudios en esta área también es pequeño para sacar conclusiones firmes^[11]. Es decir, unas de las cuestiones que influyen en la toxicidad es el tamaño de partícula, si éstas se encuentran unidas a una matriz, que puede ser de un tamaño no nano, en el caso de sufrir un proceso de disgregación, las partículas que pasen al medioambiente, aunque sean a nivel nano, pueden contener parte de la composición de la matriz, además de que el tamaño de partícula puede ser mayor que la del nanomaterial manufacturado original.

El polvo es un peligro muy importante para quienes trabajan en la construcción y demolición^[11]. Es poco probable que el uso de casi todos los productos de construcción de origen nano actualmente disponibles contribuya significativamente a los riesgos ya presentes. La prioridad es gestionar los riesgos existentes de

manera adecuada. Esto debería asegurar que la mayoría de los riesgos desconocidos también serán controlados. Sin embargo, es importante hacer preguntas a los proveedores de materiales con respecto al contenido exacto de productos desconocidos, particularmente aquellos que pueden contener fibras a nanoescala. También existe la responsabilidad de los fabricantes y de aquellos que desarrollan nuevos productos para garantizar que estos estén diseñados y fabricados teniendo en cuenta los riesgos para la salud de quienes usan los productos^[11].

La literatura sobre el uso de nanomateriales en la construcción incluye una serie de informes resumidos que describen los productos que podrían ser más útiles^[11]. Sin embargo, éstos, a menudo, se centran en la investigación subyacente y en las propiedades útiles de estos materiales, pero no “distinguen entre lo que está disponible ahora y lo que será teóricamente posible en el futuro”^[25]. Los ejemplos, a los que nos referimos, incluyen artículos de Hanus^[25], Teizer^[28] y Mann^[24].

Otras investigaciones han intentado centrarse, más explícitamente, en los productos de construcción que están disponibles comercialmente, pero han encontrado pruebas limitadas con respecto a los materiales específicos utilizados. Por ejemplo, un informe sustancial y bien referenciado^[15] enumera más de 80 nombres de productos que se cree que contienen nano-

materiales y que se usan ostensiblemente en la construcción. Sin embargo, para muchos de estos, el nanomaterial específico utilizado no está identificado y, por otro lado, muchas de las marcas que llevan detalles nanoespecíficos se relacionan con los aditivos del producto (como adhesivos por ejemplo), y son difíciles de vincular a los productos con denominación (como recubrimientos u hormigones) que podrían usarse en proyectos de construcción.

Además de las incertidumbres en torno a la toxicidad de los nanomateriales, existe información muy limitada disponible sobre las posibles exposiciones a ellos^[29],^[30]. También hay factores en la construcción que hacen que la evaluación y el manejo de la exposición sean especialmente difíciles (en comparación con, por ejemplo, el trabajo de laboratorio). Estos incluyen la naturaleza altamente variada y rápidamente cambiante del entorno de trabajo, donde las tareas pueden llevarse a cabo en áreas confinadas o con poca ventilación, o afuera, a menudo en condiciones climáticas adversas. Estos son factores con los que la industria ya tiene que lidiar en la gestión de peligros, más conocidos, como la sílice.

Las preocupaciones adicionales se relacionan con el potencial de exposición a los nanomateriales durante la demolición. Los procesos energéticos y dinámicos utilizados en ella pueden liberar partículas respirables, y nuevamente el sector ha enfrentado durante muchos años el desafío de demoler edificios que contienen asbesto tóxico. Riesgos adicionales surgen cuando se desconoce la procedencia de los materiales, una probabilidad probable para el momento en que un edificio sea demolido o restaurado 10, 50 o 100 años después de su construcción^[11].

Una característica importante de la construcción y los productos de construcción es la vida relativamente larga de las construcciones. Debido a la larga vida útil, los nanomateriales ingresarán al flujo de residuos muchas décadas después de su uso. La existencia de los diferentes nanomateriales en los residuos de construcción y demolición depende en gran medida del año de construcción del edificio y del tipo de material de construcción^[22].

Los principales productos con componentes nano disponibles son recubrimientos de superficies, cemento / hormigón, vidrio de ventanas, aislamiento y acero. Sin embargo, hay una falta de evidencia sobre qué productos contienen nanomateriales y cuáles podrían ser estos materiales^[11].

A continuación, se lleva a cabo la exposición de ejemplos de productos actualmente disponibles que podrían contener nanomateriales, de aplicación en el sector de la construcción, extraídas del informe de Gibb^[11].

Ejemplos de hormigones disponibles comercialmente que contienen nanomateriales. Fuente:^[11]

Tabla 8

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	MARCAS DE CEMENTO (FABRICANTE) QUE PUEDEN INCLUIR COMPONENTES NANO	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES	COMENTARIOS
Micro sílice (Humo de sílice)	Autocompactante, alta resistencia, ganancia de fuerza rápida	Agilia, Ductal, Chronolia(Lafarge), Rapidcrete (Breedon) Diamondcrete (Aggregate industries) Evolution, Microtech, Promptis(Cemex) Emaco nanocrete (BASF) Easy Flow, Fasttrack (Hanson)	"Chronolia® representa un gran avance tecnológico para el sector de la construcción. El resultado de una investigación extremadamente avanzada en nanotecnologías" ^[31]	Las propiedades de estos hormigones sugieren que podrían contener humo de sílice en la producción, aunque esto no se indica abiertamente y algunos (por ejemplo, Emaco nanocrete) afirman que no contienen nanopartículas. Es probable que la mayoría de las nanopartículas añadidas reaccionen con los álcalis durante el proceso de curado, de modo que quede un número relativamente pequeño de partículas en el producto final.
Nanosilice (Humo de sílice)	De alta resistencia, absorbe las vibraciones.	Nanodur UHPC (Dyckerhoff)		La comunicación personal con los fabricantes sugiere que estos materiales contienen partículas de nanosilice en el punto de producción. Sin embargo, las partículas se aglomeran fuertemente y también son consumidas por la reacción del cemento.
Dióxido de titanio	Autolimpieza absorbe la contaminación.	NOxer (Eurovia) TioCem (Hanson) Ti Active (Italcementi)	"Este dióxido de titanio nanocristalino es un fotocatalizador" ^[32] (Folleto del producto TioCem) "Cemento Portland ... con la adición de partículas de dióxido de titanio de tamaño nanométrico" ^[33] (folleto de productos de TX Active)	La literatura de los fabricantes confirma que estos productos contienen nano dióxido de titanio
CNT (Nanotubo de Carbono)	Aumento de la resistencia y resistencia a la abrasión.	EdenCrete (Eden Innovations)	"...un aditivo líquido enriquecido con nanotubos de carbono que eleva las estructuras de hormigón a nuevos niveles de resistencia y tenacidad. ...aumenta la resistencia a la abrasión de la superficie y produce una permeabilidad extremadamente baja" ^[34]	La literatura del fabricante indica que este concreto se produce con un 0,5% de MWCNT. Este producto parece estar actualmente en transición del desarrollo al uso comercial.

Ejemplos de ventanas que contienen nanomateriales. Fuente:^[11]

Tabla 9

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	FABRICANTE Y MARCAS	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES
Dióxido de titanio	Autolimpieza	Activ (Pilkington) Bioclean (SGG)	"Pilkington Activ™ se basa en una película delgada de dióxido de titanio en lugar de partículas de dióxido de titanio y la película es de aproximadamente 15 nanómetros de espesor" ^[35]
Recubrimiento de óxido metálico (probablemente plata)	Baja emisividad (low-E glass)	Optitherm (Pilkington) Planitherm (SGG) Clima guard (Guardian)	"Los recubrimientos de baja emisión (Low-E coatings) están formados por una serie de capas casi invisibles de diversos materiales y se basan en una o más capas de plata para reflejar el calor exterior e interior" ^[36] "Los recubrimientos de Sputter consisten en varias capas de óxidos metálicos increíblemente delgados, casi invisibles (plata, níquel, estaño) y otros compuestos. Cada capa es aproximadamente 1/10 000 del grosor de un cabello humano " ^[37]
	Regulador solar	Suncool (Pilkington) Cool-lite (SGG) Sunguard (Guardian)	"SGG COOL-LITE es un vidrio de control solar fabricado depositando un recubrimiento de óxidos metálicos mediante pulverización catódica magnéticamente mejorada en condiciones de vacío sobre vidrio transparente o teñido" ^[38]
Dióxido de silicio	Seguridad contra incendios	Pyrostop, Pyrodur (Pilkington) Pyranova (Schott) Pyroguard (CGI);	"Se colocó una capa transparente y resistente al fuego que se levanta en caso de incendio entre los paneles" ^[39]
Dióxido de tungsteno	Conmutable-inteligente	E-Control glas View glasSage glass	"La nanotecnología SageGlass incorpora capas de recubrimientos sobre vidrio, que en total son menos de 1/50 del grosor de un cabello humano. La aplicación de un bajo voltaje de electricidad oscurece el recubrimiento, ya que los iones de litio y los electrones se transfieren de una capa electrocrómica a otra capa electrocrómica" ^[40]

Ejemplos de recubrimientos que contienen nanomateriales. Fuente:^[11]

Tabla 10

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	FABRICANTE O SUMINISTRADOR Y MARCAS	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES	OTROS PRODUCTOS CON PROPIEDADES SIMILARES
Dióxido de silicio(sílice) (incluyendo silano, siloxano y polisilazano)	Repelencia del agua Fácil limpieza, mantente limpio Resistencia al graffiti Endurecimiento, protección Resistencia al rayado	Nanoset densifier (newLook) Nanosilica densifier (adseal) Nanoclean cleaner (adseal) Tutoprom (AZ/Merck) ThermoSan (Caparol) Nansulate (industrialnanotech) Nanostone (nanoprotect) Nanowood (nanoprotect)Ecocoat	"NanoClean Cleaner fortifica perpetuamente el las superficies de hormigón pulidos mediante la introducción de nano-sílice en el sustrato mientras se limpia " ^[41] " La innovadora combinación de aglomerante de resina y silicona con la estructura matricial Nano-Cuarzo integrada proporciona fachadas limpias" (sitio web de ThermoSan) ^[42] " Las superficies recubiertas con esta combinación de polímeros acuosos de dos componentes son resistentes a los rayos UV, a los rasguños, a los restregados y al desgaste, son hidrófobas e impermeables al agua, pero están abiertas a la difusión de vapor de agua" (sitio web de Emcephob LE) ^[43]	Surfapore (nanophos) Emcephob nanowax, Emcephob LE (MCBauchemie) Nanoshell (nanoshell) Nanoguard (nanogate) Wondergliss (nanogate) NewGuard Nanopool Lotusan (Sto)
Dióxido de titanio	Protector, antibacteriano AnticontaminaciónAutolimpieza	FN coating (FN Nanoinc) KNOxOut (Boysen) P and T 230 (nanoprotect)	"Dióxido de titanio ultrafino, que absorbe energía de la luz ytransforma el vapor de agua común en radicales hidroxilo y peroxilo en la superficie del dióxido de titanio "(Boysen) ^[44] "La la nanotecnología de formulación líquida ... actúa absorbiendo la luz circundante y transformándola en energía química"(Surfashield) ^[45]	Surfashield (nanophos) NOxer (Eurovia) Climasan (Sto)
Plata	Antimicrobiano	NPS 100, 200 (nanoprotect) Bioni roof, Bioni hygienic Bioni nature	"A través del uso de un compuesto totalmente nuevo de sustancias a base de nano-plata.... Bioni Hygienic no solo proporciona una protección preventiva duradera contra la creación de gérmenes y bacterias, sino también contra la formación de moho en áreas húmedas como duchas o cocinas " ^[46] "La nanoplata cuando está en contacto con bacterias, virus y hongos afectará negativamente el metabolismo celular e inhibirá el crecimiento celular" (sitio web de NPS) ^[47]	Bacterlon (nanopool)
CNT (Nanotubo de Carbono)	Resistencia a la corrosión Resistencia al fuego, antiincrustante	Teslan (Tesla nano) Biocyl, Thermacyl (nanocyl)(éstos son aditivos para productos en lugar de ser productos de construcción en sí mismos.)	"El revestimiento Teslan Carbon Nano es un sistema de dos capas con un imprimador epóxico y capa superior de bajo VOC con importantes ventajas no solo en protección contra la corrosión ... está formulado con nanotubos de carbono que se ensamblan en estructuras semejantes a cuerdas que los hacen resistentes y flexibles" ^[48]	

Ejemplos de recubrimientos que contienen nanomateriales. Fuente:[11]

Tabla 10

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	FABRICANTE O SUMINISTRADOR Y MARCAS	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES	OTROS PRODUCTOS CON PROPIEDADES SIMILARES
Otras formas de carbono	Blindaje electromagnético Anti-condensación Pintura de calentamiento (Heating paint)	Carbo e-Therm (futurecarbon) Carboshield (future carbon) Bloc paint (Craig and Rose) Graphenstone(graphenstone)	"Biosphere Premium es una pintura exterior natural, contiene grafeno y ... reduce la condensación y retrasa la degradación de los edificios" (sitio web de Graphenstone) ^[49] "Carbo e-Therm es un nanomaterial basado en carbono, recubrimiento calentado eléctricamente" ^[50]	

Ejemplos de productos de aislamiento con componentes nano. Fuente:[11]

Tabla 11

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	FABRICANTE O SUMINISTRADOR Y MARCAS	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES	COMENTARIOS
Aerogel de sílice en partículas translúcidas	Alto aislamiento térmico con translucidez	Lumira particles (Cabot)(used in wall/ceilingproducts such as Ecosky, Kalwall, Solera)	"El aerogel es una estructura abierta altamente porosa con un tamaño de poro promedio de ~ 20 nanómetros. Este tamaño de poro es más pequeño que el recorrido libre medio del aire, lo que restringe en gran medida la conducción y convección del gas dentro de las partículas " ^[51]	Estos materiales se construyen utilizando aerogeles que son ostensiblemente nanoestructurados (es decir, tienen espacios nanométricos) en lugar de contener nanopartículas
Gel de sílice en forma de capa	Alto aislamiento térmico	Pyrogel, cryogel, space loft(Aspen aerogels) Thermal wrap (Cabot) Thermablok	"Los sólidos de sílice ... comprenden solo el 3% del volumen. ... El 97% restante del volumen está compuesto de aire en nanoporos extremadamente pequeños " ^[52] "Thermablok Airgel es un aislamiento de capa de aerogel flexible y nanoporoso que reduce la pérdida de energía al tiempo que conserva el espacio interior" ^[53] (Thermablok)	Estos materiales se construyen utilizando aerogeles que son ostensiblemente nanoestructurados (es decir, tienen espacios nanométricos) en lugar de contener nanopartículas
Partículas de sílice en paneles aislados al vacío	Alto aislamiento térmico	Optim-R (Kingspan)Kevothermal	"Nuestro ultra aislante térmico es un sólido nanoporoso con baja densidad y poros pequeños" ^[54] (Kevothermal)	Estos materiales se construyen utilizando aerogeles que son ostensiblemente nanoestructurados (es decir, tienen espacios nanométricos) en lugar de contener nanopartículas

Ejemplos de aceros con componentes nano. Fuente:[11]

Tabla 12

NANOMATERIAL	PROPIEDADES ATRIBUIBLES AL NANOMATERIAL	FABRICANTE O SUMINISTRADOR Y MARCAS	LO QUE DICEN LOS FABRICANTES	OTROS PRODUCTOS CON PROPIEDADES SIMILARES
Acero nanoestructurado o aleaciones de acero	Alta resistencia, resistencia a la corrosión.	ChromX (Mmfx) AHSS (nanosteel) NSB (nanosteel) Nanoflex (Sandvik) (presumed nano)	"ChrömX 9100®, los productos de acero tienen una estructura completamente diferente en la escala nano o atómica (una estructura de listón que se parece al "contrachapado"). Este efecto de "madera contrachapada" brinda una resistencia, ductilidad, dureza y resistencia a la corrosión increíbles"[55] "El diseño innovador de acero laminado nanoestructurado de NanoSteel ofrece una combinación de alta resistencia y alta ductilidad en acero moldeado en frío"[56]	Se informa que ChromX se usa para reforzar la construcción de carreteras y en otros proyectos civiles. Los productos de NanoSteel se comercializan más para la industria automotriz y para entornos de alta demanda, como la minería, el petróleo y el gas
Compuesto de metal cerámico	Dureza, reparación de superficies metálicas dañadas, alta resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión	Cermet PCompP (Mesocoat)	"El proceso de revitalización de CERMET se basa en una tecnología única de nanopartículas CERMET endurece la red cristalina del metal en la superficie hasta 30 micrones ...".[57] "Polvos Compuestos de Partículas. Estos materiales son compuestos de cerámica y metal nanoestructurados formados con un núcleo de nanocompuesto y un recubrimiento de aglomerante "[58]	Puede ser utilizado en máquinas o motores usados en construcción; o en industrias de alto riesgo como el petróleo y el gas, etc.
Revestimientos metálicos	Alta resistencia y tenacidad en soldadura, alta resistencia al desgaste	SHS (nanosteel) Santronic (Sandvik)	"Materiales de acero nanoestructurados y de alta resistencia.... combinando la dureza de los carburos con la tenacidad del acero para aumentar la vida útil de los componentes industriales críticos "[59] "Al combinar un proceso de vacío avanzado con nanotecnología, podemos producir láminas de acero con capas de recubrimiento consistentes que van hasta 20 nanómetros"[60]	Estos han sido recomendados para el recubrimiento de canaletas de hormigón para prolongar su vida útil

POTENCIAL DE EXPOSICIÓN A

2.1 NANOMATERIALES

EN LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Avanzando y profundizando en lo que ya habíamos apuntado, con anterioridad, podemos decir que, los procesos mecánicamente destructivos utilizados en la construcción y demolición están asociados con la liberación de polvo, por ejemplo, corte, taladrado y lijado, entre muchos otros, durante la construcción y métodos explosivos y la trituración de agregados en la demolición. Es posible que se liberen nanoobjetos si se han utilizado productos que los contienen^[11].

La evidencia actual sugiere que las nanopartículas o fibras liberadas de esta manera, a menudo, todavía están unidas a fragmentos de la matriz subyacente (y, por lo tanto, es poco probable que sean más tóxicas que el material de base), pero el número de estudios en esta área es pequeño. La liberación de nanoobjetos también puede verse influida por la descomposición de un material a lo largo del tiempo, inducida por la intemperie. De nuevo, la literatura sugiere que las nanopartículas libres no se liberan comúnmente por este proceso, pero como se ha comentado anteriormente, el número de estudios es demasiado pequeño para sacar conclusiones firmes.

También hay evidencia (estudio comentado anteriormente) de que las nanopartículas se producen mediante métodos de construcción y demolición comunes, incluso si no se agregaron intencionalmente, por ejemplo, el hormigón ordinario (no nano) produce partículas a nanoescala cuando se descompone.

Una incógnita adicional se relaciona con el uso de materiales secundarios: cuando los productos nano se reciclan, esto se reflejará en la probable transferencia del nanocomponente a los materiales recién creados, posiblemente sin que el reciclador o el usuario de los productos estén al tanto. El informe indicado en este apartado, es el único que trata sobre ello.

El potencial de liberación de partículas o fibras está influenciado por una variedad de factores. El primero es el estado físico de un nanomaterial; por ejemplo, la liberación de nanopartículas se considera despreciable si están embebidas en un material sólido estable. Cuando los nanoobjetos se encuentran en forma líquida, existe la posibilidad de que se liberen si se usan de una manera que podría producir aerosoles, por ejemplo, mediante pulverización^[61], así como la posibilidad de exposición a través de la piel. Los nanoobjetos que se transportan por el aire, por ejemplo en polvo, crean un potencial de exposición particularmente alto. La naturaleza del trabajo de construcción puede aumentar el riesgo debido a los procesos involucrados. Además, la liberación en la demolición puede verse influida por los procesos de envejecimiento que descomponen los materiales a lo largo de los años en que ha existido un edificio o instalación.

Los nanomateriales que no contienen nanoobjetos, por ejemplo, películas a nanoescala o materiales nanoestructurados, generalmente no se discuten en la literatura sobre riesgos para la salud derivados de los nanomateriales. Aunque existe un argumento de que “las nanopartículas pueden no ser los únicos nanomateriales relevantes en relación con los riesgos potenciales para la salud humana”^[62], la literatura se centra en aquellos que contienen nanopartículas y otros nanoobjetos, presumiblemente suponiendo que son los que causan preocupación.

2.2 ANÁLISIS DEL CASO DE LA DEMOLICIÓN Y LA POSIBLE EXPOSICIÓN A **NANOMATERIALES**

La construcción es una industria de alto riesgo en relación a la liberación y emisión de polvos. Por ejemplo, actividades frecuentes con liberación de polvo, serían, por ejemplo, cortar o romper bloques de hormigón o superficies de carreteras. Estos y otros procesos mecánicamente destructivos, como el lijado, la perforación y el mecanizado, también tienen el potencial de liberar nanopartículas u otros nanoobjetos si están presentes^[63].

Estas actividades pueden suceder a lo largo del ciclo de vida de los productos nano. Exposiciones adicionales pueden ocurrir en la demolición. Esto puede implicar el desmantelamiento paso a paso utilizando trituradores y excavadoras para separar edificios o puede usar métodos explosivos. Los diferentes materiales se separarán luego en flujos de desechos para su reutilización, reciclaje o vertedero, con el potencial de liberar cualquier nanopartícula contenida en cada etapa.

El hormigón aportará una gran proporción del polvo generado durante la demolición en sí. Posteriormente, la mayoría del hormigón se rompe para crear un agregado de hormigón reciclado de varios tamaños, para ser utilizado en nuevos proyectos de construcción, lo que representa la mayor parte del 95% o más de los residuos de demolición que se reciclan y se reutilizan^[64]. Este proceso genera polvo para quienes trabajan en sitios de demolición o reciclaje, aunque el uso de sistemas de supresión de agua puede ayudar a minimizar esto. Cualquier pintura o revestimiento (incluidos los que contienen nanomateriales) en la superficie del hormigón y los ladrillos se descompondrá en la mezcla total de agregados durante este proceso.

Hay evidencia de que las nanopartículas son liberadas por estos procesos, incluso si no se han agregado a los materiales. Por ejemplo, se ha

demostrado que la demolición y restauración de hormigón ordinario libera un número muy alto de partículas a nanoescala^[65], ^[66] (aunque estas representan una pequeña proporción del polvo total liberado en términos de masa o volumen). Hay poca información disponible para mostrar si o cómo esto podría evolucionar mediante la adición de nanomateriales al hormigón en la construcción.

La madera, que de nuevo puede tener recubrimientos o pinturas en la superficie, generalmente se elimina manualmente o con maquinaria durante la demolición.

El vidrio que se rompe durante la demolición generalmente se desglosará con agregados. Las piezas más grandes pueden recolectarse y reciclarse, agregándose a los ingredientes para el nuevo vidrio flotado, por ejemplo. Todos los recubrimientos superficiales (como los nanomateriales agregados para proporcionar aislamiento térmico o propiedades de autolimpieza) se fundirán con ellos.

Por lo general, el metal se retirará de los edificios con cortadores de oxiacetileno u otros equipos. Luego se ordenará y se tomará para su reciclaje, lo que implica su fusión para su reutilización. Los recubrimientos en la superficie de los metales no alterarán la forma en que se manejan (aunque se puede usar equipo de protección personal adicional si se cree que un recubrimiento contiene plomo). Existe poca información específica sobre si la presencia de nanomateriales (por ejemplo, como recubrimientos) conlleva algún riesgo para la salud en particular al reciclar metales. No obstante, se señala que la nanoplata será destruida por las temperaturas involucradas en la fundición^[67]. También es probable que los CNT (Nanotubos de Carbono) en los recubrimientos se destruyan, ya que se oxidan a temperaturas entre 600° C y 800° C^[68].

Los materiales de aislamiento y las placas y baldosas de los techos generalmente se retirarán manualmente durante la demolición interior de un edificio y se enviarán al vertedero, mientras que las placas de yeso se enviarán para su eliminación especializada.

Muchos de los procesos descritos hasta ahora serán fuentes de generación de polvo, y si los productos que contienen nanoobjetos se han utilizado durante la construcción, estos también pueden liberarse. La investigación sugiere que el volumen de liberación de partículas generalmente no es mayor para los productos que contienen nanoobjetos que para los que no lo hacen^{[69], [63], [70]}.

Donde ocurre la liberación de nanoobjetos agregados, la evidencia actual sugiere que las partículas a menudo están incrustadas en una matriz y, por lo tanto, ya no son nanoescala^{[71], [72]}. Sin embargo, el número de estudios realiza-

dos sobre la liberación de nanopartículas de los procesos de construcción y demolición es relativamente pequeño y, por lo general, se basan más en pruebas de laboratorio que en lugar de exposiciones en el mundo real^[73]. Gran parte de las investigaciones realizadas sobre el potencial de exposición durante el reciclaje se centra en los riesgos ambientales más que en el potencial de exposición de los trabajadores, sirvan de ejemplo^{[74], [75], [76]}.

Los estudios que han analizado el potencial de exposición de los trabajadores a menudo utilizan productos especialmente preparados o modificados en lugar de los disponibles en el mercado.^[11]

2.3 IMPACTO POTENCIAL DE LA INTEMPERIE Y EL ENVEJECIMIENTO

Se espera que los productos como los recubrimientos se deterioren con el tiempo como consecuencia de la exposición a la radiación ultravioleta, los ciclos de temperatura, los niveles de humedad y el aire salado^[77]. Esto puede afectar la liberación de nanopartículas fabricadas en los edificios, en particular en aquellos edificios que han permanecido en pie durante muchos años antes de una renovación o demolición. Al igual que con el mecanizado, el número de estudios que evalúan la liberación de nanopartículas debido a la intemperie es relativamente pequeño. Muchos de estos han encontrado que, cuando se liberan tales nanopartículas, se incrustan en

residuos compuestos o matriz^[73] y, por lo tanto, forman partículas que son más grandes que la nanoescala. De hecho, la presencia de nanomateriales puede proporcionar cierta protección contra el impacto de la intemperie^{[78], [79]}. Sin embargo, hay algunos indicios de que la intemperie puede provocar la liberación de nanopartículas disociadas^{[80], [81]}, especialmente cuando se usa en combinación con el mecanizado^[82]. El número de estudios publicados en esta área es pequeño^[73], lo que dificulta el establecimiento de conclusiones definitivas.

2.4 EXPOSICIÓN A **NANOPARTÍCULAS** EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN Y POSIBLE RELACIÓN CON EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

La evaluación de la exposición a nanomateriales en lugares de trabajo industriales muestra que la manipulación de nanomateriales manufacturados (MNM) y productos derivados puede dar lugar a la exposición a MNM primarios y sus asociados^{[83], [84]}.

Simultáneamente, otras fuentes pueden contribuir a la exposición total de las nanopartículas relacionadas con el trabajo. Estas incluyen las nanopartículas generadas por los procesos industriales y los equipos utilizados, es decir, los procesos de calefacción y combustión y el mecanizado de alta energía de superficies y artículos [85]; estas partículas se denominan nanopartículas generadas por el proceso (PGNP).

Las PGNP también pueden incluir nanopartículas liberadas del uso de productos con contenido nano y transformadas por el envejecimiento a lo largo del ciclo de vida de los nano productos [86]. Otras fuentes relacionadas con el lugar de trabajo pueden incluir nanopartículas liberadas a partir de compuestos convencionales, de las cuales se sabe que algunas contienen una fracción significativa de partículas de tamaño nanométrico que pueden liberarse al usar los compuestos como polvo seco; estas partículas se denominan fracción de nanopartículas en compuestos convencionales (FCNP).

Además, existe la concentración de las nanopartículas ambientales en el aire (BGNP), que se originan a partir de procesos naturales y actividades antropogénicas (como el tráfico, las emisiones industriales y domésticas), que en general se intercambian continuamente con el aire interior del lugar de trabajo y, como tal, también pueden contribuir a la exposición a nanomateriales en el lugar de trabajo.

La evidencia muestra que las concentraciones de PGNP y FCNP en los lugares de trabajo pueden incluso dominar las concentraciones en el aire de los MNM liberados^[87]. Es obvio que la generación y la emisión de PGNP pueden tener lugar en cualquier lugar de trabajo convencional utilizando procesos de alta energía y que los FCNP pueden liberarse en la manipulación de materias primas, “no nano”, en polvo de “baja energía” en los lugares de trabajo.

Los procesos industriales (lugares de trabajo sin relación con la nanotecnología y la fabricación o el procesamiento de nanomateriales) pueden generar nanopartículas en el aire, a veces hasta niveles de varios millones de partículas / cm³. El peligro potencial de los PGNP y FCNP, similar a los MNM, depende de factores como el tamaño, la superficie, la forma y la composición de las partículas y puede ser comparable a los riesgos anticipados e identificados para los MNM^[8].

2.5 FUENTES DE PGNP EN LOS LUGARES DE TRABAJO

FUENTES GENÉRICAS DE PGNP:

Van Broekhuizen, resumió una visión general indicativa de algunas fuentes de PGNP y concentraciones en número de nanopartículas generadas^[87].

Las PGNP se pueden distinguir en tres grupos según los procesos en los que se forman^[87]:

- Nanopartículas generadas en procesos de calefacción y combustión.
Estas incluyen productos de combustión de hornos, carburantes para combustión tales como diesel y gasolina^[88]. Estos incluyen también productos de tamaño nanométrico generados con algunos motores eléctricos, donde las chispas pueden inducir la formación de nanopartículas. Además, existen numerosas nanopartículas de generación de procesos de calefacción y combustión: corte por plasma, soldadura blanda, rectificado de metales, soldadura dura, ablación por láser, ahumado de alimentos, fundición de hierro, etc.
- Nanopartículas generadas en operaciones de mecanizado.
Estas incluyen diferentes procesos de media y alta energía, como el mecanizado de superficies, ya sea que estén o no enriquecidas con MNM. Operaciones como abrasión, pulido, rectificado, taladrado, fresado, extrusión, impresión 3D
- Otros procesos
Estas incluyen reacciones de envejecimiento, procesos de desgaste de “baja energía”, etc.

Los procesos de baja energía incluyen, en general, el manejo (y la limpieza) de materiales, como el almacenamiento, el transporte, el llenado, la mezcla, uso de palas y el barrido [89].

También las FCNP pueden ser liberadas por estas operaciones.

OPERACIONES DE MECANIZADO

Safe Work Australia^[90] estudió la formación de nanopartículas generada a procesos (PGNP) a partir de matrices que incluyen epoxi, policarbonato, poliuretano, polimetil metacrilatos y poliamida. Los nanomateriales utilizados para reforzar incluyen sílice, fibras de carbono, nanotubos de carbono y nanoarcilla. Los procesos de mecanizado investigados incluyen corte en seco y en húmedo, taladrado, rectificado, lijado y abrasión. De su revisión concluyen^[90]:

- La masa total de emisiones del mecanizado de materiales compuestos que contienen nanoobjetos de refuerzo, en la mayoría de los casos, no es significativamente diferente del mecanizado de materiales compuestos que no contienen nano-objetos.
- Los procesos de alta energía emiten un número significativamente mayor de partículas y producen mayores concentraciones en masa en el aire que los procesos de baja energía.
- Para algunos procesos, se pueden lograr menores emisiones utilizando el mecanizado en húmedo en lugar del mecanizado en seco.
- Actualmente, no hay datos suficientes para llegar a ninguna conclusión sobre cómo varían las emisiones con la composición del material.
- Una combinación de; (a) partículas a nanoescala: nanopartículas de la matriz principalmente, pero también nano-objetos de refuerzo libres, (b) aglomerados

o agregados de nano-objetos, y (c) matriz con nano-objetos incrustados fueron emitidos en estas operaciones. El mecanizado de materiales compuestos puede dar lugar a nanoobjetos que están parcialmente incrustados en fragmentos de la matriz.

- Solo se ha informado una incidencia de nanotubos de carbono individuales (CNT) libres (siendo emitidos en un experimento de abrasión), mientras que varios estudios que examinaron el mecanizado de compuestos que contienen CNT no encontraron tal liberación. Las nanofibras de carbono libres también se han detectado en un estudio de mecanizado.

- En cuanto al control de emisiones en general, el uso de controles de ingeniería en equipos de mecanizado puede usarse para reducir significativamente la exposición de los trabajadores, si se diseñan adecuadamente y se mantienen adecuadamente.

2.6 FUENTES DE FCNP EN LOS LUGARES DE TRABAJO

Las Fracciones de Nanopartículas en Productos Convencionales (FCNP) son predominantemente nanopartículas liberadas a partir de compuestos convencionales que, por sí mismos, no están clasificados como nanomateriales según la definición de la CE^[1]. Parece que hay muchos compuestos diferentes utilizados en los procesos de fabricación industrial que, aunque las calificaciones técnicas no exigen una fracción de tamaño nanométrico en la distribución del tamaño de las partículas totales, contienen una fracción de este tipo, debido a los procedimientos de fabricación específicos.

Además, con frecuencia la distribución de tamaño, especialmente la contribución de la fracción de tamaño nanométrico al volumen total, no se comunica en la cadena de producción. En consecuencia, el usuario final de los compuestos de materia prima puede ignorar una posible exposición a las nanopartículas cuando se procesan polvos secos en el lugar de trabajo.

03

EXPOSICIÓN A
NANOMATERIALES
Y **ANOPARTÍCULAS**
EN EL SECTOR DE
LA CONSTRUCCIÓN.
FASES DE OBRA
– OFICIOS –
OPERACIONES



En el presente apartado se ha pretendido realizar una proyección de la posible exposición a nanomateriales y nanopartículas, intentando relacionar las fases de obra, oficios y operaciones. El resultado final se ha expuesto en la siguiente tabla.

Relación fases de obra–oficios–operaciones/fuentes con posible exposición a nanopartículas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 03

FASES DE OBRA	OFICIOS	OPERACIONES / FUENTES DE POSIBLE EXPOSICIÓN A NP	OBSERVACIONES
Demolición	Demolición y rehabilitación	En trabajos de voladuras	
		En trabajos de demolición mecánica (uso de maquinaria pesada)	Retroexcavadora Martillo hidráulico (sobre máquina) Brazo de empuje hidráulico, cizallas (para hormigón o hierro) y tenazas Robots para demolición
		En trabajos de demolición manual (uso de herramientas de potencia)	Radial Martillo neumático Sierras circulares manuales Martillo eléctrico Sierra de cadena Soldadura
		En trabajos de evacuación de escombros	Trompas de evacuación de escombros
		En trabajos en trituradoras	Trituradoras de escombros
Estructura	Estructuras metálica	En trabajos de montaje de estructuras metálicas.	Trabajos de soldadura
	Estructuras de madera	En trabajos de montaje de estructuras de madera Trabajos con herramientas de potencia de carpintería.	Posible tratamiento de madera con recubrimientos basados en nanomateriales.
	Encofrados	Trabajos de limpieza de motobombas y hormigoneras	(hormigones conteniendo nanopartículas)
	Ferrallado	En trabajo de ferrallado.	Soldadura eléctrica
Cubiertas	Colocación de materiales de cubrición	En trabajos de corte de tejas de cerámica u hormigón.	(hormigones o elementos cerámicos conteniendo nanopartículas)
Albañilería	Albañilería	En trabajos de tabiquería	Rozadora Radial
		En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Pastera Silos de cemento y mortero Manipulación de sacos vacíos de cementos y morteros
	Revestimiento de yeso	En raseos y enlucidos, con máquinas de proyección	Máquina de proyección
		En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Pastera Silos de cemento y mortero Manipulación de sacos vacíos de cementos y morteros
	Solados y alicatados	En trabajos de pulido y corte	PulidoraSierra de corte cerámica

Relación fases de obra–oficios–operaciones/fuentes con posible exposición a nanopartículas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 03

FASES DE OBRA	OFICIOS	OPERACIONES / FUENTES DE POSIBLE EXPOSICIÓN A NP	OBSERVACIONES
Instalaciones	Electricidad, montaje y mantenimiento de instalaciones de AT y BT	En trabajos con uso de herramientas de potencia	Taladros manual
	Fontanería e instalaciones de climatización	En trabajos de soldadura. Soldadura	Soldadura
		En trabajos con herramientas de potencia	Taladros manuales
	Instalaciones de ascensores	En trabajos de soldadura. Soldadura	Soldadura
		En trabajos con herramientas de potencia	Taladros manuales
Estructura	Estructuras metálica	En trabajos de montaje de estructuras metálicas.	Trabajos de soldadura
	Estructuras de madera	En trabajos de montaje de estructuras de madera Trabajos con herramientas de potencia de carpintería.	Posible tratamiento de madera con recubrimientos basados en nanomateriales.
	Encofrados	Trabajos de limpieza de motobombas y hormigoneras	(hormigones conteniendo nanopartículas)
	Ferrallado	En trabajo de ferrallado.	Soldadura eléctrica
Acabados	Aislamiento e impermeabilización	En trabajos de aislamiento, operaciones de corte	Aislantes con contenido nano
	Carpintería metálica y cerrajería	En trabajos de carpintería metálica	Soldadura
	Carpintería de madera	En trabajos de carpintería de madera. Uso de herramientas de potencia.	Sierra de corte Taladro manual Pulidora (Posibles recubrimientos de la madera con contenido nano).
	Trabajos de herrería	En trabajos de soldadura	Soldadura
	Pintura	En trabajos de pintura. Proyección de pintura.	PulidoraSierra de corte cerámica
	Taller de materiales: piedras industriales, tratamiento o transformación de materiales, canteros y similares	En trabajos de marmolería y cantería. Corte de materiales con herramientas de corte.	
	Soldadura	En trabajos de soldadura	
Varias	Operadores de equipos manuales	En trabajos de corte, pulido, perforación, etc., con herramientas de potencia.	Sierra circular Cortadora de material cerámico Martillo neumático Martillo eléctrico manual AcuchilladoraTaladro eléctrico Sierra circular manualRotaflex/radial Sierra de cadena Pulidora Rozadora
	Instalaciones temporales de obra y auxiliares: plantas de aglomerado, de hormigón, de machaqueo y clasificación de áridos.	En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Silos de cemento y mortero
	Operadores de vehículos y maquinaria de movimiento de tierras	En trabajos de demolición	Uso de maquinaria de demolición

04

MEDIDAS TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A LAS **NANOPARTÍCULAS**



4.1 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

PROCESOS Y FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

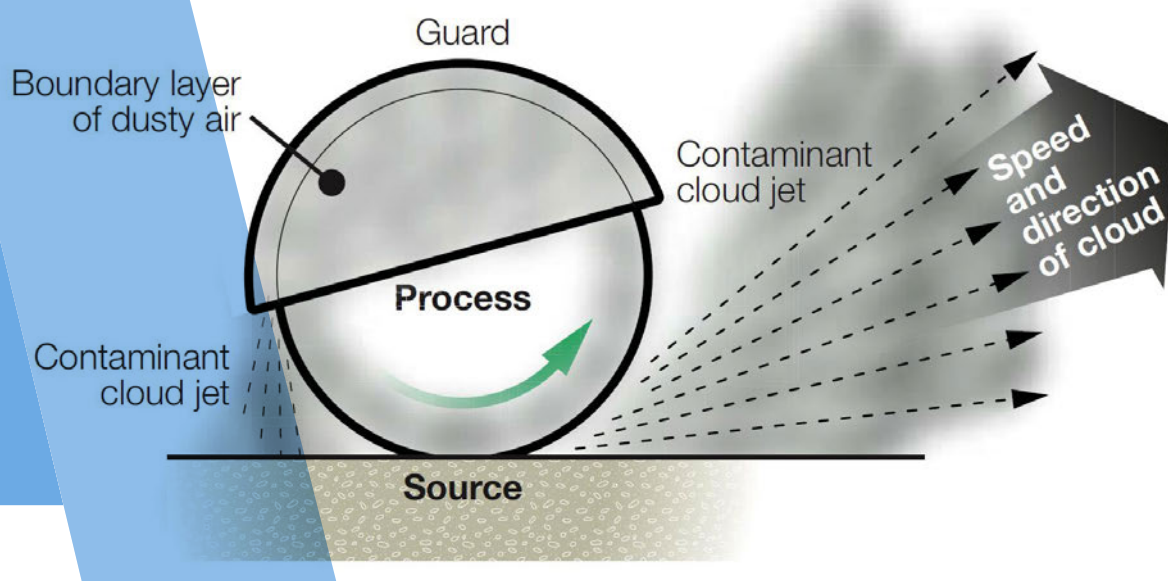
La aplicación efectiva de la extracción localizada requiere una buena comprensión del proceso y las fuentes.

Cuando se desarrollan medidas de control de exposición, “proceso” significa la manera en que se generan los contaminantes en el aire,

por ejemplo, en la carpintería los procesos serían cortar, moldear y lijar. La fuente es donde el contaminante es generado por un proceso. Comprender el proceso significa comprender la creación de “fuentes”. Esto puede sugerir formas de modificar el proceso para reducir la cantidad o el tamaño de las fuentes y las nubes contaminantes. La aplicación efectiva de la extracción localizada requiere una buena comprensión del proceso y las fuentes (Figura 1).

Conceptos de fuente y nube de contaminantes para una amoladora angular. Fuente:[21]

Figura 1



Boundary layer of dusty air	Capa límite de aire polvoriento
Contaminant cloud jet	Chorro de nube contaminante
Guard	Resguardo
Process	Proceso
Source	Fuente
Speed and direction of cloud	Velocidad y la dirección de la nube

Las fuentes se dividen en cuatro tipos generales:

- flotante, por ejemplo, el humo;
- inyectada en el aire en movimiento, por ejemplo, con una pistola rociadora;
- dispersa en el aire del lugar de trabajo, por ejemplo, corrientes de aire;
- direccional, de las cuales hay al menos cinco subtipos. En la Figura 2 se muestran los procesos y las fuentes en algunos trabajos realizados en el sector de la construcción.

Es crucial que el diseñador del sistema de extracción localizada entienda cómo los procesos generan fuentes y cómo las nubes de contaminantes fluyen fuera de la fuente.

FUERZA DE LA FUENTE

La fuerza de la fuente se describe en términos del área desde donde surge el contaminante, el flujo de contaminante que se aleja de la fuente y la concentración de contaminante dentro de la nube. La rigurosidad del requisito de control se determina mediante una combinación de:

- fuerza de la fuente;
- volumen de nube, forma y velocidad y su dirección de movimiento;
- concentración de contaminantes.

Cuanto más se aleje el contaminante de su fuente, mayor será el crecimiento de la nube a través de la mezcla y la difusión. La dilución reduce la concentración del contaminante en la nube, pero siempre es más efectivo aplicar el control cerca de la fuente de liberación en el aire debido a que:

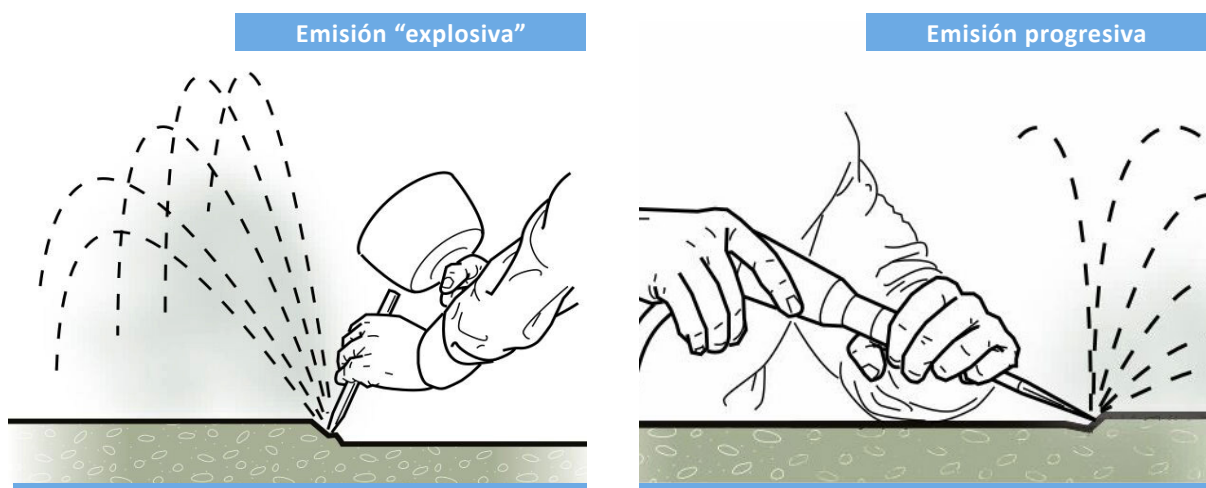
- el volumen de la nube es más pequeño, por lo que es más fácil de controlar;
- la intercepción total de toda la nube es más probable;
- el contaminante tiene menos probabilidades de entrar en la zona de respiración del operador.

Un proceso puede crear varias fuentes en diferentes etapas. Por ejemplo, en la figura 1 se muestran dos de las nubes contaminantes derivadas de un proceso de corte; una tercera nube surgiría de la capa límite, una cuarta de la resuspensión del polvo sedimentado y una quinta del polvo depositado en la ropa protectora del trabajador. Un buen control requiere examinar todas las actividades y todas las fuentes que liberan nubes de contaminantes en el aire.

En la Figura 3 se muestra un sistema de extracción localizada para controlar el polvo del vaciado de sacos. Pero la deposición del saco, una vez vaciado, no está controlada; esta fuente es comúnmente ignorada. En la Figura 4 se muestra una campana de extracción para controlar el polvo cuando se desechan los sacos vacíos.

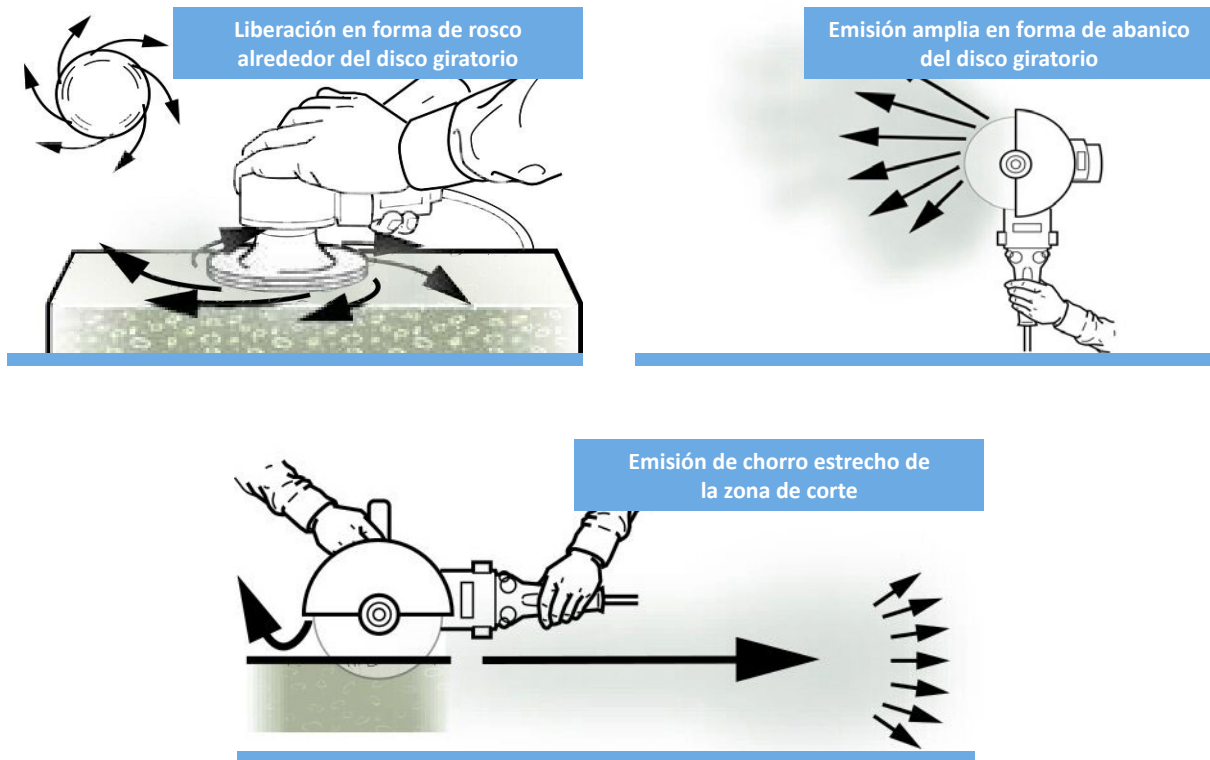
Ejemplos de procesos y fuentes de emisión relacionados con la construcción. Fuente:^[21]

Figura 2



Ejemplos de procesos y fuentes de emisión relacionados con la construcción. Fuente:^[21]

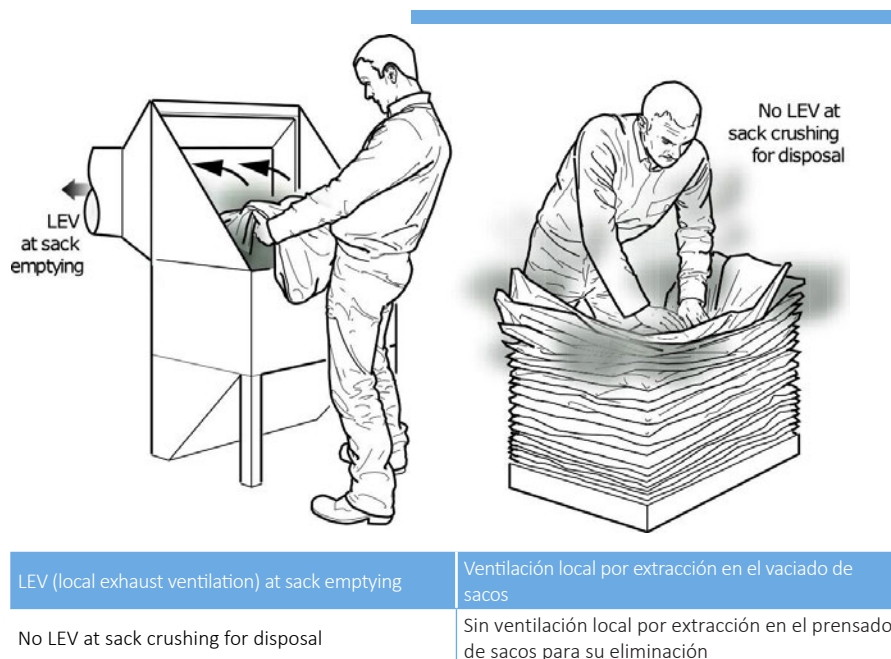
Figura 2



Sistema de extracción localizada para control de polvo en el vaciado de sacos.

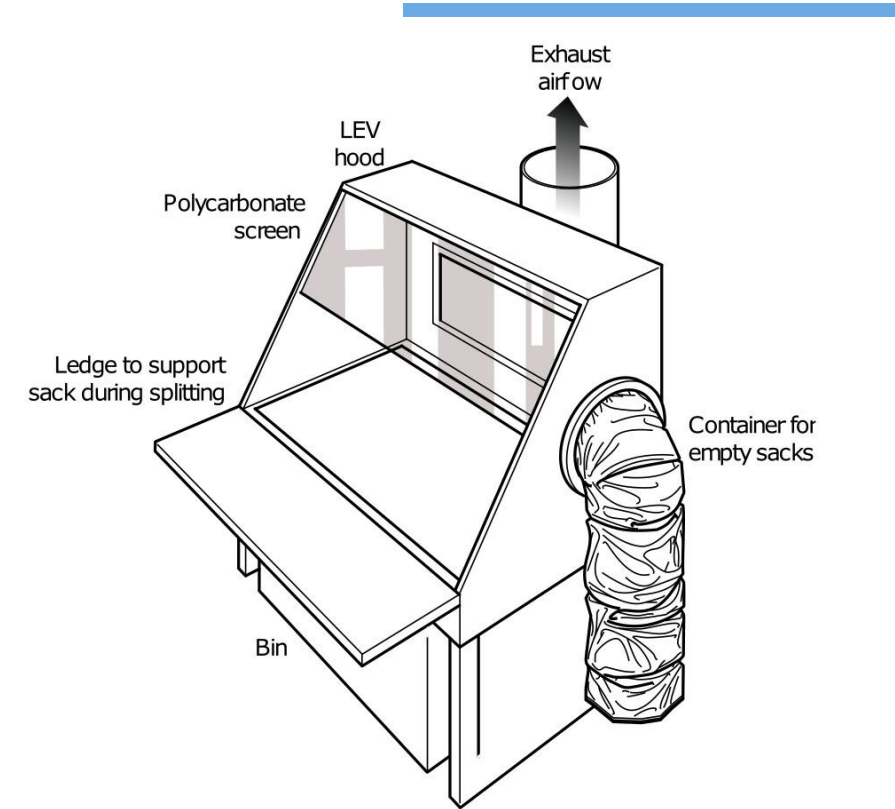
Falta de control de emisión en la manipulación de sacos vacíos. Fuente:^[21]

Figura 3



Cabina con extracción localizada para control de polvo de sacos vacíos. Fuente:[21]

Figura 4



Exhaust airflow	Flujo de aire de la extracción
LEV hood	Extractor de polvo
Polycarbonate screen	Pantalla de policarbonato
Ledge to support sack during splitting	Repisa para apoyar el saco durante la división
Container for empty sacks	Contenedor para sacos vacíos
Bin	Papelera

EFFECTIVIDAD DE LA EXTRACCIÓN LOCALIZADA. EJEMPLO

Zona de captura y zona de trabajo. Fuente:[21]

Figura 5



ZONA DE CAPTURA, ZONA DE TRABAJO Y ZONA DE RESPIRACIÓN

La zona de captura de una campana de extracción es el espacio delante de la campana donde la velocidad del aire es suficiente para capturar la nube contaminante. Una forma de concebir la zona de captura es una “burbuja” delante de la campana. Esta “burbuja” es fácil de interrumpir, puede encogerse y cambiar de forma. Las corrientes de aire pueden afectar gravemente el tamaño y la forma de las zonas de captura, y las corrientes importantes prácticamente la destruyen. La Figura 5 muestra una zona de trabajo dentro, parcialmente dentro y fuera de la zona de captura de la campana.

La zona de captura es casi siempre más pequeña de lo que el usuario espera. Esto se debe a que la velocidad del aire cae muy rápidamente frente a una campana de extracción.

La zona de trabajo es el espacio donde la actividad genera la nube contaminante. Para

un control efectivo de la exposición, la zona de trabajo debe estar dentro de la zona de captura de la campana.

La zona de respiración es la región alrededor de los operadores de la que extraen aire para respirar (comúnmente definida como dentro de los 300 mm de la nariz o la boca).

VELOCIDAD DE CAPTURA

Es la velocidad requerida en una fuente de contaminante para superar el movimiento de la nube contaminante y atraerla hacia la campana. Pero esto solo tiene sentido con una distancia definida entre la fuente y la campana. Las nubes contaminantes de rápido movimiento son muy difíciles de controlar con una campana extractora. Por lo general, requieren de cerramientos añadidos (por ejemplo cabina). Las velocidades de captura citadas en la Tabla 14 se basan en el éxito a través de la experiencia.

Velocidades de captura. Fuente:^[21]

Tabla 14

Emisión de nubes de contaminante	Ejemplo de proceso	Rangos de velocidad de captura (m/s)
Aire quieto con poca o ninguna energía.	Evaporación, niebla de tanques de galvanoplastia.	De 0,25 a 0,5
Aire bastante quieto con poca energía.	Soldadura y transferencia de líquidos	De 0,5 a 1,0
Aire en movimiento con energía moderada.	Trituración, pulverización	De 1,0 a 2,5
Aire turbulento con alta energía *	Corte, chorro abrasivo, rectificado	De 2,5 a >10

* Estos tipos de nube son difíciles de controlar utilizando campanas de extracción localizada.

DISTANCIA A LA FUENTE

Las campanas de extracción localizada generalmente sólo son efectivas cuando la fuente está a dos diámetros de la campana desde la parte frontal. Más allá de esto es probable que la campana no sea eficaz. La forma de la zona de captura depende de la forma de la campana. La zona de captura efectiva está severamente limitada, particularmente para campanas pequeñas.

Las mediciones muestran que el grado de efectividad de una campana de captura disminuye bruscamente a medida que aumenta la distancia a la campana. Todas las campanas de extracción muestran este patrón de captura.

Cuanto más pequeña sea la campana, más pequeña será la región “parcialmente efectiva”.

Los usuarios de procesos en los cuales se utilizan campanas de extracción deberían conocer el tamaño y la forma de la zona de captura para poder trabajar dentro de ella. Los proveedores y diseñadores de campanas deben proporcionar información sobre la zona de captura de sus campanas de manera práctica, por ejemplo:

- marcar claramente la zona de captura en la estación de trabajo; o
- marca en la campana la máxima distancia de captura.

4.2 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA DISMINUIR LA GENERACIÓN DE POLVO Y, POR TANTO, LA POSIBLE GENERACIÓN DE **NANOPARTÍCULAS** EN PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN

Antes de iniciar los trabajos, buscar formas de detener o reducir la cantidad de polvo que se podría producir. Utilizar diferentes materiales, herramientas menos potentes u otros métodos de trabajo. Ejemplos de ello podrían ser:

- Dimensiones adecuadas de los materiales de construcción, por lo que se necesita menos corte o preparación.
- Herramienta menos potente, por ejemplo, una esplitadora de bloques de hormigón manual, cortadoras de azulejos en lugar de una sierra de corte.
- Un método de trabajo diferente, por ejemplo, un sistema de fijación directa (pistolas clavadoras o grapadoras).

Ejemplos de generación de polvo en obras. Fuente:^[91]

Figura 6



A continuación se detallan, en las siguientes figuras, ejemplos de medidas preventivas técnicas para la disminución de la exposición a nanopartículas aplicables en el sector de la construcción.

Sistemas de fijación directa. Fuente:[91]

Figura 7



Aplicaciones:

- Fijación de madera a hormigón, bloques de caliza o acero
- Fijación de chapas de metal a hormigón, bloques de caliza o acero
- Fijación de membranas impermeabilizantes y láminas de drenaje a hormigón o bloques de CMU
- Fijación de encofrado 2x4s con el clavo para encofrado X-CT
- Instalación del limitador de encofrados X-FS en suelos de hormigón

Proceso de corte con esplitadora o cortadora de bloques. Fuente:[92]

Figura 8



Trompas y contenedores de escombros

Figura 9



Martillos percutores. Fuente:[91]

Figura 10



Martillos percutores. Fuente:^[91]

Figura 10



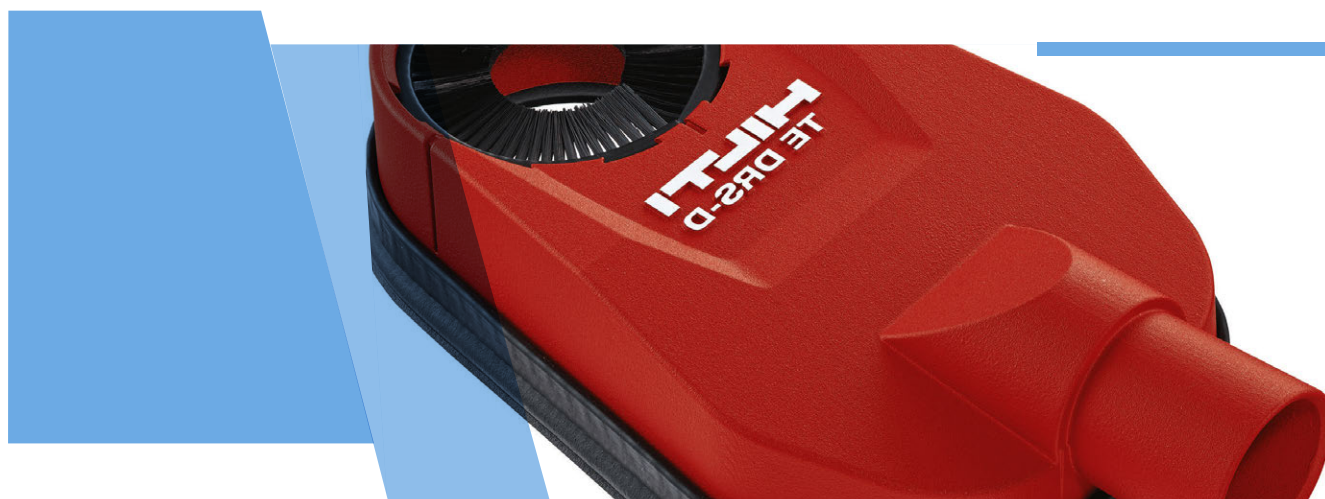
Martillos rompedores. Fuente:[91]

Figura 11



Sistema de eliminación de polvo TE DRD-D para conexión a sistema de aspiración (para diferentes tipos de herramientas). Fuente:[91]

Figura 12



Pulidora. Fuente:[91]

Figura 13



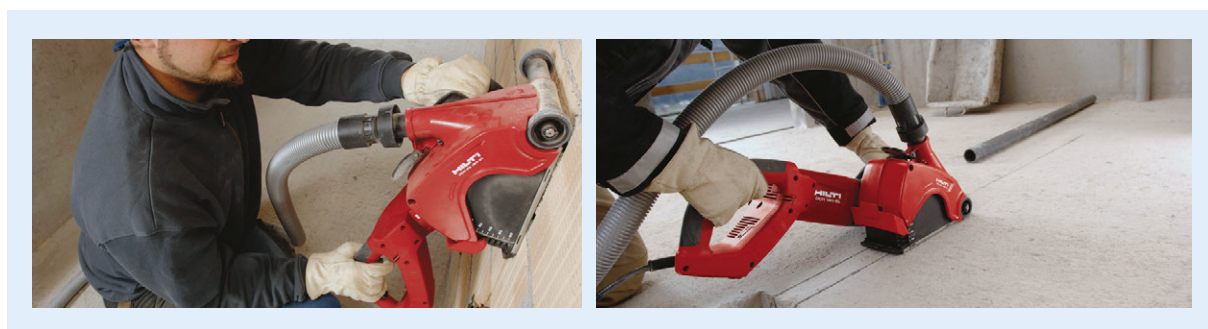
Rozadora. Fuente:[91]

Figura 14



Rozadora. Fuente:[91]

Figura 14



Sistemas de aspiración para conexión a herramientas manuales de potencia. Fuente:[91]

Figura 15



Sierras circulares manuales. Fuente:^[91]

Figura 16



Aislamiento de zonas de obra, para hacerlas estancas. Fuente:^{[93] [94]}

Figura 17



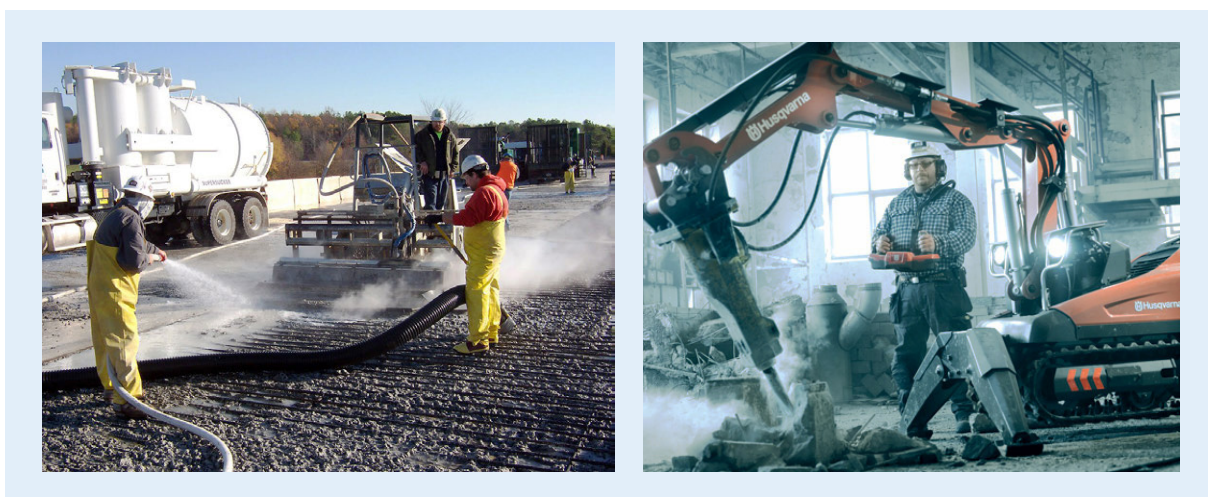
Aislamiento de zonas de obra, para hacerlas estancas. Fuente:^[93] ^[94]

Figura 17



Hidrodemolición y demolición automatizada. Fuente: ^[95] ^[96]

Figura 18



Sistemas de suministro de agua para herramientas de potencia (vía húmeda). Fuente: [97]

Figura 19



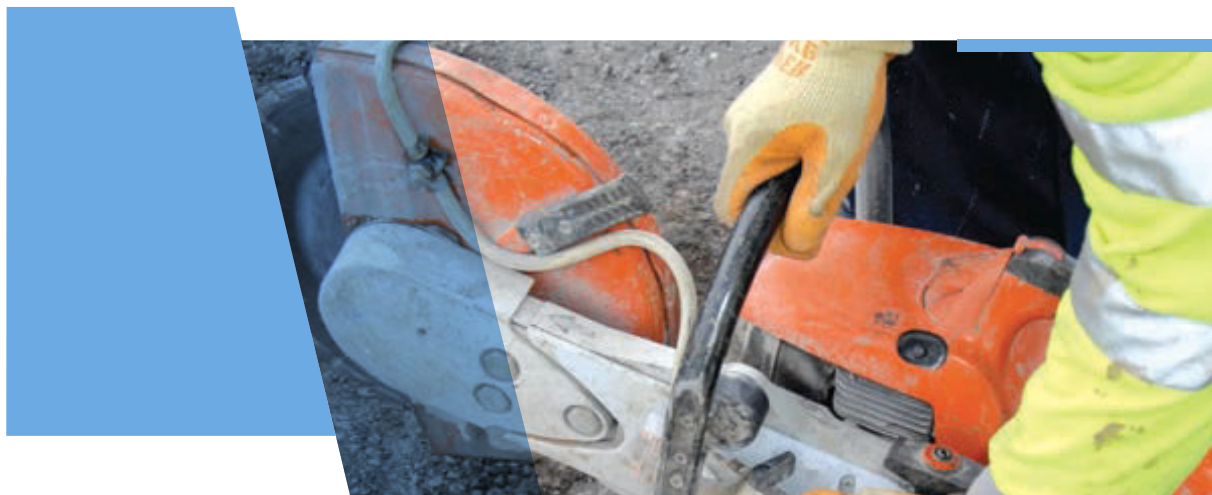
Operación de desbaste / pulido por aspiración / vía húmeda. Fuente: [98]

Figura 20



Sierra de disco manual por vía húmeda. Fuente:^[99]

Figura 21



Sistemas de eliminación de polvo en vehículos. Fuente:^{[100] [101]}

Figura 22



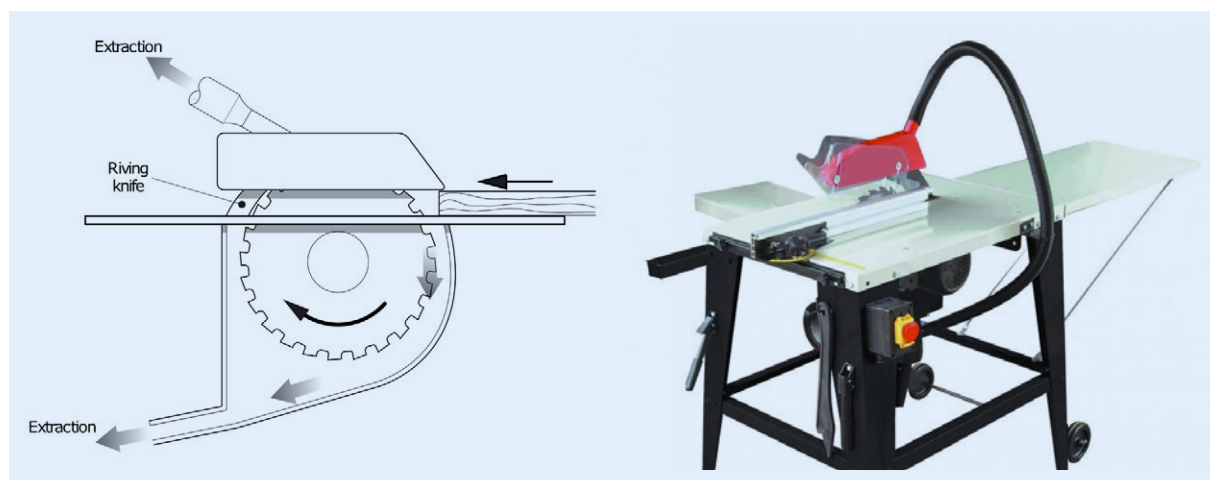
Equipos de aspiración móviles con brazo articulado. Fuente:^[102] ^[103]

Figura 23



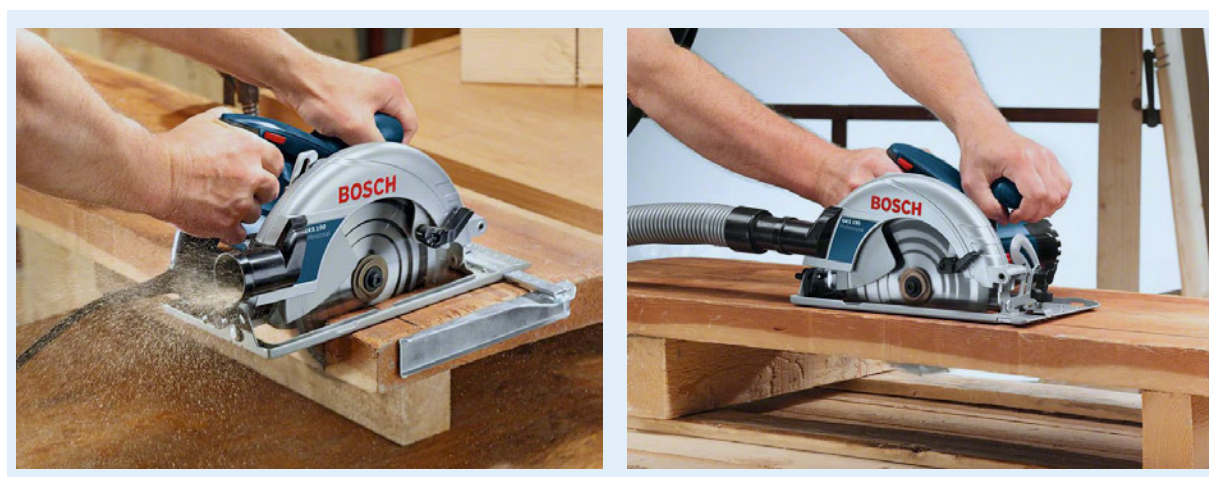
Mesa con sierra de disco para corte de madera. Fuente:^{[104] [105]}

Figura 24



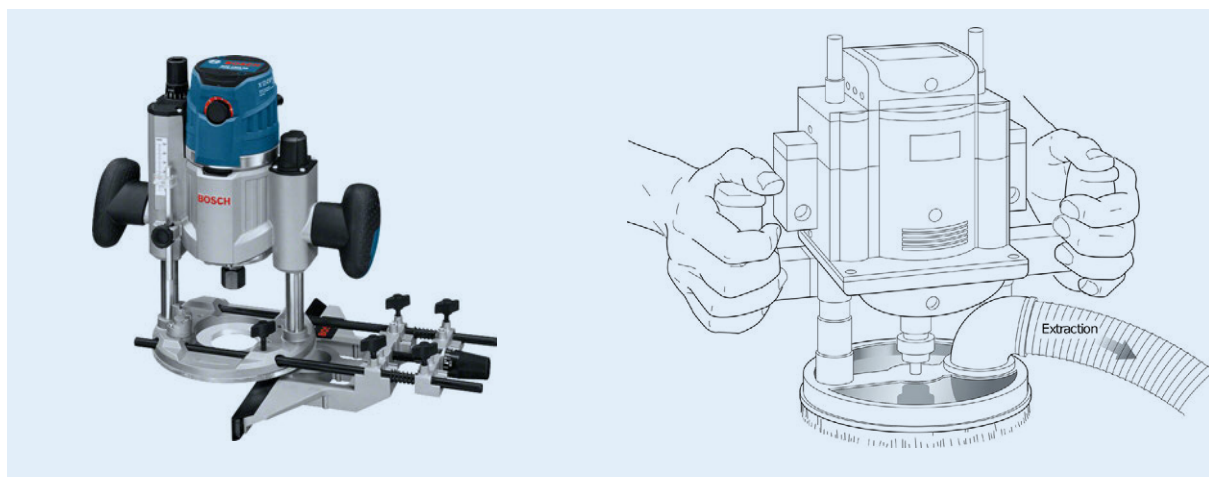
Sierra de disco manual para corte de madera. Fuente:^[106]

Figura 25



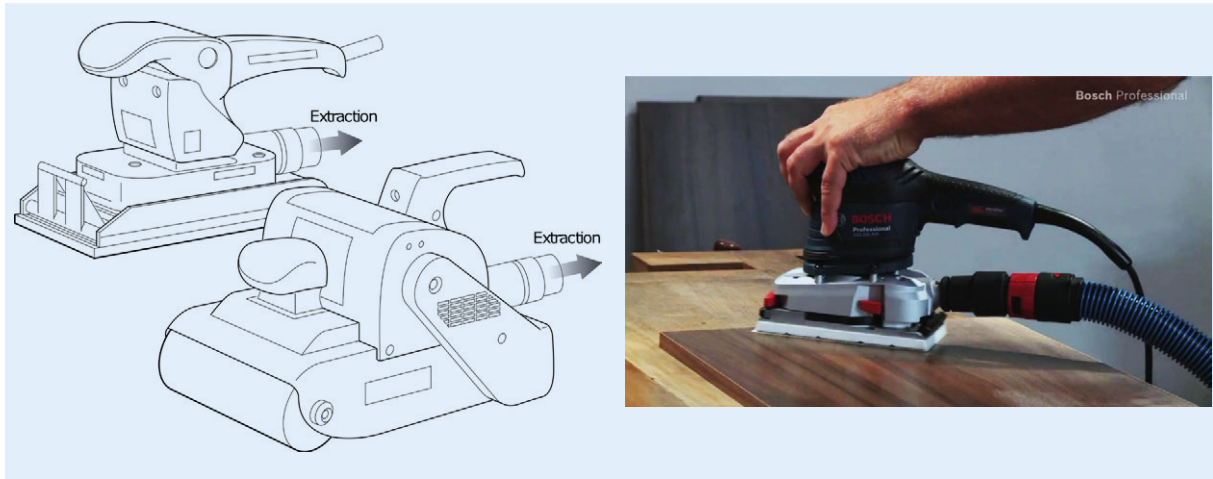
Fresadoras manuales para madera. Fuente:^{[106] [107]}

Figura 26



Pulidoras/lijadoras orbitales y de bandas para la madera. Fuente:^{[108] [106]}

Figura 27



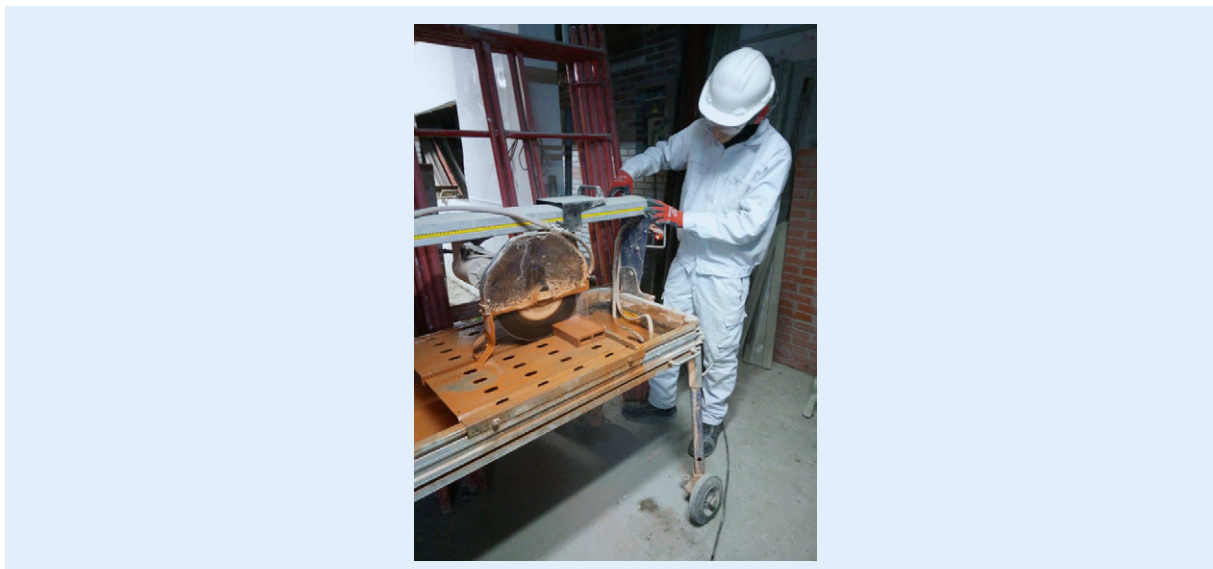
Cortadoras de cerámica manuales (en sustitución de herramientas motorizadas). Fuente:^[109]

Figura 28



Cortadoras cerámicas fijas (vía húmeda).

Figura 29



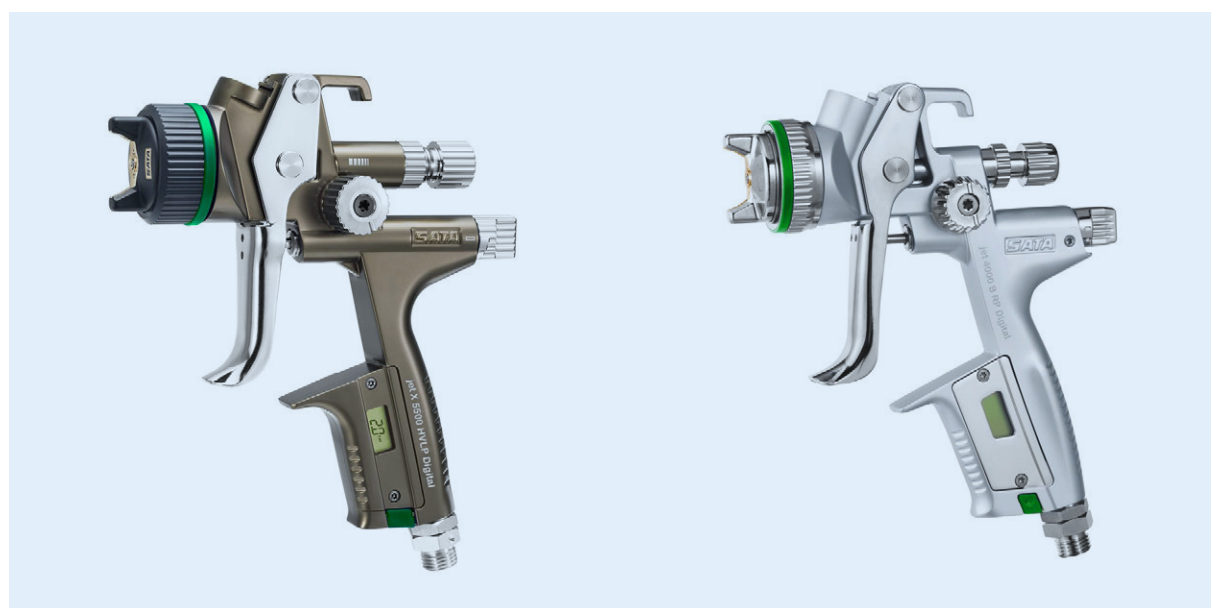
Equipos de perforación. Fuente:[110]

Figura 30



Pistolas para pintura a baja presión y alto volumen (HVLP). Fuente:[111]

Figura 31



Cañones nebulizadores (demolición). Fuente:^[112] ^[113]

Figura 32



Sierra de sable alternativa. Fuente:[114]

Figura 33



SSistemas semimóviles de extracción localizada. Fuente:[114]

Figura 34



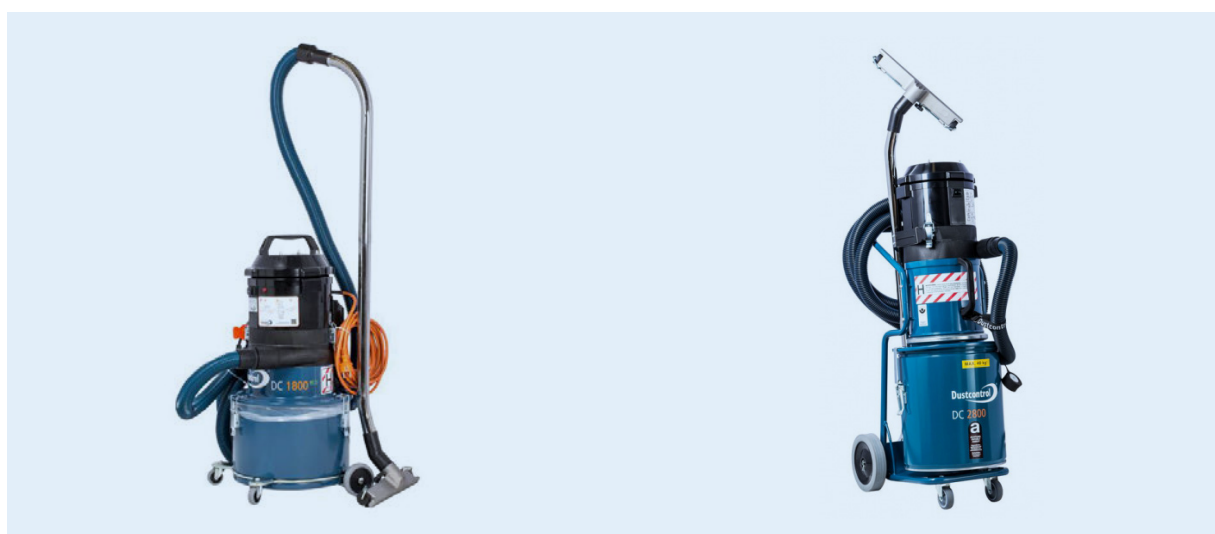
Sistemas de Recirculación de aire en espacios cerrados. Fuente:[114]

Figura 35



Sistemas de aspiración para limpieza. Fuente:[114]

Figura 36



4.3 MEDIDAS TÉCNICAS POR FASE DE OBRA, OFICIOS, OPERACIONES Y FUENTES

Relación fases de obra – oficios – operaciones/fuentes con posible exposición a nanopartículas y medidas técnicas para la reducción de exposición a NP.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

FASES DE OBRA	OFICIOS	OPERACIONES / FUENTES DE POSIBLE EXPOSICIÓN A NP	OBSERVACIONES	PROPUESTA DE MEDIDAS TÉCNICAS REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A NP (Nº DE FIGURA) ³
DEMOLICIÓN	Demolición y rehabilitación	En trabajos de voladuras		32
		En trabajos de demolición mecánica (uso de maquinaria pesada)	Retroexcavadora Martillo hidráulico (sobre máquina) Brazo de empuje hidráulico, cizallas (para hormigón o hierro) y tenazas Robots para demolición	18, 32
		En trabajos de demolición manual (uso de herramientas de potencia)	Radial Martillo neumático Sierras circulares manuales Martillo eléctrico Sierra de cadena Soldadura	9, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 32, 34, 35
		En trabajos de evacuación de escombros	Trompas de evacuación de escombros	9
		En trabajos en trituradoras	Trituradoras de escombros	
ESTRUCTURAS	Estructuras metálica	En trabajos de montaje de estructuras metálicas.	Trabajos de soldadura	23
	Estructuras de madera	En trabajos de montaje de estructuras de madera. Trabajos con herramientas de potencia de carpintería.	Posible tratamiento de madera con recubrimientos basados en nanomateriales.	24, 25, 26, 27, 36
	Encofrados	Trabajos de limpieza de motobombas y hormigoneras	(hormigones conteniendo nanopartículas)	
	Ferrallado	En trabajo de ferrallado.	Soldadura eléctrica	23
CUBIERTAS	Colocación de materiales de cubrición	En trabajos de corte de tejas de cerámica u hormigón.	(hormigones o elementos cerámicos conteniendo nanopartículas)	28, 29

³Las medidas técnicas propuestas vienen referenciadas por el número de tabla, las tablas son las que se han expuesto anteriormente en el documento.

Relación fases de obra – oficios – operaciones/fuentes con posible exposición a nanopartículas y medidas técnicas para la reducción de exposición a NP.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

FASES DE OBRA	OFICIOS	OPERACIONES / FUENTES DE POSIBLE EXPOSICIÓN A NP	OBSERVACIONES	PROPUESTA DE MEDIDAS TÉCNICAS REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A NP (Nº DE FIGURA) ³
ALBAÑILERÍA	Albañilería	En trabajos de tabiquería	Rozadora Radial	14
		En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Pastera Silos de cemento y mortero Manipulación de sacos vacíos de cementos y morteros	
	Revestimiento de yeso	En raseos y enlucidos, con máquinas de proyección.	Máquina de proyección	17
		En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Pastera Silos de cemento y mortero Manipulación de sacos vacíos de cementos y morteros	
	Solados y alicatados	En trabajos de pulido y corte	Pulidora Sierra de corte cerámica	13, 19, 28, 29
INSTALACIONES	Electricidad, montaje y mantenimiento de instalaciones de AT y BT	En trabajos con uso de herramientas de potencia	Taladros manual	
	Fontanería e instalaciones de climatización	En trabajos de soldadura. Soldadura.	Soldadura	23
		En trabajos con herramientas de potencia	Taladros manuales	
	Instalaciones de ascensores	En trabajos de soldadura. Soldadura.	Soldadura	23
		En trabajos con herramientas de potencia	Taladros manuales	
ACABADOS	Aislamiento e impermeabilización	En trabajos de aislamiento, operaciones de corte	Aislantes con contenido nano	33
	Carpintería metálica y cerrajería	En trabajos de carpintería metálica.	Soldadura	23
	Carpintería de madera	En trabajos de carpintería de madera. Uso de herramientas de potencia.	Sierra de corte Taladro manual Pulidora (Posibles recubrimientos de la madera con contenido nano).	24, 25, 26, 27
		En trabajos de soldadura	Soldadura	23
	Pintura	En trabajos de pintura. Proyección de pintura		17, 31
	Taller de materiales: piedras industriales, tratamiento o transformación de materiales, canteros y similares	En trabajos de marmolería y cantería. Corte de materiales con herramientas de corte		5, 8, 15, 19, 34

³Las medidas técnicas propuestas vienen referenciadas por el número de tabla, las tablas son las que se han expuesto anteriormente en el documento.

Relación fases de obra – oficios – operaciones/fuentes con posible exposición a nanopartículas y medidas técnicas para la reducción de exposición a NP.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

FASES DE OBRA	OFICIOS	OPERACIONES / FUENTES DE POSIBLE EXPOSICIÓN A NP	OBSERVACIONES	PROPUESTA DE MEDIDAS TÉCNICAS REDUCCIÓN DE EXPOSICIÓN A NP (Nº DE FIGURA) ³
DEMOLICIÓN	Soldadura	En trabajos de soldadura		23
	Operadores de equipos manuales	En trabajos de corte, pulido, perforación, etc., con herramientas de potencia.	Sierra circular Cortadora de material cerámico Martillo neumático Martillo eléctrico manual Acuchilladora Taladro eléctrico Sierra circular manual Rotaflex/radial Sierra de cadena Pulidora Rozadora	10, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 28, 33, 34, 35
	Instalaciones temporales de obra y auxiliares: plantas de aglomerado, de hormigón, de machaqueo y clasificación de áridos.	En trabajos de mezclas de cementos, morteros	Silos de cemento y mortero	
	Operadores de vehículos y maquinaria de movimiento de tierras	En trabajos de demolición	Uso de maquinaria de demolición	32

³Las medidas técnicas propuestas vienen referenciadas por el número de tabla, las tablas son las que se han expuesto anteriormente en el documento.



05

**IDENTIFICACIÓN DE
RIESGOS A TRAVÉS
DE LA ETIQUETA
Y LA FICHA DE
SEGURIDAD DEL
PRODUCTO**

5.1 RELACIÓN ENTRE EL REGLAMENTO CLP Y LOS **NANOMATERIALES**

Los nanomateriales que cumplen los criterios de clasificación como peligrosos según el Reglamento 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (CLP) de sustancias y mezclas deben estar clasificados y etiquetados^[115]. Esto se aplica a los nanomateriales como sustancias por derecho propio, o a los nanomateriales como formas especiales de la sustancia. Muchas de las disposiciones relacionadas, incluidas las Fichas de Datos de Seguridad (FDS) y la clasificación y el etiquetado, se aplican hoy en día, independientemente del tonelaje en el que se fabrican o importan las sustancias. Las sustan-

cias, incluidos los nanomateriales, que cumplan con los criterios de clasificación como peligrosos deberían haberse notificado a la ECHA antes del 3 de enero de 2011. Cualquier actualización adicional de la clasificación también debe notificarse sin demoras indebidas. Es perfectamente posible que la clasificación se aplique solo a formas específicas, incluidas las nanoformas de la sustancia. Sobre la base de la información recibida bajo los registros REACH y las notificaciones de CLP, la ECHA publicó un inventario de clasificación y etiquetado.

5.2 CATÁLOGO DE **CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO** (C&L) COMO FUENTE DE INFORMACIÓN

El catálogo público C&L es una base de datos central que contiene información sobre clasificación y etiquetado relativa a las sustancias notificadas que se comercializan en el mercado de la UE. También facilita una lista de sustancias catalogadas que presentan una clasificación y etiquetado armonizados, conforme al anexo VI del Reglamento CLP.

El Reglamento CLP exige a todos los importadores y fabricantes de sustancias peligrosas comercializadas en la UE y todas las sustancias sujetas a registro, en virtud del Reglamento REACH, que notifiquen la clasificación y el etiquetado de sus sustancias a la ECHA en el plazo de un mes desde su comercialización. Por su parte, la ECHA mantiene un Catálogo de clasi-

cación y etiquetado (C&L) en el que se deposita toda la información notificada y pone a disposición pública algunos elementos de la base de datos (el Catálogo público C&L).

El contenido del catálogo público C&L se encuentra definido en el Reglamento CLP. Incluye ciertos elementos relacionados con la identidad de la sustancia y todos los elementos de clasificación y etiquetado (C&L). De este modo, se publican el nombre CE y el número EINECS de todas las sustancias y, a ser posible, todas las demás sustancias del Inventario CE. Además, cuando una sustancia se clasifica en las clases de peligro indicadas en el artículo 119 del Reglamento REACH^[116] (que abarca la mayoría de las clases de peligro de CLP) por parte de al menos

un notificante, se publican los elementos de C&L de todas las notificaciones de esa sustancia. Solo se publica la nomenclatura IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) de las notificaciones clasificadas en las clases de peligro que se indican en el artículo 119.

La siguiente información no se incluye en el catálogo público de C&L:

- Información de contacto del notificante.
- La composición y el perfil de impurezas de las sustancias.

En ciertos casos, incluso cuando se notifica una sustancia como peligrosa (de conformidad con el artículo 119), la nomenclatura de la IUPAC puede estar protegida por una solicitud de confidencialidad y no se publica. En el catálogo se incluye la clasificación y el etiquetado armonizado de las sustancias (tablas 3.1 y 3.2 del anexo VI del Reglamento CLP).

Un usuario interesado en una sustancia concreta o un grupo de sustancias podrá buscarlas a partir del nombre CE completo o parcial, el nombre conforme al índice del CLP del anexo VI y la nomenclatura IUPAC o por los números completos o parciales CE, CAS o del índice CLP, anexo VI.

Para facilitar el uso, se han desglosado las clasificaciones en peligros físicos, sanitarios y ambientales y el usuario puede elegir bien la forma abreviada de la clase de peligro como los códigos de categorías (p. ej. Toxicidad aguda 4) o los códigos de las indicaciones de peligro, por ejemplo H302). La combinación de la identidad de la sustancia y los elementos de clasificación aportará más precisión a los resultados de la búsqueda.

Dirección de acceso a la base de datos del catálogo de clasificación y etiquetado (C&L):

<https://echa.europa.eu/es/information-on-chemicals/cl-inventory-database>

5.3 FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD Y SU RELACIÓN CON LOS NANOMATERIALES

Las fichas de datos de seguridad están concebidas para facilitar a los usuarios de sustancias químicas la información necesaria para ayudarles a proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

Los usuarios de sustancias químicas son empresas o personas dentro de la Unión Europea y el Espacio Económico Europeo que utilizan una sustancia, como tal o en forma de mezcla, en sus actividades industriales o profesionales.

Las fichas de datos de seguridad están destinadas tanto a los trabajadores que manipulan sustancias químicas como a los responsables de la seguridad.

El formato de la ficha de datos de seguridad se define en el Reglamento REACH. Se divide en 16 secciones.

El contenido de las distintas secciones de la ficha de datos de seguridad se recoge en las disposiciones jurídicas del Anexo II del Reglamento REACH.

A continuación, expondremos un análisis de relevancia en cuanto a las diferentes secciones realizado por^[117], para la introducción de las características nano en las FDS en Suiza.

Los autores^[117], han llevado a cabo, para cada una de las 16 secciones de la FDS, unas recomendaciones de clasificación en tres niveles, estos son:

- necesarios;
- importantes;
- deseados.

En el grupo de deseados se incluye la información sobre nanomateriales que actualmente muy pocos nanomateriales tienen disponible, sobre los temas que requieren las secciones marcadas con dicha clase o nivel.

Niveles de prioridad actuales de información nanoespecífica en las 16 secciones de la FDS.^[117]

Tabla 16

Nº	DESIGNACIÓN DE LAS SECCIONES DE LA FDS	NIVELES DE PRIORIDAD PARA LA INDICACIÓN DE INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE NANOMATERIALES
1	Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa	Necesaria
2	Identificación del peligro	Necesaria
3	Composición/información sobre los componentes	Necesaria
4	Primeros auxilios	Deseable
5	Medidas de lucha contra incendios	Importante
6	Medidas en caso de vertido accidental	Deseable
7	Manipulación y almacenamiento	Importante
8	Controles de exposición/protección individual	Necesaria
9	Propiedades físicas y químicas	Necesaria
10	Estabilidad y reactividad	Deseable
11	Información toxicológica	Deseable
12	Información ecológica	Deseable
13	Consideraciones relativas a la eliminación	Importante
14	Información relativa al transporte	Deseable
15	Información reglamentaria	Deseable
16	Información adicional	Deseable

Indicaciones para la evaluación y gestión segura de nanomateriales. Fuente:^[117]

Tabla 17

Necesaria	Datos “necesarios” para la evaluación y gestión segura: Las cinco secciones correspondientes (1, 2, 3, 8, 9) de la FDS, deben contener necesariamente los datos mínimos para los nanomateriales. Los métodos de prueba/ensayo deben especificarse, en particular para indicar si las pruebas/ensayos se realizaron con nanomateriales o con materiales macroscópicos homólogos. La cuadrícula de precaución: estos datos también son necesarios para utilizar la cuadrícula de precaución. La información sobre el uso y el alcance de la cuadrícula se puede encontrar en la sección 7 de esta guía.
Importante	Datos “importantes” para la evaluación y gestión segura: Las tres secciones correspondientes (5, 7, 13) de la FDS deben contener, en la medida de lo posible, información específica sobre nanomateriales y recomendaciones relevantes para una gestión segura.
Deseable	Datos “deseados” para evaluación y manejo seguro: Solo unos pocos nanomateriales están actualmente documentados por los datos correspondientes a las secciones (4, 6, 10, 11, 12, 14, 15, 16) de la FDS. Sin embargo, si se dispone de datos específicos o de investigación científica o literatura, estos deben mencionarse. Además, constantemente surgen nuevos elementos de conocimiento, en particular a través de la transmisión de datos de la cadena de información REACH, gracias al trabajo de la OCDE y los descubrimientos en rápido avance de la investigación científica.

Ejemplos de textos correspondientes a las secciones de la FDS en relación a los niveles de prioridad establecidos en la Tabla 17. Elaborados a partir de^[117]

Tabla 18

Nº SECCIÓN FDS	NIVEL DE PRIORIDAD Y SECCIONES DE LA FDS
	Datos “necesarios” para la evaluación y gestión segura de nanomateriales
1	Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa Ejemplos de textos relativos a la sección 1 de la FDS (identificación de la sustancia o del preparado y de la empresa) 1. Los nanomateriales contenidos aumentan el efecto antibacteriano de la pintura. 2. Los nanomateriales modifican la estructura de la superficie y facilitan la limpieza. 3. Contiene nanomateriales, para aumentar la protección (fachada / superficie) contra daños / deterioros causados por los rayos UV.
2	Identificación del peligro Las siguientes preguntas deberían ayudar a formular posibles riesgos / indicaciones de peligros. 1. ¿Es probable que se forme polvo o que se liberen nanopartículas o nanofibras si se manipula correctamente? 2. ¿Las nanofibras o las estructuras fibrosas persistentes están contenidas o pueden formarse (por aglomeración o agregación)? 3. ¿Cuáles son las principales vías de exposición (específicas del producto)? 4. ¿Para qué procesos es probable la liberación al medioambiente (agua, suelo, aire)? 5. ¿Cómo se comporta la sustancia en los organismos (absorción, estabilidad, etc.)? 6. ¿Son posibles propiedades diferentes o más pronunciadas que el producto no nanoscópico (por ejemplo, debido a la formación de radicales libres)? Ejemplos de textos relativos a la sección 2 de la FDS (identificación de peligros). Es posible proporcionar varias descripciones relevantes de los peligros potenciales. Los datos a los que se refieren estos elementos de información deben materializarse, si es posible, en las secciones 8, 11 o 12 de la FDS (por ejemplo, citando estudios). 1. Se pueden liberar nanomateriales si este producto se utiliza en trabajos que generan polvo. 2. La pulverización del producto con propelentes genera aerosoles que contienen nanopartículas. 3. Las partículas nanoscópicas de este producto pueden promover la formación de radicales en los organismos. 4. Es probable que los nanomateriales utilizados crucen las membranas celulares y la barrera hematoencefálica. 5. Es probable que los nanomateriales utilizados se enriquezcan en organismos y / o en el medio ambiente.
3	Composición/información sobre los componentes Se recomienda muy especialmente indicar en esta sección (además de los datos necesarios relativos a la composición) el tipo y la cantidad de nanomateriales presentes en el producto indicando el término “nano”. También es importante proporcionar información sobre el posible recubrimiento o la funcionalización de los nanomateriales. En esta sección, es necesario proporcionar la información más precisa posible sobre la composición, en particular sobre las siguientes propiedades específicas de los nanomateriales: • designación química y composición elemental (por ejemplo, nano-TiO₂); • la estructura química y la estructura cristalina de las nanopartículas (por ejemplo, rutilo o anatasa); • la forma de las nanopartículas (por ejemplo, partículas o fibras); • la proporción en masa de nanopartículas (por ejemplo, 1% de nanopartículas en peso); • impurezas nanoscópicas (por ejemplo, óxidos metálicos); • Funcionalización y / o recubrimiento (sí, cuales / no). Ejemplos de textos relativos a la sección 3 de la FDS (composición / información sobre los componentes) 1. La solución lista para usar contiene nanopartículas de óxido de cerio; La vaporización con propelentes genera aerosoles cuyo diámetro de gota es inferior a 10 micrómetros (<10 µm). 2. Nanopartículas de dióxido de titanio (rutilo) recubiertas con sílice. 3. Contiene plata (elemental) en forma de nanopartículas. 4. Contiene componentes nanoscópicos de plata (elemental) dispersos. 5. Contiene carbono en forma de MWCNT.

Ejemplos de textos correspondientes a las secciones de la FDS en relación a los niveles de prioridad establecidos en la Tabla 17. Elaborados a partir de^[117]

Tabla 18

Nº SECCIÓN FDS	NIVEL DE PRIORIDAD Y SECCIONES DE LA FDS
9	Propiedades físicas y químicas Ejemplos de textos relativos a la sección 9 de la FDS (propiedades fisicoquímicas) 1. Proporción de CeO_2 en la nanoescala en el producto: 90 por ciento. Área de superficie específica: 20-85 m^2 por gramo de sustancia según el método BET (Área de superficie específica, SSABET); Diámetro de las nanopartículas primarias: 10-40 nm (dBET). 2. El producto contiene nanopartículas sin recubrimiento con un tamaño entre 50 y 200 nm. 3. La distribución máxima del tamaño de partícula es de alrededor de 50 nm. El recubrimiento de las nanopartículas evita su aglomeración. 4. Los aglomerados (200 nm) se pueden desintegrar en el cuerpo o en el ambiente. 5. Debido a la funcionalización (recubrimiento) de las nanopartículas de dióxido de titanio contenidas en el producto, el efecto fotocatalítico se reduce en comparación con su forma no recubierta. 6. Reactividad aumentada significativamente en comparación con las formas no nanoscópicas del mismo material. 7. Promueve la formación de radicales de oxígeno. 8. El producto tiene un efecto catalítico o redox. 9. Los nanomateriales de dióxido de titanio contenidos son estables (no degradables e insolubles en el cuerpo o el medio ambiente). 10. Los MWCNT contenidos tienen un diámetro de 20 a 40 nm y su longitud es de al menos 500 nm. La relación de longitud a diámetro es de aproximadamente 10 a 1.
5	Medidas de lucha contra incendios Ejemplos de textos relativos a la sección 5 de la FDS (medidas de lucha contra incendios). 1. Las nanopartículas de hierro contenidas son altamente inflamables y combustibles. 2. Las nanopartículas de hierro contenidas son pirofóricas.
7	Manipulación y almacenamiento Procedimiento general Al manipular y almacenar nanomateriales (también en preparaciones) cuyo potencial efector es desconocido, es esencial, como precaución, evitar las exposiciones y / o limitarlas al mínimo. Aplicación de principio TOP (medidas de proteccióntécnicas, organizativas y personal) 1. T = Medidas técnicas de protección. - Use equipo cerrado (caja de guantes, etc.) - Evitar la formación de polvo o aerosoles. - Aspirar polvos o aerosoles directamente en la fuente. - Proporcionar una purificación del aire aspirado (filtro adecuado). - Separe el espacio de trabajo y adapte la ventilación del local (ligera subpresión). - Limpieza en húmedo. La limpieza por aspiración es solo una segunda prioridad (No utilizar métodos de soplado de polvo). 2. O = Organizativas - Minimiza el tiempo de exposición. - Minimizar el número de personas expuestas. - Limitación de acceso. - Instrucción del personal sobre peligros y medidas de protección (Instrucciones de funcionamiento). 3. P = Medidas de protección personal El equipo de protección individual (EPI) solo se utilizará si las medidas técnicas y organizativas enumeradas anteriormente proporcionan solo una protección limitada. Los requisitos específicos para los EPI deben mencionarse en la sección 8 de la FDS. Manipulación Ejemplos de textos relativos a la sección 7 de la FDS (manipulación): 1. Aspire en la fuente con un aparato equipado con un filtro de partículas (filtro HEPA H14). 2. Use un método de limpieza en húmedo. El uso de la aspiradora es solo una segunda prioridad y el aparato debe estar equipado con un filtro de partículas (por ejemplo, un filtro HEPA H14). Asegúrese de cualquier exposición durante el mantenimiento y la eliminación o el reciclaje y evitarlos.

Ejemplos de textos correspondientes a las secciones de la FDS en relación a los niveles de prioridad establecidos en la Tabla 17. Elaborados a partir de^[117]

Tabla 18

Nº SECCIÓN FDS	NIVEL DE PRIORIDAD Y SECCIONES DE LA FDS
7	Manipulación y almacenamiento 3. Evitar la formación de aerosoles y eliminar las fuentes de ignición. 4. Cuando llene y vacíe recipientes que contienen nanopartículas en polvo, use una máscara protectora (clase de filtro P-3), ropa protectora (no tejida) y guantes de nitrilo (dos pares de guantes superpuestos) y operar en un espacio particularmente protegido (por ejemplo, sala presurizada) o en un recinto sellado (por ejemplo, “caja de guantes” de laboratorio). Almacenamiento Ejemplos de textos relativos a la sección 7 de la FDS (almacenamiento) 1. Almacene los nanomateriales en polvo en bolsas antiestáticas (llenas de argón o nitrógeno o envasadas al vacío en un paquete hermético). 2. Almacene el polvo metálico de nanopartículas en bolsas antiestáticas selladas al vacío y colocadas en recipientes metálicos.
8	Controles de exposición/protección individual Ejemplos de textos relativos a la sección 8 de la FDS (en general) 1. En términos de toxicología y medicina ocupacional, todavía no es posible establecer valores límite específicos para las nanopartículas contenidas en el producto. 2. Para nanomateriales granulares biológicamente estables con una densidad inferior a 6000 kg / m³, no se debe sobrepasar una concentración de 40,000 partículas / cm³ para partículas entre 1 y 100 nm (recomendado por BGIA-GUV, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz / Institut für Arbeitsschutz der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, 30.6.2009). Control de la exposición Ejemplos de textos relativos a la sección 8 de la FDS (límite de exposición) 1. Reducir, por extracción en la fuente, la exposición a aerosoles que contienen nanopartículas. 2. Identifique las áreas de peligro (organice espacios separados, trabaje en una “caja de guantes”). 3. Solo permitir el acceso a áreas de trabajo donde los nanomateriales sean manipulados por personas formadas y competentes. 4. Minimice la frecuencia y la duración de las exposiciones, así como el número de personas expuestas. 5. Utilice un dispositivo de aspiración en la fuente equipado con un filtro de partículas (HEPA H 14). 6. Únicamente extraiga el aire del área de trabajo después de haberlo filtrado adecuadamente. 7. Elimine los depósitos de polvo que contienen nanopartículas mediante limpieza húmeda; el uso del aspirador, que debe ser adecuado, es solo una segunda prioridad (no proceder con soplado). 8. No guarde en los bolsillos de la ropa un paño de limpieza contaminado por un nano-producto. Equipo de protección individual (EPI) Ejemplos de textos relacionados con la sección 8 de la FDS (equipo de protección personal / PPE) 1. Protección respiratoria Si, durante la manipulación del producto, la liberación de nanopartículas (en forma de polvo o aerosoles) no se puede prevenir, se debe usar protección respiratoria con un filtro de partículas (filtro clase P-3), además de las medidas de protección técnicas. 2. Guantes Si no se puede evitar el contacto directo con nanopartículas (líquidos, sólidos o polvo), se deben usar dos capas de guantes superpuestos tanto como sea posible (según la situación, por ejemplo, guantes de protección frente a riesgos químicos combinados con guantes de látex o dos guantes desechables, etc.). Es importante, para estar bien protegido, ponerse y quitarse los guantes con cuidado y ponérselos de modo que cubran el extremo de la ropa protectora. El material del guante debe seleccionarse de acuerdo con las sustancias químicas manipuladas. Para sustancias que contienen partículas, la manipulación correcta es más importante que el tiempo de penetración de los guantes. Dos pares de guantes superpuestos proporcionan una mejor protección al quitarlos. 3. Ropa de protección. La ropa protectora de manga larga debe estar hecha de material de membrana (no tejido); Debemos evitar los tejidos. 4. Protección de los ojos. Para proteger los ojos, es necesario usar al menos gafas herméticas, pero una máscara completa obviamente proporciona una mejor protección.

Ejemplos de textos correspondientes a las secciones de la FDS en relación a los niveles de prioridad establecidos en la Tabla 17. Elaborados a partir de^[117]

Tabla 18

Nº SECCIÓN FDS	NIVEL DE PRIORIDAD Y SECCIONES DE LA FDS
13	Consideraciones relativas a la eliminación Ejemplos de textos relativos a la sección 13 de la FDS (reciclaje y eliminación) 1. Residuos especiales 16 03 05 S; contiene nanopartículas de plata liberables incrustadas en su material sintético (máx. 0,05%). 2. Residuos en polvo, que contienen nanopartículas, estabilizados en bolsas antiestáticas. 3. Residuos que contienen nanotubos de carbono (CNT). Se recomienda su eliminación por combustión a alta temperatura.

5.4 EJEMPLO DE FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD MODIFICADA INCLUYENDO TEXTOS RELACIONADOS CON EL NANOMATERIAL DE QUE SE TRATA

Esta ficha se adjunta como ANEXO Nº 1. al presente documento. Los textos específicos se han marcado en color azul. Esta Ficha de Datos Seguridad modificada se ha extraído de la fuente elaborada por la SECO^[118].

ETIQUETADO DE NANOMATERIALES

Hasta el presente, de manera general, las etiquetas de seguridad de nanomateriales, sustancias o mezclas que las incorporen, no disponen de un etiquetado específico. Es de aplicación el mismo etiquetado que debe llevar cualquier sustancia o mezcla química macroscópica (no nano).

No obstante, en ciertos ámbitos muy específicos, sí existe regulación concreta respecto a la presencia de nanomateriales, caso de los productos cosméticos (Reglamento EU 1223/2009 sobre Productos Cosméticos, y posteriores modificaciones^[119]), la cual exige que cualquier producto del sector que contenga nanopartículas debe indicarlo en la etiqueta. El Reglamento UE 528/2012 sobre Comercialización y uso de Biocidas^[120] también contiene especificaciones concretas para los productos

que contienen nanomateriales, y exige en aquellos casos una evaluación específica del riesgo para la salud humana y animal, así como para el medio ambiente; al igual que la necesidad de indicarlo en la etiqueta. Existen otros reglamentos generales que regulan su uso en otros productos, como el Reglamento UE 1169/2011 sobre Alimentos^[121], que también indica la necesidad de indicar el contenido de los mismos entre los ingredientes; o el Reglamento UE 10/2011 sobre Materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos^[122], el cual regula y especifica las condiciones de uso de nanomateriales en este tipo de productos.

06

EVALUACIÓN
DEL **RIESGO**



El planteamiento para abordar la evaluación de riesgos sería el utilizado habitualmente para los agentes químicos siguiendo los criterios y recomendaciones de la Guía de Agentes Químicos del INSST^[123] ^[124]. Según un informe de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), en línea con otras muchas publicaciones, parece que los actuales principios de valoración de riesgos son, en general, apropiados^[125]. Debido a las lagunas existentes en la información necesaria para la evaluación de riesgos es esencial recoger la máxima informa-

ción posible sobre los materiales, los procesos y los trabajadores potencialmente expuestos, documentarla y conservarla, es decir, como mínimo, lo requerido por la legislación actualmente aplicable^[123]. Las actuaciones deberán ir encaminadas, por tanto, a prevenir la exposición y, si no es posible, a reducirla al nivel más bajo técnicamente posible, y a controlarla mediante la aplicación de medidas de protección en el marco de la legislación laboral y con las orientaciones que puedan proporcionar organizaciones de reconocido prestigio^[123].

6.1 MODELOS CUALITATIVOS O SIMPLIFICADOS DE EVALUACIÓN

Estos modelos no están concebidos como una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición a agentes químicos sino como una herramienta adicional para el proceso de evaluación, siendo, en ocasiones, suficientes para alcanzar conclusiones sin recurrir a la evaluación cuantitativa. Se trata de modelos que los técnicos pueden emplear para realizar una primera aproximación o diagnóstico sobre la situación higiénica derivada de la presencia de agentes químicos y sobre las medidas preventivas necesarias en cada situación. Ello es especialmente útil en la fase de diseño de los procesos para determinar de qué instalaciones y condiciones es necesario disponer, anticipándose a cualquier exposición real, aunque su aplicación no se restringe solamente a esta circunstancia. Resulta también interesante su aplicación a agentes químicos que no tienen establecido un valor límite ambiental.

En los últimos años se han desarrollado muchos procedimientos simplificados y, aunque cada uno presenta sus peculiaridades, existe una base común tanto en la sistemática de evaluación como en la información manejada. Las variables más frecuentemente utilizadas por este tipo de métodos son:

- La peligrosidad del agente químico.
- La frecuencia de exposición.
- La cantidad utilizada o presente.
- La volatilidad o la pulverulencia.
- La forma de uso.
- El tipo de medida preventiva de control.

Para las variables empleadas se establecen una serie de clases o categorías cuya combinación permite clasificar las operaciones evaluadas en distintos niveles de riesgo. Normalmente este

nivel de riesgo va asociado a un nivel de control determinado, como la ventilación general, la extracción localizada o el confinamiento del proceso, de ahí su nombre genérico de “control banding” (“bandas de control”), aludiendo a los niveles de control necesarios en los que se clasifican las distintas operaciones. Un ejemplo de estas metodologías aplicadas a los nanomateriales sería **CB Nanotool 1.0**.

Por otro lado, existe otro grupo de metodologías enfocadas propiamente a la evaluación de riesgos (no al control de los mismos, como la anteriormente mencionada), y por ello incorporan variables relativas al tipo de medida preventiva presente o al tipo de proceso y su grado de encerramiento en el procedimiento de evaluación, para que este sea más completo. Es el caso de la metodología del **Stoffenmanager Nano**. Este método consiste en establecer, para cada variable, una serie de clases y una puntuación asociada para obtener, de este modo, un índice semicuantitativo que es el que indica el nivel de riesgo.

Los procedimientos de “control banding” fueron desarrollados al principio por la industria farmacéutica para evaluar la exposición a los productos utilizados en ella. Es algo similar a lo que sucede con el caso de la evaluación de la exposición a nanopartículas, donde los métodos de “control banding” adecuados son específicos para ello.

No se dispone de un nombre ampliamente aceptado para estos modelos en castellano y en la bibliografía se encuentran denominaciones tales como modelos simplificados, modelos empíricos, modelos cualitativos, modelos para la evaluación inicial, etc.

Hay que destacar que los modelos análogos al Stoffenmanager Nano no son estrictamente cualitativos sino semicuantitativos. Por otra parte, el término “simplificado” no debe interpretarse como un procedimiento que permita reducir los requerimientos de la evaluación de riesgos o tomar una vía rápida para conseguir exactamente el mismo fin^[124].

6.2 CRITERIO DE USO DE METODOLOGÍAS SIMPLIFICADAS^[124]

Hay que insistir aquí en el carácter complementario, respecto de la evaluación cuantitativa, que tienen estos modelos de evaluación del riesgo por exposición inhalatoria. Los métodos simplificados constituyen un buen modo de realizar la primera etapa de estimación inicial. Con ellos se pueden diferenciar las situaciones aceptables, es decir, donde el riesgo es leve, de aquellas que requieren una evaluación más detallada y/o la adopción de medidas correctoras. En los casos de riesgo leve sería posible dar por finalizada la evaluación en esta etapa y pasar a realizar el informe higiénico. Por el contrario, si se pusiese de manifiesto la necesidad de corregir la exposición, habría que aplicar medidas correctoras

que, una vez implantadas, llevarían a repetir la evaluación.

El ámbito de aplicación de este tipo de métodos sigue en aumento para conseguir abarcar nuevos problemas como es el caso de la exposición a nanopartículas, donde existe dificultad para establecer un valor límite^[126].

En las siguientes páginas adjuntamos el cuadro comparativo de algunas de las herramientas con los modelos cualitativos o simplificados para la ayuda de la evaluación del riesgo por exposición a Nanomateriales^[127].

Resumen de las herramientas de gestión de riesgos disponibles y sus características. Fuente:^[127]

Tabla 19

HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RIESGO	MÉTODO DE GESTIÓN DEL RIESGO	ÁREA DE APLICACIÓN	LIMITACIONES
Stoffenmanager Nano (neerlandés, inglés, finés) ^[128]	(1) Identificación del nanomaterial y enumeración de las propiedades de los nanomateriales. (2) Descripción de los procesos. (3) Descripción de la zona de trabajo. (4) Descripción de las medidas de control ya utilizadas. (5) Evaluación de riesgos resultante. (6) Creación de un plan de acción con medidas de control de riesgos	Nanomateriales fabricados insolubles (en agua) de tamaño menor de 100 nm y superficie específica mayor de 60 m ² /g. Abarca las nanopartículas primarias, los aglomerados y los agregados	(a) Si un nanomaterial pertenece a la clase de mayor peligro (E), tiene prioridad máxima sin importar cuál sea la exposición, ya que la herramienta se basa en un principio de precaución con respecto a los materiales más peligrosos. (b) Todas las fibras se asignan a la clase de mayor peligro (E). (c) Las medidas de control elegidas rara vez reducen el nivel real de riesgo especificado por la herramienta.
CB Nanotool 2.0 (inglés) ^[129]	Sistema de metodologías simplificadas habitual, con estimación de una banda de peligro (puntuación de gravedad del riesgo) y de una banda de exposición (puntuación de probabilidad) de la actividad, que se utilizan para determinar el nivel de riesgo global (cuatro niveles). La puntuación de gravedad del riesgo se calcula basándose en las características del nanomaterial y del material a escala macro. Para cada nivel de riesgo se recomienda un método de control.	Trabajo a escala de laboratorio; solo en situaciones con pequeñas cantidades de nanomateriales.	Los criterios de valoración toxicológicos que incluye la herramienta rara vez han sido estudiados; la banda de exposición abarca solamente unos pocos factores determinantes.
NanoSafer (danés, inglés) ^[130]	(1) Identificación del nanomaterial y de las propiedades del material a escala macro (tamaño de partícula, densidad y superficie), valores de LEP disponibles para el polvo respirable o mineral, índice de dispersión en forma de polvo e información toxicológica a partir de la FDS. (2) Identificación del proceso (manipulación de polvo o liberación accidental). (3) Determinación de la puntuación de evaluación. (4) Se proporcionan orientaciones sobre medidas de control.	Lugares de trabajo donde se manipulan nanomateriales en forma de polvo, así como liberación accidental de nanomateriales	La evaluación de peligro se basa en parámetros físicos y en FDS, que rara vez contienen información toxicológica sobre nanomateriales; la herramienta abarca solamente los nanomateriales en forma de polvo; disponible sólo en danés

Resumen de las herramientas de gestión de riesgos disponibles y sus características. Fuente:^[127]

Tabla 19

HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RIESGO	MÉTODO DE GESTIÓN DEL RIESGO	ÁREA DE APLICACIÓN	LIMITACIONES
Herramienta de metodologías simplificadas ANSES (francés, inglés) ^[131]	Esquema de metodologías simplificadas integradas con el sistema OHSAS 18001 (norma para sistemas de gestión de salud y seguridad en el trabajo): (1) Análisis de la información disponible (sobre el producto y el lugar de trabajo). (2) Asignación a una banda de peligro. (3) Asignación de un potencial de emisión. (4) Definición de un plan de acción. (5) Aplicación de un plan de acción. (6) Seguimiento rutinario. (7) Revisión de riesgos periódica. (8) Estudio científico y tecnológico para actualizar los conocimientos. (9) Registro de datos.	Todo tipo de entornos de trabajo	La información necesaria para la asignación a una banda de peligro (por ejemplo, actividad de la especie reactiva de oxígeno) puede ser difícil de obtener Disponible únicamente en su versión en papel
Orientaciones sobre seguridad en el trabajo con nanomateriales y nanoproductos (inglés) ^[132]	(1) Elaboración de un inventario de nanomateriales que se producen o se utilizan. (2) Clasificación de los potenciales peligros para la salud de los materiales que se producen o se utilizan. (3) Elaboración de un inventario de actividades que se llevan a cabo con nanomateriales. (4) Clasificación de la posibilidad de exposición de los trabajadores. (5) Obtención de la banda de método de control resultante para cada actividad con nanomateriales. (6) Preparación de un plan de acción. (7) Mantenimiento de un registro de los trabajadores que tratan con nanomateriales. (8) Investigación de si es posible realizar una vigilancia médica preventiva.	Para empresarios y trabajadores que trabajen con nanomateriales	Disponible únicamente en su versión en papel

Resumen de las herramientas de gestión de riesgos disponibles y sus características. Fuente:[127]

Tabla 19

HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RIESGO	MÉTODO DE GESTIÓN DEL RIESGO	ÁREA DE APLICACIÓN	LIMITACIONES
GoodNanoGuide (inglés)[133]	Se proporcionan orientaciones basadas en el nivel de conocimientos del usuario: básico, intermedio y avanzado. En la opción avanzada, el método de gestión de riesgos es: (1) identificar el potencial de peligro, (2) realizar una estimación de la exposición y (3) recomendar controles	El método es muy general y aplicable a muchas situaciones en las que se manipulan nanomateriales	Muchas páginas web de la herramienta están aún incompletas. Las orientaciones se basan en normativa de EE. UU. (por ejemplo, en lo que concierne a equipos de protección personal)

Liguori y otros[134], realizaron un estudio de una selección de metodologías de evaluación de riesgos para nanomateriales. A continuación presentamos una tabla resumen de algunas de las características de estas metodologías estudiadas por Liugoti.

Información relevante y características de aplicación de las herramientas de Control Banding consideradas en este estudio. Fuente:[134]

Tabla 20

DENOMINACIÓN DE LA HERRAMIENTA	DEFINICIÓN DE NM (REFERENCIA)	GRUPO OBJETIVO/ ALCANCE	NÚMERO TOTAL DE PARÁMETROS DE ENTRADA SOLICITADOS	NÚMERO DE PARÁMETROS DE ENTRADA UTILIZADOS			NÚMERO DE BANDAS DE CONTROL			“RESULTADO” RECOMENDACIONES SOBRE GESTIÓN DEL RIESGO	Ref.
				Nano Relevancia	Escala de peligro	Escala de exposición	Peligro	Exposición	Riesgo		
CB Nanotool	ASTM (a) (1)	Investigadores en nanotecnología/Evaluación y gestión de riesgos	45	-	15	5	4	4	4	Nivel de riesgo (RL). Recomendaciones generales.	[135] [136]
IVAM Guidance	Definición propia (2) con alguna extensión similar aEC (b) (3)	Trabajadores/Higiene Ocupacional	27	-	2	1	3	3	3	Control por nivel de bandas. Recomendaciones generales y referencias jerárquicas. Higiene Ocupacional.	[132]
Swiss Precautionary Matrix	ISO/TS 27687 (c) (4)	Empleados, consumidores y medioambiente/ Identificación de fuentes y reducción de riesgos	28	7	6	6	n.a.	n.a.	2	Necesidad de acción/ no acción	[137] [138] [139]

Información relevante y características de aplicación de las herramientas de Control Banding consideradas en este estudio. Fuente:^[134]

Tabla 20

DENOMINACIÓN DE LA HERRAMIENTA	DEFINICIÓN DE NM (REFERENCIA)	GRUPO OBJETIVO/ ALCANCE	NÚMERO TOTAL DE PARÁMETROS DE ENTRADA SOLICITADOS	NÚMERO DE PARÁMETROS DE ENTRADA UTILIZADOS			NÚMERO DE BANDAS DE CONTROL			“RESULTADO” RECOMENDACIONES SOBRE GESTIÓN DEL RIESGO	Ref.
				Nano Relevancia	Escala de peligro	Escala de exposición	Peligro	Exposición	Riesgo		
Stoffenmanager Nano	ISO/TS 27687 (c) SCENIHR. (2010) (d) (5)	Empresarios y empleados/ Priorizar riesgos de salud e implementación de medidas de control	47	-	2	26	5	4	3	Bandas de prioridad de riesgo. Clasificación de prioridad de acciones necesarias	[140]
ANSES CB Tool	ISO/TS 27687 (c) EC (b)	De pequeñas a grandes empresas / Prevención de la exposición.	10	1	5	3	5	4	5	Nivel de control (CL). Soluciones técnicas para la prevención de la exposición en puestos de trabajo.	[141] [142] [143]
NanoSafer	ISO/TS 27687 (c) EC (b)	PYME / riesgo precautorioevaluación	29	5	5	13	4	5	5	Nivel de riesgo (RL). Recomendaciones y acciones a tener en cuenta.	[144]

NOTACIONES EN LA TABLA

- a) ASTM International, 2012;
- b) Comisión European, 2011;
- c) ISO, International Organization for Standardization, 2008;
- d) SCENIHR, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, 2010.

(1) ASTM- definición

Dado que la nanotecnología es un campo en rápido desarrollo, será necesario reevaluar continuamente los términos y definiciones contenidos en esta norma, para fines de revisión cuando sea necesario. La intención de los términos y definiciones en esta norma es describir "... materiales que contienen características entre aproximadamente 1 y 100 nm y diferenciar aquellas propiedades diferentes de las propiedades encontradas en cualquiera de las moléculas o en el volumen (interior) de las más grandes, de tamaño micrométrico. "

(2) IVAM- definición

Una nanopartícula es una partícula con tres dimensiones en el rango de 1 a 100 nm. Una partícula fibrosa tiene dos dimensiones en el rango nano de 1 a 100 nm.

(3) ISO/TS 27687- definición

Nano-objeto: material confinado en una, dos o tres dimensiones en la nanoescala. Esto incluye las nanopartículas (las tres dimensiones en la nanoescala), las nanofibras (dos dimensiones en la nanoescala) y las nanoplacas (una dimensión en la nanoescala). Las nanofibras se dividen en nanotubos (nanofibras huecas), nanovarillas (nanofibras sólidas) y nanohilos (nanofibras eléctricamente conductoras o semiconductoras).

(4) CE- definición

Nanomaterial significa un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en la distribución de tamaño en número, una o más dimensiones externas están en el tamaño de rango de 1 nm-100 nm.

(5) SCENIHR- definición

Nanomaterial: cualquier forma de un material que se compone de partes funcionales discretas, muchas de las cuales tienen una o más dimensiones del orden de 100 nm o menos.

6.3 EJEMPLO DE MODELO CUALITATIVO O SIMPLIFICADO DE EVALUACIÓN DE APLICACIÓN A NANOMATERIALES. STOFFENMANAGER NANO

Esta metodología fue propuesta por Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), denominada Stoffenmanager Nano 1.0^[145], una herramienta desarrollada para priorizar distintas situaciones que suponen una exposición a MMN. Dicha metodología dispone de un programa online para su aplicación.

El sistema de valoración, de manera no extensiva ni exhaustiva, es el siguiente:

Stoffenmanager Nano 1.0^[145] presenta un esquema con dos bandas, una de exposición y una de peligro. Cada una de ellas lleva asociada una categoría y su combinación dará lugar a las bandas de riesgo.

El esquema de bandas de exposición está basado en el modelo de Cherrie^[146], que posteriormente fue actualizado por Cherrie y Schneider^[147]. El modelo descrito por estos últimos fue posteriormente modificado en Stoffenmanager Nano 1.0 para facilitar su manejo. El esquema de peligro es similar al descrito en el COSHH Essentials^[148], otro programa para la evaluación cualitativa de exposición a nanomateriales.

A continuación, se lleva a cabo una breve exposición de las distintas bandas de que se compone la metodología.

BANDA DE EXPOSICIÓN

Los factores que intervienen en el cálculo de la banda de exposición son los que se exponen a continuación, Figura 37^[149].

Banda de Exposición. Fuente:^[149]

Figura 37



Las bandas de exposición son cuatro y van desde la 1, exposición más baja, hasta la 4, exposición más alta. La clasificación en cada una de las cuatro bandas se realiza en base a las puntuaciones que se exponen en la siguiente tabla, Tabla 21^[149].

Puntuación de las bandas de exposición. Fuente:^[149]

Tabla 21

BANDA DE EXPOSICIÓN	RANGO DE PUNTUACIONES (B)
1	< 0,002
2	0,002 – 0,2
3	0,2 - 20
4	> 20

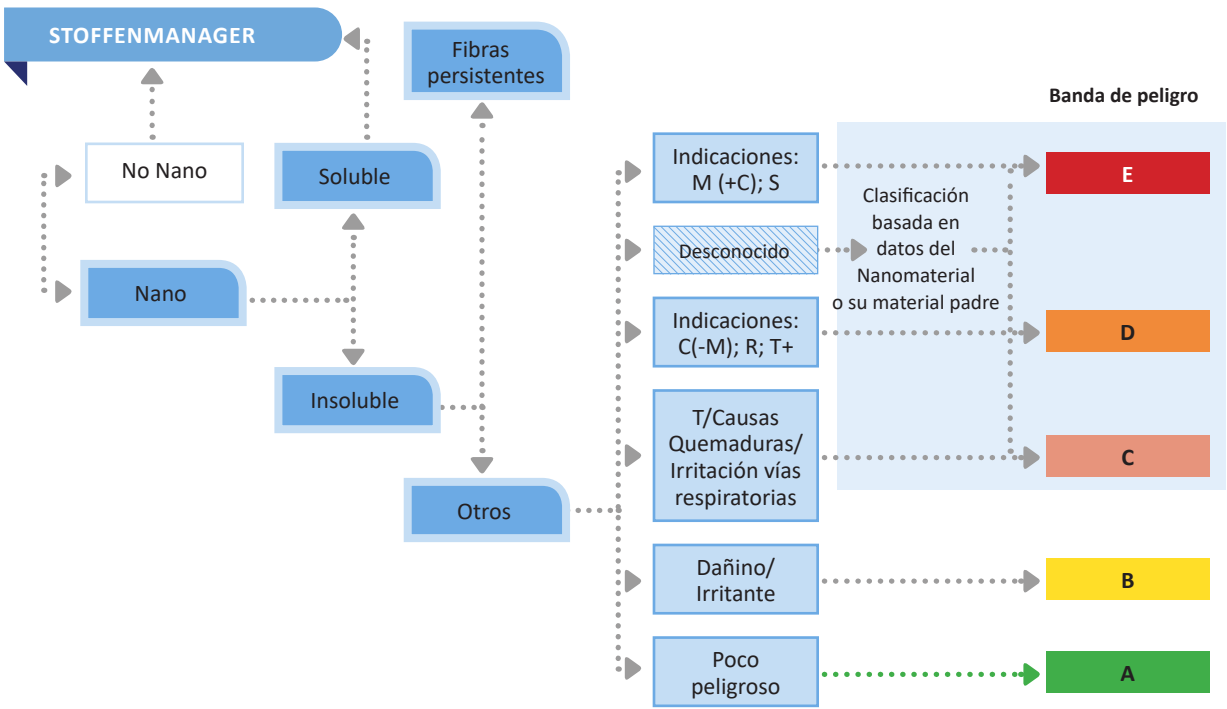
BANDA DE PELIGRO

La Clasificación general de peligros para Stoffenmanager Nano 1.0, Consta de 5 clases de peligro, bandas de peligro, para los MMN en función de la solubilidad en agua, la estructura (es decir, similar a la fibra o no), la longitud de la fibra y el

peligro del MMN en sí. Estas bandas de peligro se dividen en cinco y van desde la A a la E, siendo la E la clasificación de mayor peligrosidad. En la Figura 38 se esquematiza la clasificación en las distintas bandas de peligro^{[145] [150]}.

Esquema general de clasificación de las bandas de peligro. Fuentes:^{[145] [150]}

Figura 38

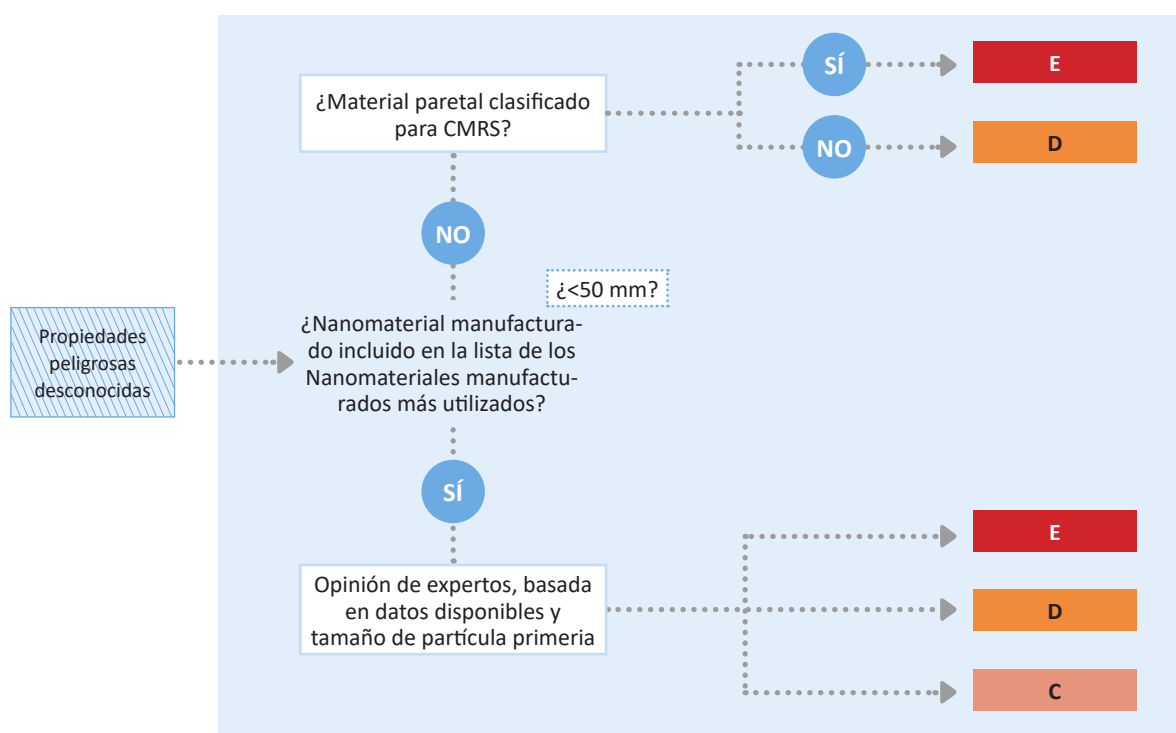


Como el peligro de los MMNs es desconocido, en una gran parte de casos, la banda de riesgo está determinada por el criterio de expertos (para partículas de uso común) o la clasificación del material original, es decir material padre, material en escala no nanométrica (otras partículas).

En la siguiente Figura 39 se esquematiza la clasificación en las distintas bandas de peligro, cuando el peligro del MMN es desconocido^[145].

Esquema de clasificación de las bandas de peligro cuando el MMN es desconocido.^[145]

Figura 39



BANDA DE RIESGO

En esta etapa final del método se combinan las bandas de exposición y peligro, dando lugar a las bandas de riesgo.

Estas bandas de riesgo proporcionan una clasificación relativa a los riesgos en las actividades desarrolladas por el trabajador.

En el caso de Stoffenmanager Nano 1.0^[145], el resultado de las bandas de riesgo debe considerarse como bandas de prioridad, en contraposi-

ción a lo que puede ocurrir en otros métodos de control banding, cuyo resultado origina bandas de control.

Por tanto, de la combinación de las cinco bandas de peligro y las cuatro de exposición, surgen las tres bandas de riesgo (bandas de prioridad). Van desde la 1 a la 3 siendo la banda 1 la de mayor prioridad y la 3 la de menor prioridad. Las posibles combinaciones se exponen en la siguiente Figura 40^{[145][150]}.

Bandas de riesgo. ^{[145], [150]}

Figura 40

Banda de peligro Banda de exposición	A	B	C	D	E
1	3	3	3	2	1
2	3	3	2	2	1
3	3	2	2	1	1
4	2	1	1	1	1

La asignación de las bandas de riesgo está hecha de tal manera que cuando la exposición sea a sustancias de elevado peligro (E), como fibras persistentes, se le asigne la mayor prioridad, independientemente del nivel de exposición.

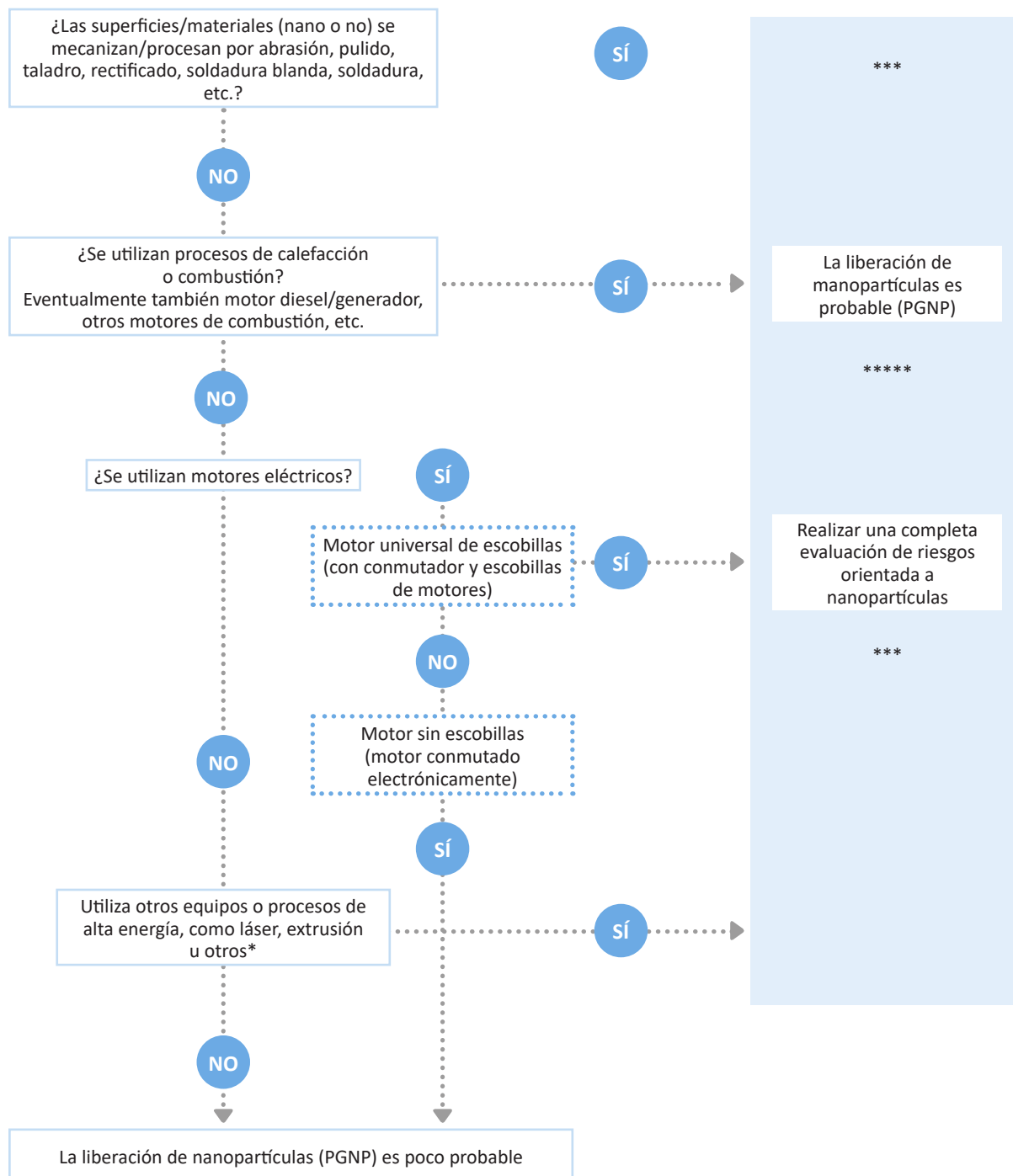
En el caso que los MMN sean desconocidos, se les asociará a bandas de riesgo alto si la exposición es alta.

6.4 ESTIMACIÓN DE QUE SE FORMEN **PGNP**, **MNM** Y **FCNP** EN LOS LUGARES DE TRABAJO

A continuación expondremos dos herramientas generales desarrolladas para la estimación de la probabilidad de formación de PGNP, MNM y FCNP en los lugares de trabajo^{[151][6]}.

Esquema orientativo para la Identificación de PGNP. Fuente:^{[151][6]}

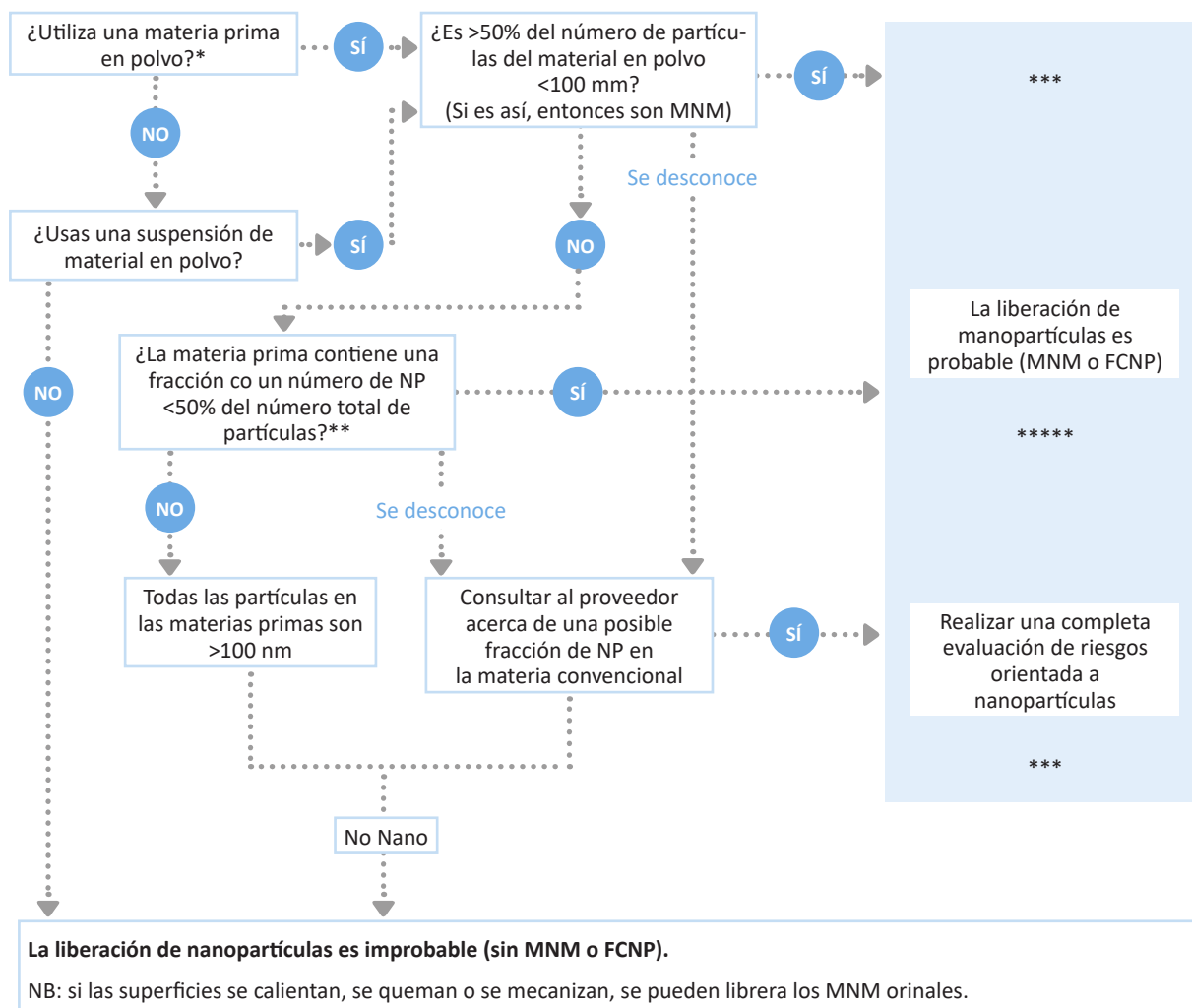
Figura 41



* En caso de duda, las mediciones pueden indicar si se generan PGNP

Esquema orientativo para la Identificación de MMN y PGNP. Fuente: [151][6]

Figura 42



* Estos pueden ser MNM, pero también se pueden usar de manera convencional materias primas como pigmentos inorgánicos, rellenos, aditivos (como agentes dispersantes, antioxidantes, etc.). La materia prima en sí misma puede ser en principio también una mezcla multicomponentes (paquete de aditivos).

07

VALORES LÍMITE
DE EXPOSICIÓN



7.1 VALORES LÍMITES OCUPACIONALES PARA **NANOMATERIALES** EN ESPAÑA

La dificultad para el establecimiento de OEL para nanomateriales radica en su gran heterogeneidad, en el continuo desarrollo de nuevos nanomateriales y, sobre todo, en la falta de información toxicológica adecuada procedente de estudios epidemiológicos y estudios a largo plazo con animales. Además, la comunidad científica todavía no ha llegado a un consenso sobre cuál es la métrica (número de partículas, área superficial, masa de las partículas) que mejor se relaciona con los efectos toxicológicos causados por los nanomateriales^[123].

En la actualidad, en España no hay límites de exposición profesional (LEP) aplicables a los nanomateriales. Los LEP establecidos para algunos agentes químicos, agentes no nano, (por ejemplo: grafito, sílice, dióxido de titanio, ciertos óxidos, etc.)^[152], no deberían utilizarse para las formas nano, ya que, aunque se trate de la misma composición química, las características de peligrosidad pueden ser diferentes^[123].

Por lo tanto, hasta que no se adopten valores límite ambientales de obligado cumplimiento, para nanomateriales, los valores existentes basados en protección de la salud y los valores de referencia recomendados para evaluar la efectividad de las medidas de control adoptadas, procedentes todos ellos de organizaciones de reconocido prestigio, se presentan como una buena alternativa para llevar a cabo la evaluación de riesgos de exposición por inhalación a nanomateriales^[123].

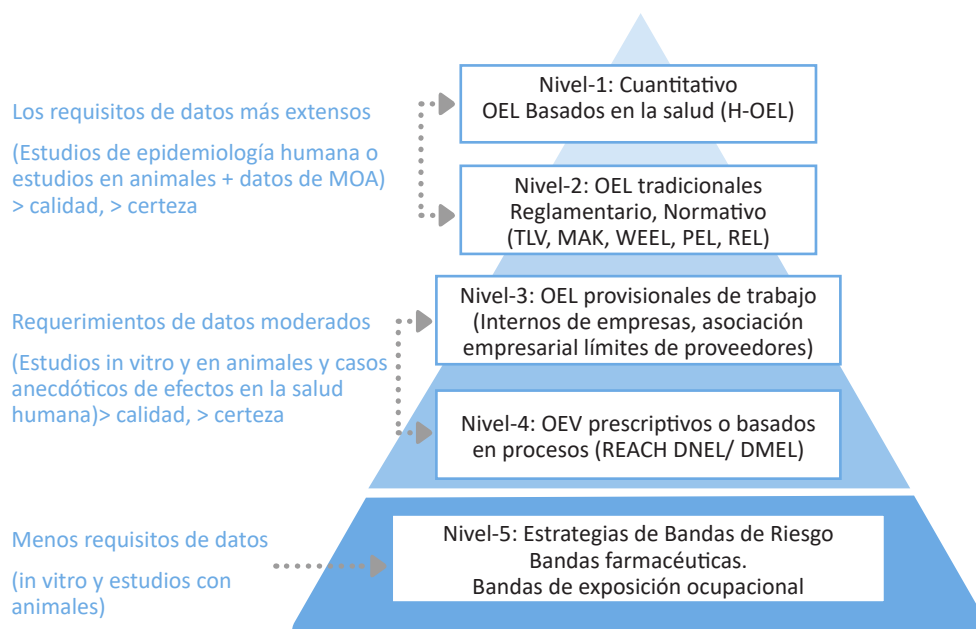
De la misma forma, parece complicado desarrollar valores límite para todos los nanomateriales que van apareciendo en el mercado, sobre todo si se pretende atender a diferencias de estructura, recubrimiento, carga superficial, etc., aspectos que parecen tener una influencia considerable sobre su toxicidad. Lo que sí parece un criterio común de todas estas organizaciones

es que en el momento actual de las investigaciones, y con objetivos preventivos, una alternativa apropiada es agrupar los nanomateriales por familias o grupos de afinidad en su composición o en su forma de presentación^[123].

7.2 ORDENACIÓN JERÁRQUICA DE OEL

Representación jerárquica de OEL basada en el riesgo. Una jerarquía de puntos de referencia de exposición ocupacional basados en el riesgo. A medida que se dispone de más datos toxicológicos y epidemiológicos, se asciende en la jerarquía. Fuente:^[153], adaptado y modificado en^[154]

Figura 43



NIVEL 1: OEL CUANTITATIVOS BASADOS EN LA SALUD

Los OEL en esta categoría se pueden usar para estimar la probabilidad de riesgo para la salud en exposiciones por encima y por debajo del OEL. A menudo se confía en los OEL cuantitativos basados en la salud para reducir la probabilidad de cáncer a un riesgo de población específico (por ejemplo, 1 de cada 1.000 casos de exposición en un nivel determinado). Conocer la probabilidad del riesgo para la salud es fundamental para la gestión del riesgo; por ejemplo, esta información ayuda a cuantificar el impacto neto en la salud de futuras reducciones de la exposición.

Este nivel se limita tradicionalmente a los productos químicos con conjuntos de datos epidemiológicos, que permiten el modelado directo de dosis-respuesta en el rango de riesgo de interés para entornos ocupacionales. Algunos PEL de OSHA y los límites de exposición (REL) recomendados por NIOSH se derivan en base a tales métodos. Además, algunos métodos recientemente propuestos pueden extender el desarrollo de OEL cuantitativos basados en la salud similares a los productos químicos con datos humanos limitados o basados en datos de toxicología animal.

NIVEL 2: OEL BASADOS EN LA SALUD

Los OEL en esta categoría reflejan un análisis integrado de todos los datos relevantes sobre los efectos en la salud, incluyendo epidemiología, toxicología y estudios mecanísticos. Este análisis identifica los efectos críticos para la salud, el comportamiento de dosis-respuesta para los efectos adversos sensibles y la extrapolación que da cuenta de las incertidumbres en los datos para estimar una dosis que protege a todos o casi a todos los trabajadores.

Los OEL en este nivel a menudo son derivados por comités de expertos que incorporan una revisión formal por pares. Entre los ejemplos se incluyen los TLV de ACGIH, los niveles de exposición ambiental en el lugar de trabajo (WEEL) de la Alianza Ocupacional para la Evaluación de Riesgos (OARS) y los Valores Límites de Exposición Ocupacional Indicativos (IOELV) del Comité Científico de la Unión Europea sobre Límites de Exposición Ocupacional (SCOEL).

En algunos casos, un OEL basado en la salud se modifica aún más para incorporar otros elementos de la política de riesgos, como la viabilidad técnica o económica. Los OEL basados en la salud representan la mayoría de los OEL utilizados por los higienistas industriales.

NIVEL 3: OEL PROVISIONALES DE TRABAJO

Muchas empresas tienen comités que derivan OEL para uso interno y para apoyar sus esfuerzos de gestión de productos. En general, estas empresas utilizan métodos coherentes como los comités de expertos para el establecimiento de OEL. Sin embargo, los OEL de la empresa pueden reflejar el uso de datos internos que no están disponibles para grupos externos y, a menudo, carecen de una revisión por pares externos independientes. Muchas empresas indican dichos límites en sus fichas de datos de seguridad.

NIVEL 4: OEV PRESCRIPTIVOS O BASADOS EN PROCESOS

Los valores de referencia de exposición cuantitativos alternativos (OEV que se utilizan de manera similar a los OEL para evaluar el riesgo de salud

de los trabajadores para escenarios definidos) pueden estar disponibles. En general, tales OEV utilizan un método de derivación prescrito. Si bien este enfoque es simple y transparente, carece de flexibilidad para integrar datos complejos.

Los niveles sin efecto derivados (DNEL) representan un ejemplo de dicho proceso. Los DNEL son obligatorios según el reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH) en Europa. Los DNEL deben usarse con precaución, ya que en su creación no se realizan revisiones formales entre pares, y no existen requisitos para garantizar la competencia de quienes realizan las derivaciones. (Las pautas de REACH también establecen que los DNEL no son equivalentes a los OEL formales basados en la salud y que no deben utilizarse como OEL).

NIVEL 5: OEV BASADOS EN CATEGORÍAS O RIESGOS (BANDAS DE RIESGO)

Para muchos productos químicos, los datos son demasiado limitados para obtener un OEL basado en la salud con el nivel de confianza deseado. En los casos en los que se debe evaluar un gran número de productos químicos, una metodología de detección es adecuada para las decisiones de gestión de riesgos, aunque puede haber datos adecuados para establecer un OEL. En cualquiera de las situaciones, los OEV basados en el peligro o la categoría que proporcionan rangos de exposición aceptables pueden emplearse para respaldar los procesos de evaluación y gestión de riesgos.

Los métodos para generar estos OEV son diversos. Una técnica, con un largo historial de aplicación y éxito en la industria farmacéutica, es la banda de riesgo o banda de exposición ocupacional (OEB). El enfoque de la OEB organiza los datos de efectos en la salud (incluidos los descriptores cualitativos) para varios parámetros y, en función de los criterios establecidos para cada parámetro, coloca un producto químico en una banda de riesgo. Para muchas organizaciones, las bandas de riesgo están alineadas con un rango provisional de OEL y procedimientos de control y gestión de riesgos predeterminados.

No hay un método de consenso publicado para establecer OEB, aunque existen muchas variaciones sobre el principio básico.

Existe un enfoque alternativo para los productos químicos con datos muy limitados. Este enfoque de umbral de preocupación toxicológica (TTC, por sus siglas en inglés) se basa en la

estructura química básica para asignar una guía de exposición de los rangos de riesgo derivados de grupos más amplios de sustancias químicas representativas. El TTC se usa ampliamente en las evaluaciones de seguridad alimentaria y farmacéutica, con una posible extensión a la salud y seguridad de los trabajadores.

7.3 VALORES LÍMITE OCUPACIONALES PROPUESTOS EN DIFERENTES PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA

Como en la actualidad no se han proporcionado OEL tradicionales (reglamentarios, normativos) para nanomateriales específicos a nivel de la UE u otros países^{[155] [156] [157] [158]} se han establecido valores de referencia genéricos, por parte de algunos países, para gestionar la exposición a nanomateriales en los lugares de trabajo. En la UE, son ejemplos de ello, el Reino Unido, sugiriendo los denominados niveles de exposición de referencia (BEL)^[159], en los Países Bajos se han desarrollado e implementado valores de referencia temporales (VRN)^[160], mientras que en Alemania los criterios de evaluación han sido formulados por^{[156] [157]}. Además, también se propuso un método para obtener un valor umbral para nanopartículas poco solubles con baja toxicidad^[161].

REINO UNIDO

En el enfoque del Reino Unido (Tabla 22), se han identificado cuatro tipos de peligro de nanopartículas, cada uno con su nivel de exposición de referencia^[159]. Están diseñados solo como niveles de guía pragmáticos y no deben asumirse como límites de exposición seguros en el lugar de trabajo. Sin embargo, Safe Work Australia los ha adoptado en Australia^[162].

Los BEL difieren de los estándares de exposición, que generalmente se basan en efectos conocidos sobre la salud y en los resultados de estudios epidemiológicos. El uso de los BEL apoya un enfoque de precaución para el control de las exposiciones.

Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[159]

Tabla 22

CATEGORIZACIÓN	NIVELES DE EXPOSICIÓN DE REFERENCIA SUGERIDOS (BEL)	COMENTARIOS
Nanomateriales fibrosos	0.01 fibras/ml	Ratio para fibras insolubles de OMS (3:1) (longitud > 5000 nm)
Nanomateriales CMAR	0.1x *WEL (material grueso)	Cualquier nanomaterial que ya esté clasificado en su forma de partícula gruesa como carcinógeno, mutagénico, asmagénico o reprotóxico.
Nanomateriales insolubles	0.066 x *WEL (material grueso) (a) O 20000 partículas/cm ³ (b)	Nanomateriales insolubles o poco solubles que no están en la categoría fibrosa o CMAR
Nanomateriales solubles	0.5 x *WEL	Nanomateriales solubles que no están en la categoría fibrosa o CMAR

*WEL (material grueso, no nano): Límite de exposición en el lugar de trabajo (es decir, estándar de exposición convencional) para la forma gruesa del producto químico.

(a) basado en el OEL para dióxido de titanio fino y ultrafino, derivado de^[163]

(b) basado en el nivel más bajo del rango de contaminación urbana del Reino Unido, en el momento, de 20000 a 50000 partículas/cm³

PAÍSES BAJOS

En el enfoque de los Países Bajos en referencia a los valores de referencia temporales (VRN), las nanopartículas se dividen en cuatro clases

diferentes basadas en la morfología y el tamaño de las partículas, la densidad y la biopersistencia (insolubilidad), cada una con su propio valor límite, estos valores se expresan en la siguiente tabla^[160].

Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[160][164]}

Tabla 23

CLASE	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	NRV (8-HORAS TWA)	EJEMPLOS
1	Nanofibras rígidas y biopersistentes para las cuales no se excluyen los efectos similares al asbesto		0.01 fibras/cm ³ (= 10000 fibras/m ³)	SWCNT, MWCNT u óxidos de metales fibrosos para los cuales el fabricante no excluye los efectos similares al asbesto.
2	Nanomateriales granulares biopersistentes en el rango de 1-100 nm	> 6000 kg/m ³	20000 partículas/cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe, Fe ₃ O ₄ , La, Pb, Sb ₂ O ₃ , SnO ₂
3	Nanomateriales biopersistentes, granulares y fibrosos en el rango de 1-100 nm	< 6000 kg/m ³	40000 partículas/cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, nanoarcilla, Negro de humo, C60, dendrímeros, poliestireno, nanofibras para los cuales se han excluido explícitamente los efectos similares al asbesto
4	Nanomateriales granulares no biopersistentes en el rango de 1-100 nm		Límite de exposición normal (Valor límite habitual para materiales gruesos (no nano))	Grasas, NaCl
NB	Para picos de exposición de corta duración $NRV_{15\text{-min TWA}} = 2 \times NRV_{8\text{-hour TWA}}$			

Actualmente, la discriminación entre las clases 2 y 3 está en debate, luego de la discusión sobre la métrica más apropiada (concentración en masa, número de partículas o área de superficie). En el mismo estudio se explora si estos

NRV son tan conservadores como se supone que deben ser^[165].

Hay argumentos convincentes para aplicar los NRV también en los PGNP y FCNP^[6]

ALEMANIA

Los valores de referencia alemanes para nanomateriales, vienen recogidos en la publicación del BAuA^[156] y actualizados posteriormente^[157].

Según BAuA, los valores límite ocupacionales basados en la salud para los nanomateriales fabricados no están disponibles en la actualidad.

No obstante, BAuA expone recomendaciones de varias organizaciones o fabricantes que entiende se pueden usar como criterios de evaluación de referencia después de una evaluación apropiada realizada por un experto.

Dichos valores de referencia actualizados, se exponen en la siguiente tabla.

Valores de referencia propuestos por BAuA.^{[156][157]}

Tabla 24

EDITOR	NANOMATERIAL	VALOR LÍMITE RECOMENDADO	FUENTE
Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA)	Nanomaterial granular biopersistente con densidad > 6000 kg/m ³	20000 partículas/cm ³ en el rango de medición de 1 a 100 nm	[166]
Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA)	Nanomaterial granular biopersistente con densidad < 6000 kg/m ³	40000 partículas/cm ³ en el rango de medición de 1 a 100 nm	[166]
Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA)	Nanotubos de carbono (CNT), donde no se pueden excluir las características de fibra de la OMS	10000 fibras/m ³	[166]
National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)	Dióxido de titanio (<100 nm)	0,3 mg/m ³ , 10 h/día y 40h/semana,	[163]
National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)	Nanotubos de carbono y fibras	0,001 mg/m ³ (medido como carbono)	[167]
Fabricante	Nanotubos de carbono de pared múltiple (MWNT)	0,05 mg/m ³	[168]

Respecto de los valores de referencia expuestos:

- Todos los sistemas incluyen una clase separada para fibras y nanotubos. Éstos son, bajo condiciones específicas que se asume que tienen efectos similares al asbesto para los cuales se indica una alta preocupación.
- El método del instituto alemán BAuA y el NRV de los Países Bajos, introducen un enfoque basado en el número de partículas, mientras que el BSI (*British Standards Institution*) lo utiliza como un punto de referencia alternativo.
- Tanto los sistemas BAuA como los *Nano Reference Values* (NRV) se centran explícitamente en los nanomateriales en el rango de 1 a 100 nm.

- Los *Nano Reference Values* mencionan explícitamente un enfoque hacia las exposiciones máximas a corto plazo, que es la forma común de exposición en el uso de nanomateriales manufacturados. Otros sistemas no abordan este problema.
- Las iniciativas de NRV están en curso para hacerlas aplicables también a PGNP y FCNP^[6], como ya comentamos con anterioridad.

Valores OEL para nanomateriales con alcance internacional. Propuesta de la Organización Mundial de la Salud.

A continuación, se expone una tabla, con una lista completa y actualizada de los valores propuestos de OEL para nanomateriales manufacturados (MNM) [155]. Los valores propuestos provienen de una amplia gama de instituciones

⁴Pasó de 0,007 mg/m³, en 2013 a 0,001 mg/m³, en 2016

y países. Algunos autores proponen un valor para todos los nanomateriales manufacturados (enfoque general), otros proponen un valor para un grupo de los mismos (enfoque categórico), pero la mayoría propone un valor para un MNM específico (enfoque específico).

La Tabla 25 recoge la propuesta planteada en 2016 por Mihalache^[169].

Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM.^[169], modificado por^[155]

Tabla 25

Categoría	Referencia de estudio	Nanomateriales y especificaciones	Denominación OEL	Concentración en masa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración de partículas (partículas/ml) (fibras/ cm^3)	Concentración de superficie (nm^2/cm^3)	Método de obtención
Exposición por inhalación: enfoque general de MNM							
MNM	[170]	Materia particulada fina ≤ 2500 nm	BOEL	30	ND	ND	Medioambiental
MNM	[171]	Partículas en suspensión procedentes de procesos nanotecnológicos	PCV	ND	3 times LBPC for more than 30 minutes	ND	Medioambiental
Exposición por inhalación: enfoque por categoría MNM							
CMAR	[159]	CMAR nanomateriales, NM	BEL	$0.1 \times \text{bulk WEL}$	ND	ND	Puenteo
Fibras	[172]	NM fibroso no enredado	Nivel de aceptación (por defecto), fracción respirable	ND	0,01	ND	Puenteo /agrupación
Fibras	[159]	NM fibroso	BEL	ND	0,01	ND	Puenteo /agrupación
Fibras	[173]	Nanofibras de carbono, CNF	OEL	ND	0,01	ND	Puenteo /agrupación
Fibras	[174]	Nanotubos de carbono, CNT, NM insoluble con alta relación de aspecto $> 3:1$	NRV	ND	0,01	ND	Puenteo /agrupación
Exposición por inhalación: enfoque general de MNM							
GBP	[172]	En operaciones con NM: GBP tamaño nano sin toxicidad específica	OEL fracción respirable, por defecto	500	ND	ND	Agrupación
GBP	[172]	Operaciones no específicas con NM: G	OEL fracción respirable	1250	ND	ND	Agrupación
GBP	[159]	Nanomateriales insolubles	BEL	$0.066 \times \text{bulk WEL}$	20000	ND	Puenteo
GBP	[161]	Partículas inhaladas poco solubles	DNEL	$0,5 \mu\text{l}$ de PM respirable/ m^3 $\times$ densidad de aglomerado	ND	ND	Categorico QRA/agrupación

Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM.^[169], modificado por^[155]

Tabla 25

Categoría	Referencia de estudio	Nanomateriales y especificaciones	Denominación OEL	Concentración en masa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración de partículas (partículas/ml) (fibras/cm ³)	Concentración de superficie (nm ² /cm ³)	Método de obtención
Exposición por inhalación: enfoque general de MNM							
GBP	[161]	Partículas inhaladas poco solubles	DNEL	0,5 μl de PM respirable/m ³ × densidad de aglomerado	ND	ND	Categorico QRA/agrupación
GBP	[174]	Metales y óxidos metálicos, biopersistente granular NM> 6000 kg/m ³	NRV	ND	20000	ND	Agrupación
GBP	[174]	Metales y óxidos metálicos, biopersistente granular NM< 6000 kg/m ³	NRV	ND	40000	ND	Agrupación
Polvo de baja toxicidad	[173]		OEL	300 (fracción respirable), 4000 (fracción inhalable)	ND	ND	Puenteo /agrupación
No biopersistente	[174]	NM granular no biopersistente 1–100 nm	NRV	Aplicable OEL, WEL	ND	ND	Puenteo
Soluble	[159]	Nanomateriales solubles	BEL	0,5 × bulk WEL	ND	ND	Puenteo
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Carbono	[175]	Nanotubos de carbono de paredes múltiples, MWCNT 10 nm	INEL	1	ND	ND	QRA
Carbono	[175]	MWCNT 140 nm	INEL	2	ND	ND	QRA
Carbono	[176]	Nanotubos de carbono, CNT	Concentración en el aire sin efecto	2,5	ND	ND	QRA
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Carbono	[177]	Grupo de nanotubos de carbono, SWCNT, DWCNT, MWCNT	OEL 15 años	30	ND	ND	QRA
Carbono	[167]	Todos los CNT y nanofibras	REL carbono elemental respirable	<1	ND	ND	QRA
Carbono	[178]	MWCNT Baytubes®	OEL, Fracción inhalable	50	ND	ND	QRA
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL inhalación crónica, efecto inmune sistémico	0,67	ND	ND	QRA

Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM.^[169], modificado por^[155]

Tabla 25

Categoría	Referencia de estudio	Nanomateriales y especificaciones	Denominación OEL	Concentración en masa µg/m³	Concentración de partículas (partículas/ml) (fibras/cm³)	Concentración de superficie (nm²/cm³)	Método de obtención
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Carbono	[180]	Negro de carbon, CB ultrafino	BMDL 45 años (dosimetría pulmonar, modelo 1)	120	ND	ND	QRA
Carbono	[180]	Negro de carbon, CB ultrafino	BMDL 45 años (dosimetría pulmonar, modelo 2)	240	ND	ND	QRA
Carbono	[175]	Fullerenos, C60	INEL	7,4	ND	ND	QRA
Carbono	[181]	Fullerenos, C60	OEL (PL) 15 años	390	ND	ND	QRA
Nanocelulosa	[173]	Nanocelulosa	OEL	ND	0.01	ND	Puenteo
Nanoarcillas	[173]	Nanoarcillas	OEL	300 (fracción respirable), 4000 (fracción inhalable)	ND	ND	Puenteo/agrupación
Nanoplata	[175]	Nano Ag	INEL Función pulmonar	0.33	ND	ND	QRA
Nanoplata	[175]	Nano Ag	INEL Función pulmonar otros efectos	0,67	ND	ND	QRA
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Nanoplata	[179]	Nano Ag	DNEL Exposición pulmonar, factor de extrapolación 10	0,098	1200	2,2 × 10 ⁶	QRA
Nanoplata	[179]	Nano Ag	DNEL Exposición pulmonar, factor de extrapolación 3	0,33	4000	7,2 × 10 ⁶	QRA
Nanoplata	[179]	Nano Ag	DNEL efecto hígado	0,67	7000	1,2 × 10 ⁷	QRA
Nanoplata	[182]	Nano Ag	MAC-TWA Fracción inhalable	10	ND	ND	QRA
Dióxido de silicio	[173]	Sílice amorfa, SiO ₂	OEL Fracción respirable	300	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[180]	TiO ₂	INEL	17	ND	ND	QRA

Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM.^[169], modificado por^[155]

Tabla 25

Categoría	Referencia de estudio	Nanomateriales y especificaciones	Denominación OEL	Concentración en masa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentración de partículas (partículas/ml) (fibras/ cm^3)	Concentración de superficie (nm^2/cm^3)	Método de obtención
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Dióxido de titanio	[180]	TiO ₂ ultrafino	BMDL 45 años (dosimetría pulmonar, modelo 1)	73	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[180]	TiO ₂ ultrafino	BMDL 45 años (dosimetría pulmonar, modelo 2)	140	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[163]	TiO ₂ ultrafino	REL (hasta 10 h/día, 40 h/semana)	300	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[183]	TiO ₂	OEL (PL) 15 años	610	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[184]	TiO ₂	MAC	300	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[185]	Alta reactividad superficial antasa-rutilo nanoescala TiO ₂	OEL	1000	ND	ND	QRA
Exposición por inhalación: enfoque MNM específico							
Dióxido de titanio	[185]	Baja reactividad superficial a nanoescala TiO ₂	OEL	2000	ND	ND	QRA
Dióxido de titanio	[185]	TiO ₂ de grado pigmentado, tipos de partículas	OEL	5000	ND	ND	QRA
Exposición dérmica							
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL Exposición crónica dérmica, factor de evaluación 3	5,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal	ND	ND	QRA
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL Exposición crónica dérmica.	17,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal	ND	ND	QRA
Exposición oral							
Carbono	[179]	Fullerita, mezcla de C ₆₀ + C ₇₀	DNEL exposición aguda oral	40 mg/kg de peso corporal	ND	ND	QRA
Carbono	[179]	C ₆₀ soluble en agua, polialquilsulfonado	DNEL exposición crónica oral	0,17 mg/kg de peso corporal	ND	ND	QRA

Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM.^[169], modificado por^[155]

Tabla 25

Categoría	Referencia de estudio	Nanomateriales y especificaciones	Denominación OEL	Concentración en masa µg/m ³	Concentración de partículas (partículas/ml) (fibras/cm ³)	Concentración de superficie (nm ² /cm ³)	Método de obtención
Exposición aguda a corto plazo							
MNM	[171]	Partículas en suspensión procedentes de procesos nanotecnológicos	PCV, medición única a corto plazo		5 veces el valor local de referencia de la partícula	ND	Medioambiental
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL inhalación aguda, efecto inmune sistémico	4,02	ND	ND	QRA
Carbono	[186]	Fullerenos, C ₆₀	INEL corto plazo, fracción inhalable	44,4	ND	ND	QRA
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL inhalación aguda, efecto pulmonar	201	ND	ND	QRA
Exposición aguda a corto plazo							
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL exposición aguda dérmica	106 µg/kg de peso corporal	ND	ND	QRA
Carbono	[179]	MWCNT	DNEL exposición dérmica aguda, factor de evaluación 3	35,5 µg/kg de peso corporal	ND	ND	QRA

NOTAS ACLARATORIAS REFERENTES A LA TABLA:

AGS: Comité Alemán de Sustancias Peligrosas;

BEL: nivel de exposición de referencia;

BMDL: dosis de referencia más baja (límite de confianza del 95% de la dosis de referencia);

BOEL: nivel de exposición laboral de referencia; BSI: British Standards Institute;

CMAR: carcinógeno, mutagénico, asmagénico o tóxico para la reproducción;

CNF: nanofibra de carbono;

CNT: nanotubo de carbono;

DNEL: nivel sin efecto derivado;

DWCNT: nanotubos de carbono de doble pared;

GBP: partículas biopersistentes granulares;

INEL: nivel sin efecto indicativo;

LBPC: concentración local de partículas de fondo;

MAC: concentración máxima admisible;

MAC-TWA: concentración máxima admisible promedio ponderado en el tiempo;

MNM: nanomaterial manufacturado;

MWCNT: nanotubos de carbono de paredes múltiples;

ND: sin datos;

NIOSH: Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (Estados Unidos);

NM: nanomaterial;

VRN: valor de referencia nano;

OEL (PL): límite de exposición ocupacional por periodo limitado;

OEL: límite de exposición ocupacional;

PCV: valores de control de partículas;

QRA: evaluación de riesgo cuantitativa tradicional;

REL: límite de exposición recomendado;

SWCNT: nanotubos de carbono de pared simple;

WEL: límite de exposición laboral.

En referencia a la utilización de la tabla OMS, recomienda al usuario tener en cuenta que los OEL referenciados, en la tabla, no implican un nivel seguro por debajo del cual no se produzcan efectos adversos para la salud, ya que todos se basan en la extrapolación de la investigación con animales u otros campos como la contaminación del aire, ya que solo hay datos muy limitados disponibles sobre los efectos a largo plazo de la salud humana^[155]. Los usuarios deberán elegir el mejor valor de OEL aplicable. Esto, según OMS, es similar a la selección de OEL para “materiales gruesos”.

Para la ayuda en la selección de OEL, se recomienda contemplar lo explicitado en el apartado, del presente manual, “Ordenación jerárquica de OEL”, extraído de^[153] y ^[154], este último llevó a cabo ligeras modificaciones sobre el anterior. Esta es una recomendación también contemplada en^[155], para la selección de OEL.

Para una mejor comprensión de algunos de los términos, de la anterior tabla, adjuntamos una serie de términos, directamente relacionados con el método de obtención de los OEL, explicitados en la tabla de la OMS. Dichos términos han sido extraídos de la metodología expuesta por^[169], para analizar los procesos de obtención de OEL.

En análisis llevado a cabo se agruparon los OEL por MNM o grupo de MNM y se analizó por OEL qué proceso se utilizó para obtener el valor de OEL. La clasificación de procesos de derivación se llevó a cabo según Gordon et al 2014 ^[187], que fue adaptado por^[169], según:

- La evaluación de riesgo cuantitativa tradicional (QRA) se define como un enfoque escalonado que comienza con la evaluación de los datos toxicológicos de la sustancia y la selección de una dosis, generalmente una “dosis de referencia” o de “nivel de efecto adverso no observado” para usar como punto de partida para calcular una concentración equivalente humana y aplicando diversos factores de incertidumbre y modificación que finalmente llegan a un OEL.
- El puenteo (en inglés *puenting*) o lectura transversal (en inglés *read across*) se define como la aplicación de información de peligro de un material (nano o no nano) para predecir los peligros de otro material ^{[188][189]}. A pesar de que los métodos se han recomendado para materiales gruesos (no nano) para ahorrar tiempo, dinero y animales, no hay consenso sobre cómo hacerlo^[188].
- Uso de límites de exposición ambiental para partículas^[190]
- La agrupación (en inglés *grouping*) se define como un enfoque que agrupa a los MNM en función de un aspecto común del material^[189]. Aunque la agrupación debe basarse en principios similares a los de lectura transversal, creemos que es importante distinguir la agrupación de la lectura transversal para un material.

08

RECOMENDACIONES
SOBRE VIGILANCIA
DE LA SALUD.
MEDIDAS
PREVENTIVAS



8.1 VIGILANCIA DE LA SALUD EN RELACIÓN A LA EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES

Los controles de salud periódicos para los trabajadores expuestos son un componente esencial de la salud ocupacional. Según P. Schulte^[18] la vigilancia de la salud ocupacional es la recopilación, el análisis y la difusión sistemáticos de la exposición y los datos de salud de grupos de trabajadores con el fin de detectar precozmente enfermedades y lesiones, así como las tendencias o los patrones de ocurrencia que probablemente conducen a la prevención de enfermedades posteriores^[18]. En general, la vigilancia de la salud conduce a acciones preventivas.

La Directiva 89/391/CE sobre seguridad y salud en el trabajo^[191] tiene como objetivo garantizar que se tomen medidas preventivas esenciales, como la vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos incurridos en el trabajo (OIT, 2018), mientras que el artículo 10 de la Directiva 98/24/CE sobre productos químicos^[192] establece un marco más detallado para la vigilancia de la salud, incluidos los requisitos para los registros individuales de salud y exposición que se introducirán a nivel nacional.

Un documento de orientación emitido por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) señala que existe una relación clara entre la vigilancia de la salud de los trabajadores y las medidas de control en el lugar de trabajo, y que se necesita un enfoque médico (OIT 1998). Los programas de vigilancia de la salud deben utilizarse con fines de prevención; el alcance y los propósitos deben ser lo suficientemente amplios como para provocar y abordar nuevos problemas y tener lugar bajo condiciones controladas, asegurando que:

- Independencia profesional e imparcialidad de los profesionales de salud relevantes;

- La privacidad de los trabajadores y la confidencialidad de la información de salud individual.

Por lo tanto, la vigilancia médica a largo plazo puede servir como un sistema de alerta temprana para los posibles efectos a la salud relacionados con la exposición.

Esto significa que la vigilancia médica está adquiriendo una importancia creciente y es vital una mejor comprensión de los nanorriesgos relacionados con el trabajo. Existe un consenso en la literatura científica sobre la configuración de reconocimientos médicos no específicos para trabajadores expuestos a nanopartículas, y se deben hacer arreglos para ayudar a evaluar si las medidas de control están funcionando y son aptas para identificar problemas nuevos o no reconocidos y los efectos en la salud^{[193][194][195][196]}.

Los medios más comunes de vigilancia de la salud son los reconocimientos médicos. Pueden ser de utilidad limitada en el momento actual debido a que los puntos finales de salud que pueden estar vinculados a nanopartículas manufacturadas no son bien conocidos. Pero sin duda serán útiles en el futuro para observar los parámetros de salud y establecer estudios epidemiológicos. Por ejemplo, las pruebas de salud del sistema pulmonar de los trabajadores expuestos a las nanopartículas deben recomendarse porque las revisiones bibliográficas de toxicología confirman las suposiciones sobre el comportamiento de las fibras largas en la pleura, lo que señala a los nanotubos de carbono como un nuevo riesgo pleural potencial^[197]. No obstante, aunque los riesgos para la salud causados por los MNM no se han confirmado en humanos, las pruebas que se acumulan a partir de estudios en animales sugieren que la exposición a algunos MNM podría ser perjudicial^[198].

Además de la vigilancia médica, la vigilancia de riesgos implica identificar prácticas, tareas o exposiciones potencialmente peligrosas en el lugar de trabajo y evaluar hasta qué punto pueden relacionarse con los trabajadores, la efectividad de los controles y la confiabilidad de las medidas de exposición.

De acuerdo con Bergamaschi^[199], la evaluación de los posibles efectos en la salud de la exposición a los NM requiere un enfoque gradual que tenga en cuenta el conocimiento de la probabilidad de una exposición conocida, el seguimiento de los cambios de dicha exposición caracterizada a lo largo del tiempo por los registros de exposición, investigaciones epidemiológicas, y posiblemente aplicando biomarcadores seleccionados.

Hasta la fecha, el conocimiento científico sobre los efectos en la salud de la mayoría de los nanomateriales es limitado, y el número de estudios epidemiológicos sobre la exposición de los trabajadores a los ENM es escaso, con no más de 15 estudios realizados en todo el mundo. Por lo tanto, existe la necesidad de evaluar el riesgo de efectos adversos para la salud de los trabajadores que manejan ENM, y recomendar marcadores biológicos, así como resultados pre-clínicos y clínicos que podrían ser útiles para su examen periódico para prevenir efectos tardíos e identificar problemas en relación a la prevención de enfermedades^{[199][18]}.

El Instituto Francés de Vigilancia de la Salud Pública está realizando un estudio de vigilancia epidemiológica en las estaciones de trabajo que potencialmente causan exposición a los MNM (EpiNano).

Este programa nacional francés de vigilancia epidemiológica tiene como objetivo estudiar los efectos en la salud a medio y largo plazo posiblemente relacionados con la exposición ocupacional a las nanopartículas de CNT o TiO₂. Este programa propone el uso de un libro de registro técnico en la empresa para identificar aquellas áreas de trabajo donde es probable que ocurra una exposición a los nanomateriales manufacturados, en las evaluaciones de la exposición del lugar de trabajo para identificar tareas específicas (matriz de exposición al trabajo) y la identificación de los trabajadores de interés.

La información recuperada dentro de EpiNano se introducirá en un registro de exposición que contiene información sobre los niveles de exposición en varias operaciones durante la producción, el procesamiento o el uso de MNM en entornos ocupacionales.

NIOSH propuso una serie de recomendaciones para el examen médico de los trabajadores expuestos a la CNT o CNF, que incluyen las siguientes prácticas^[195]:

1. Un examen médico inicial y recopilación de información sobre historias médicas y ocupacionales, tales como:

- Historial médico.
- Estado respiratorio.
- Alergias.
- Radiografía de tórax (CXR), espirometría.

2. Exámenes médicos periódicos a intervalos programados regularmente, incluidas las pruebas de detección médica específicas cuando sea necesario. Por ejemplo:

- Piel.
- Función pulmonar.
- Imagen de tórax.
- Alergias.
- Específico a la naturaleza, como cuando se trabaja con metales.

3. Exámenes médicos frecuentes y detallados sobre la base de los resultados de los exámenes anteriores.

4. Exámenes post-incidentes y exámenes médicos después de aumentos incontrolados o no rutinarios en exposiciones tales como derrames.

5. Proporcionar capacitación a los trabajadores para reconocer los síntomas de exposición a un peligro dado.

6. Producción de un informe escrito sobre hallazgos médicos.

7. Implementación de las acciones del empresario en respuesta a la identificación de peligros potenciales.

NIOSH no recomienda exámenes médicos específicos para trabajadores potencialmente expuestos a otros MNM, ya que actualmente no hay pruebas científicas y médicas suficientes sobre los efectos en la salud.

Se necesitan más estudios observacionales en trabajadores ocupacionales expuestos para llevar a cabo estudios epidemiológicos estrictamente controlados. Los estudios epidemiológicos deben considerar los biomarcadores biológicos (BM) como indicadores de resultados de enfermedades específicas de la exposición.

BIOMARCADORES PARA MNM.

La bibliografía sobre nanotoxicología ya publicada incluye pistas sobre biomarcadores exploratorios que pueden usarse para establecer asociaciones estadísticas biológicamente plausibles entre la exposición y los efectos sobre la salud. La tabla nº 26 sugiere una lista de biomarcadores exploratorios utilizados en los estudios epidemiológicos actuales realizados en trabajadores expuestos a ENM.

Biomarcadores exploratorios obtenidos de estudios epidemiológicos publicados de ENM^[200]

Tabla 26

RESPUESTA	BIOMARCADORES EXPLORATORIOS
Efecto cardiovascular	VCAM- Molécula de adhesión celular vascular ICAM - Molécula de adhesión intercelular hsCRP - Proteína C reactiva altamente sensible MPO – Mieloperoxidasa Paraxonasa
Efectos pulmonares	Neumoproteínas séricas (CC16) Proteína B asociada al surfactante (SP-B) FENO- óxido nítrico exhalado fraccional Krebs Von den Lungen 6 (KL-6) (Cáncer de los pulmones 6 (KL-6)) Macrófago inflamatorio de proteína-1β Esputo IL-1 β Interleucina-8 (IL-8)
Estrés oxidativo	Enzimas antioxidantes decrecidas (SOD, GPX) Marcadores EBC de oxidación de lípidos (MDA, HNE, HHE, 8-isoprostano, n-hexanal, C6-C12) Marcadores de oxidación de ADN y proteínas (8-OHdG, 8-OHG, 5-OHMEU, 3-NOTyr, 3-NOTyr, o-Tyr)

8.2 ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS PARA LA EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES. MEDIDAS GENERALES

La mayoría de los métodos técnicos de control de exposición (por ejemplo, cajas de guantes, sistemas de eliminación de polvo, vitrinas, buenas prácticas de higiene y equipo de protección personal) se pueden aplicar a los MNM, ya que estas medidas se basan en las propiedades generales de los materiales a nanoescala y no en su nanopropiedades específicas (Tabla 27). Sin embargo, su desempeño en el control de la

exposición a los MNM debe evaluarse por separado desde su efectividad hacia otras formas, ya que las medidas de control que han demostrado ser efectivas para controlar la exposición a partículas tradicionales podrían dar resultados insatisfactorios en el caso de las partículas a nanoescala^[201].

El sistema de clasificación propuesto para las alternativas tecnológicas y las medidas de gestión de riesgos de los MNM^[202]

Tabla 27

CONTROLES DE PRODUCTO / SUSTANCIA	
Sustitución de material peligroso	Modificación superficial
Limitar la concentración de ingredientes peligrosos	Incrustación en matriz
Cambio de forma física y solubilidad	Embalaje
Cambio en las propiedades fisicoquímicas	Granulación, agregación controlada, purificación
CONTROL DE PROCESOS Y RESIDUOS	
Cambio de condiciones ambientales (por ejemplo, humedad)	Reducción/limpieza de emisiones al aire
Automatización	Reducción/limpieza de residuos generales
Sistemas de contención - humectación en el punto de liberación	Eliminación de residuos generales
Uso de transporte mecánico	Reducción/limpieza de residuos nanoespecíficos
CONTENCIÓN DEL OPERADOR (POR EJEMPLO, CABINA CON AIRE FILTRADO PARA EL OPERADOR)	
CONTROLES DE INGENIERÍA (CERRAMIENTO, AISLAMIENTO Y VENTILACIÓN)	
Contención física (por ejemplo, cubiertas, sellado)	Bolsas de guantes, cajas de guantes
Campanas de aspiración	Operaciones encerradas (aisladas)
Cabinas de bioseguridad	Operaciones selladas
SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	
Ventilación general mecánica	Ventilación por dilución
Ventilación natural	Cabinas y bancos con flujo laminar
BUENAS PRÁCTICAS DE TRABAJO Y CONTROLES ADMINISTRATIVOS	
Limpieza y mantenimiento de equipos de proceso	Sistemas de gestión
Aspiradora con un filtro de aire (por ejemplo, HEPA)	Prácticas operativas
Medidas de contención de derrames	Supervisión
Limpieza del lugar de trabajo	Seguimiento
Instalaciones de higiene personal	Vigilancia de la salud
Áreas de proceso restringidas o prohibidas	Formación de los trabajadores
CONTROLES DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	
Protección del cuerpo	Protección cara / ojos
Protección de las manos	Protección de los pies
Protección respiratoria	

8.3 CONTROLES RELACIONADOS CON SUSTANCIAS

A pesar de la eficiencia y la sostenibilidad de las medidas de seguridad intrínsecas, su uso actual para reducir los riesgos de MNM es limitado debido a los efectos desconocidos de la manipulación de las nano-características en la funcionalidad deseada^[202].

- La sustitución debe considerarse como una opción de control primario para los MNM con un alto nivel de toxicidad (por ejemplo, MNM carcinogénicos o mutagénicos).
- Siempre que sea posible, se deberían preferir los métodos de procesamiento de partículas de bajo contenido en polvo y los métodos de procesamiento con bajo contenido de polvo.
- Se debe preferir el uso de MNM encapsulados en forma micro / macro o fuertemente adheridos a un sustrato en lugar de las formas que pueden emitirse al aire.

- El recubrimiento de la superficie de MNM a base de metales con sustancias orgánicas apropiadas tiene un gran potencial para reducir los efectos peligrosos.

8.4 CONTROLES DE INGENIERÍA

Actualmente, las medidas de control de ingeniería más frecuentemente empleadas para reducir la exposición a los ENM son la extracción localizada^[202].

Cuando no hay información sobre la eficiencia de las medidas de control específicas de los MNM, las eficiencias predeterminadas proba-

blemente se pueden usar para propósitos de evaluación inicial, aunque no se deben considerar exhaustivas.

Datos recopilados de los proyectos revisados referentes a eficiencia de las diferentes medidas de control para los MNM se dan en la Tabla 28.

Puntuaciones para reducir la exposición a través de medidas de protección, Marcoulaki^[19]. Fuente:^[202]

Tabla 28

MEDIDAS DE GESTIÓN DEL RIESGO	PUNTUACIÓN	MEDIDAS DE GESTIÓN DEL RIESGO	PUNTUACIÓN
Ventilación general		Controles localizados	
Sin ventilación general, volumen del recinto < 100m ³	10	Sin medidas de control	1
Ventilación mecánica y / o natural, volumen del recinto < 100m ³	3	Limitación de la emisión (por ejemplo, humedecer un polvo, rociar agua)	0,3
Cabina de pulverización a pistola volumen del recinto < 100m ³	0,1	Extracción localizada	0,3
Sin ventilación general, volumen del recinto = 100-1000m ³	3	Contención de la fuente sin extracción localizada	0,3
Ventilación mecánica y / o natural, volumen del recinto= 100-1000m ³	1	Contención de la fuente con extracción localizada	0,03
Cabina de pulverización a pistola, volumen del recinto= 100-1000m ³	0,3	Caja o bolsa de guantes	0,001
Sin ventilación general, volumen del recinto > 1000m ³			
Ventilación mecánica y / o natural, volumen del recinto > 1000m ³			
Cabina de pulverización a pistola, volumen del recinto > 1000m ³			

NOTA INTERPRETATIVA DE LA TABLA

En general, una puntuación de 1 se considera el valor predeterminado que conduce a una cierta concentración. Los valores > 1 indican situaciones con mayor exposición y valores < 1 situaciones con exposición reducida).

- Cuando no hay / potencial bajo para la liberación en el aire (por ejemplo, los MNM unidos en matriz sólida), no se necesitan controles de ingeniería avanzada.
- Cuando existe un potencial moderado para la liberación en el aire (por ejemplo, MNM en suspensiones líquidas), el trabajo en la campana de extracción de gases, la cabina de seguridad biológica o la eliminación de las emisiones en el aire a través de la ventilación por extracción localizada suele ser suficiente.
- Cuando existe un alto riesgo de exposición en el aire (por ejemplo, MNM en forma de polvo), el trabajo debe realizarse en un sistema cerrado como una caja de guantes o bolsas de guantes.

A continuación se proporcionan recomendaciones más específicas para elegir los controles de ingeniería óptimos cuando se manejan MNM [202].

1. Cuando las medidas de seguridad intrínsecas (por ejemplo, la eliminación y la sustitución) no son viables, la segunda mejor opción para el manejo seguro de MNM es implementar medidas de control de ingeniería.
2. La elección de los controles de ingeniería en los lugares de trabajo debe realizarse en función del estado del nanomaterial (por ejemplo, la forma física y las propiedades), el nivel de preocupación sobre un peligro en particular (por ejemplo, bajo, medio, alto), el potencial de exposición (por ejemplo, bajo, medio, alto) y las rutas principales de exposición (por ejemplo, inhalación, absorción dérmica e ingestión).
3. El control de ingeniería más deseable para los procesos con MNM es el aislamiento de las fuentes de emisión para evitar la exposición del trabajador a los MNM mediante la colocación de una barrera entre el trabajador y el peligro.
4. Trabajar con MNM secos requiere una atención muy cuidadosa. Idealmente, deben manejarse en una caja de guantes, una campana de extracción de gases, una cabina de seguridad biológica o un recinto ventilado y filtrado.
5. Los MNM que están encapsulados en un sólido o unidos en una matriz tienen un bajo potencial de exposición local, ya que no pueden dispersarse en el ambiente.
6. Cuando existe un riesgo significativo en el aire, las emisiones deben capturarse y eliminarse lo más cerca posible de la fuente mediante el uso de ventilación por extracción localizada o campanas de extracción.
7. Se debe emplear la combinación de aislamiento y ventilación si se necesita un aumento en la eficiencia del control de la exposición.

8.5 CONTROLES ADMINISTRATIVOS

Actualmente, los métodos de limpieza empleados con mayor frecuencia son la limpieza húmeda y la aspiración (aspiradora con filtro HEPA) cuando se trata de MNM.

Las siguientes recomendaciones fueron extraídas del Risk Management of Nanomaterials ^[202] y Roadmap for Occupational safety Inrelation ^[17]:

- Al manipular MNM secos, todas las superficies que están potencialmente contaminadas con MNM deben limpiarse con una aspiradora con filtro HEPA con eficacia de filtración verificada.
- Los contenedores que contienen MNM deben mantenerse cerrados al máximo posible.
- La limpieza de superficies y equipos contaminados debe llevarse a cabo utilizando un paño húmedo, mientras que la limpieza con aire comprimido debe evitarse.
- Se debe tener especial cuidado con el manejo y desecho de los filtros / paños.
- Se debe impartir formación especializada a los trabajadores sobre la forma más segura de manejar los MNM y las propiedades peligrosas particulares de los MNM manejados.
- La efectividad de las medidas de reducción de riesgo implementadas debe ser objeto de seguimiento y revisada regularmente.
- Proporcionar medidas de control adicionales (por ejemplo, el uso de un área o franja de protección, instalaciones de descontaminación para los trabajadores, si el peligro lo justifica) para garantizar que los nanomateriales no se transporten fuera del área de trabajo.
- Proporcionar instalaciones para ducharse y cambiarse de ropa para evitar la contaminación involuntaria de otras áreas (incluido lo que se llevan a casa, ropa de trabajo) causada por la transferencia de nanomateriales en la ropa y la piel. ^[195]
- Elaboración de un plan de emergencia específico para derrames o accidentes.
- Elaboración de un plan específico de gestión de residuos.
- Rociar agua en el lugar de la construcción (tajo de trabajo), para que el polvo se adhiera a las estructuras sólidas o al suelo.
- Reducir la energía en los procesos de mezcla al agregar nanoaditivos, para reducir las posibles divisiones (fabricación de productos de construcción (fuera del sitio) o preparación del material de construcción final a partir de un material de construcción convencional y un aditivo que contenga MNM (fuera del sitio o en el sitio)).

Categorías tóxicas basadas en las propiedades fisicoquímicas relevantes de los nanomateriales.**Fuente: ITENE^[200]**

Tabla 29

PROPIEDADES	EXTREMADAMENTE TÓXICO	MUY TÓXICO	MODERADAMENTE TÓXICO	LIGERAMENTE TÓXICO	NO TÓXICO
Efectos de la forma gruesa (no nano)	Sustancias carcinógenas, mutagénicas y reprotóxicas.	Sustancias mutagénicas y reprotóxicas	Irritante / sensibilizante de la piel. Mutagenicidad (cat. 2)	Sensibilizante de la piel	No clasificado
Forma de la partícula y relación de aspecto	Fibras > 10 µm	Fibras > 5 µm Esférica	Fibras < 2 µm No esférica	Esférica	-
Diámetro de la partícula	1-10 nm	11-40 nm	41-100 nm	100-300 nm	-
Forma física	Polvo	Polvo / líquido	En líquido	En sólido	-
Solubilidad	Baja solubilidad	Difícilmente soluble	Parcialmente soluble	Soluble	Soluble
Pulverulencia	Alta pulverulencia	Moderada pulverulencia	Baja pulverulencia	Muy baja pulverulencia	Muy baja pulverulencia

Rara vez es posible sustituir el nanomaterial^[200], ya que a menudo son las propiedades específicas del material las que los investigadores intentan explotar o investigar. Sin embargo, en algunos casos ha sido posible reemplazar los fullerenos, los nanotubos de carbono, los puntos cuánticos y los diferentes óxidos metálicos con materiales que se presume que presentan menos riesgo^[200].

De acuerdo con la Tabla 29, se recomienda encarecidamente seleccionar ENM solubles, con un potencial de polvo muy bajo (baja pulverulencia) y no clasificados como peligrosos en forma no nano (forma gruesa). Cuando no sea posible la sustitución con un ENM potencialmente menos peligrosos, intente introducir las mejores prácticas basadas en las categorías tóxicas que se muestran en la tabla nº 6.

Ejemplos de medidas de reducción en la fuente basadas en principios de sustitución son ^[200]:

- Reducir la cantidad de nanomaterial tanto como sea posible;
- Trate de usar materiales / productos listos para usar para evitar una preparación adicional antes de usarlos en el lugar de trabajo. Preferiblemente use los ENM en una matriz (es decir, dispersión, suspensión, pasta, paletizado o encapsulado);
- Elija aquellos métodos de trabajo que generen la menor cantidad posible de aerosoles (métodos de procesamiento con bajo contenido de polvo): es decir, cortar en lugar de serrar y brocha / rodillo en lugar de pulverizar.

8.6 MEDIDAS DE SUSTITUCIÓN APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN

Las estrategias de prevención verdaderamente nanoespecíficas para el sector de la construcción se refieren esencialmente a la elección de productos que contengan MNM más seguros^[17].

- Aumento del tamaño de las partículas: más bien grandes que pequeñas, más bien micro que nanopartículas;
- Uso de nanopartículas soportadas en estructuras más grandes (por ejemplo, n-TiO₂ soportado en microfibras de sepiolita).
- Uso de aditivos más bien húmedos que secos (en polvo).
- Uso de suspensiones acuosas altamente concentradas (en lugar de poco concentradas) para reducir el volumen a transportar y manejar (por ejemplo, para n-TiO₂ y n-SiO₂)
- Uso de productos que contienen MNM más seguros y modificados (por ejemplo, nanocapas modificadas térmicamente y químicamente contra la emisión de humo en caso de incendio).
- Uso de productos con una dispersión y compatibilización eficaces de MNM en las matrices (por ejemplo, nanofibras en polímeros). Una buena dispersión y compatibilización de MNM en matrices reduce la formación de aglomerados y partículas mal adheridas y la probabilidad de liberación de NOAA de la matriz sólida.

8.7 SEGURIDAD EN LA ETAPA DE DISEÑO DEL NANOMATERIAL (SAFETY BY DESIGN). EJEMPLOS APLICABLES AL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

En el documento Scaffold SPD3^[17], se expone como se llevaron a cabo diferentes trabajos dentro del proyecto Scaffold, relacionados con la aplicación de medidas de seguridad en la etapa de diseño de nanomateriales.

En el proyecto, se centró el trabajo en la prevención de riesgos mediante el desarrollo y el uso de aditivos nano que fueran más seguros por diseño (*safer-by-design*).

Se puede abordar la prevención a través del diseño desarrollando nano-objetos más seguros, diseñando contenciones y controles de procesos y desarrollando nuevos sistemas de gestión de riesgos. En el proyecto, básicamente se abordó el primer enfoque, desarrollando los llamados nanoaditivos de “diseño más seguro”.

En la siguiente tabla, se define la naturaleza de cada uno de los MNM, su problema asociado y las estrategias utilizadas en el proyecto.

Resumen de MNM y estrategia asociada. Fuente:^[17]

Tabla 30

NANOPARTÍCULAS	PROBLEMA ASOCIADO	ESTRATEGIA
TiO ₂	Muy baja densidad, naturaleza pulverulenta. Posibles modificaciones químicas de carácter incierto.	Utilizar dispersiones concentradas y estables. Utilizar n-TiO ₂ soportado en microfibras de sepiolita
SiO ₂		Utilizar dispersiones concentradas y estables.
Nanoarcilla		Reducción de energía en los procesos de agitación para reducir posibles divisiones. Enfoque de proceso de seguridad basada en el diseño: los nanoaditivos reducen la posibilidad de liberar humo en caso de incendio.
Nanofibras de celulosa	Naturaleza fibrosa y polvorienta.	Lograr buenas dispersiones: NOAA unido a la matriz (para reducir la probabilidad de liberar NOAA de la matriz sólida).
Nanofibras de carbono	Es necesario garantizar que no se produzcan problemas similares a los causados por el asbesto.	

1) n-TiO₂: soporte de nanopartículas sobre micropartículas

Los datos experimentales del proyecto mostraron que la exposición ocupacional a nano-TiO₂ fue menor cuando se usó el aditivo de nano-TiO₂ soportado en sepiolita que cuando se usó polvo de nano-TiO₂ directamente.

2) n-TiO₂/n-SiO₂: preparación de suspensiones acuosas altamente concentradas (habitualmente son de 10% de sólido suspendido en agua o agua/alcohol), mediante la técnica propuesta se pretende obtener concentraciones que superen el 30% de sólido, esto conlleva a un tamaño medio de partícula en nm mayor.

3) Nanoarcillas

Se consideraron dos enfoques más seguros por diseño desde diferentes perspectivas: el proceso y el material.

1. Diseñar el proceso de mezcla de arcilla-polímero para minimizar el riesgo de exposición por inhalación
2. Modificación térmica para reducir el riesgo de emisión de humo tóxico durante el incendio.

4) Nanofibras: mejora de la dispersión y compatibilización con la matriz / MNM.

Para evitar la posible liberación de MNM, la estrategia aplicada fue mejorar la dispersión de los MNM en la matriz, reducir la probabilidad de tener aglomerados mal adheridos y mejorar la compatibilidad entre fases, utilizando nanofibras modificadas superficialmente.

8.8 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE A LAS NANOPARTÍCULAS

PROTECCIÓN RESPIRATORIA FRENTE A MNM

De acuerdo con la jerarquía de medidas preventivas, el uso de PPE es la opción menos deseada para controlar la exposición de los trabajadores, y se usa cuando las medidas técnicas y organizativas no son factibles o efectivas para reducir las exposiciones a niveles aceptables.

Los equipos de protección individual respiratoria, guantes de protección química, ropa protectora y gafas de seguridad pueden proporcionar un nivel aceptable de protección a los MNM si se seleccionan y utilizan adecuadamente^{[200][63]}.

Los estudios realizados en NanoRISK concluyeron que, en general, los EPI de protección

respiratoria con filtros mecánicos para partículas deben usarse para ayudar a reducir la exposición durante la producción y el proceso de manipulación de los nanomateriales^[200]. Debe tenerse en cuenta que el EPI debe ser adecuado para la tarea a realizar y debe adaptarse al usuario.

Sin embargo, todavía hay algunos desafíos cuando se trata de los MNM asociados con el factor de ajuste (fuga del sello facial) del equipo de protección respiratoria o el potencial de degradación de los disolventes en los que se dispersan los MNM en el caso de los guantes y la ropa de protección^[200].

Recomendaciones en el uso de la protección respiratoria frente a nanomateriales. Fuente:^[200]

Tabla 31

TIPO DE EPI RESPIRATORIO	RECOMENDACIONES DE USO
Mascarilla autofiltrante	- La mascarilla autofiltrante solo se recomienda para las operaciones de desempaque de materiales y la pesada de pequeñas cantidades de MNM a escala de laboratorio. - Las mascarillas autofiltrantes (mínimo FFP3 y AFP = 20) son adecuadas como medida de precaución durante las operaciones de limpieza general. - Las mascarillas autofiltrantes (mínimo FFP3 y AFP = 20) son adecuadas como medida de precaución en operaciones parcialmente cerradas, como operaciones de pesaje y sonicación con campanas de extracción.
Media máscara	Los EPI de media máscara con filtro mecánico (P3) son adecuados para las siguientes operaciones: - Pesaje de MNM en forma de polvo (cantidades inferiores a 500 g) - Transferencia / vertido de MNM desde pequeños contenedores en operaciones parcialmente cerradas - Operaciones de sonicación en instalaciones industriales en operaciones parcialmente cerradas. - Operaciones de mezcla en pequeños contenedores (5 l/5 Kg) en operaciones parcialmente cerradas - Operaciones de embalaje de MNMs en forma seca en operaciones parcialmente cerradas - Operaciones de mecanizado tales como tamizado, aserrado y rectificado utilizando gafas de seguridad y campanas de extracción móviles. - Operaciones generales de limpieza.

Recomendaciones en el uso de la protección respiratoria frente a nanomateriales. Fuente:^[200]

Tabla 31

TIPO DE EPI RESPIRATORIO	RECOMENDACIONES DE USO
Máscara completa	Los EPI de máscara completa con filtro mecánico (P3) son adecuados para las siguientes operaciones: • Pesaje de MNM en forma de polvo (cantidades superiores a 500 g). • Transferencia / vertido de MNM desde contenedores (> 500 g) en operaciones parcialmente cerradas. • Operaciones de descarga (por gravedad) desde tanques. • Operaciones de sonicación en instalaciones industriales en operaciones parcialmente cerradas. • Operaciones de mezcla en contenedores de más de 5 L / 5 Kg en operaciones parcialmente cerradas. • Operaciones de recogida después de la etapa de producción. • Operaciones de embalaje / llenado de bolsas de MNM en forma seca en operaciones parcialmente cerradas. • Áreas de trabajo que contienen nanomaterialessuspendidos en el aire. • Operaciones de mecanizado tales como tamizado, aserrado y rectificado con gafas de seguridad y sistemas de extracción móviles.

PROTECCIÓN DE LA PIEL FRENTE A MNM

La mayoría de los estudios publicados recomiendan usar guantes de protección química y ropa protectora cuando se trabaja con MNM^{[200][63]}.

Guantes de protección

A continuación se detalla una lista no exhaustiva de recomendaciones sobre guantes de protección química para MNM, producto de investigaciones^[200].

Guantes de protección química recomendados para MNM. Fuente:^[200]

Tabla 32

MATERIAL	CATEGORÍA	APLICACIONES	PERIODO DE CONTACTO
Nitrilo	III	• Polvo seco • MNMs en líquido usando guantes de nitrilo largos • MNMs en solventes, aceites, grasas y algunos ácidos y bases	Incidental Prolongado (guante reutilizable más grueso)
Látex	III	• MNMs en polvo o en suspensión acuosa. • No usar con ENMs en solventes orgánicos.	Incidental
Caucho de butilo	III	• MNMs en agua / solventes-No recomendado con dispersiones secas.	Prolongado
Neopreno	III	• MNMs en dispersiones líquidas (si son corrosivas)	Prolongado
Algodón	III	No recomendado	

Protección del cuerpo

A continuación se detalla una lista no exhaustiva de recomendaciones relativas a la ropa protectora para MNM, producto de investigaciones^[200].

Lista de ropa protectora para usar en actividades industriales relevantes frente a MNM. Fuente: ITENE ^[200] modificado

Tabla 33

TIPO DE TRAJE	TIPO DE MATERIAL	EN TIPO	TIPO DE EXPOSICIÓN
Buzo/mono protector desechable (Traje de cuerpo completo)	Polipropileno/Polietileno laminado	3	Chorros fuertes y direccionales de MNMs dispersados en líquidos.
		4	Aerosoles líquidos de MNMs.
		5	MNMs suspendidos en el aire (partículas secas o fibras)
			Ligera pulverización- salpicaduras
Traje de protección ventilado/ presurizado	Materiales poliméricos	EN 1073-1 (Clase 4)	Partículas radioactivas – MNMs etiquetados como radioactivos
		EN 1073-1 (Clase 5)	Contaminaciones radiactivas
Batas de laboratorio desechables	Polipropileno hilado		No recomendado (se utiliza para polvo no peligroso y ligueras salpicaduras de líquidos)
Batas de laboratorio	Polipropileno transpirable tejido de SMS	6	Protección liviana contra proyección no peligrosa-salpicadura
Manguitos protectores	PE microporoso laminado		Utilizados en los brazos del usuario contra pequeñas salpicaduras de líquidos y MNM no peligrosos en el aire.
Delantales / mandiles	PVC		Pequeñas salpicaduras (no recomendado para MNMs)
Cubre botas / cubre calzado	PE microporoso laminado		MNM suspendidos en el aire Pequeñas salpicaduras de líquidos que contienen MNMs

PROTECCIÓN OCULAR. GAFAS DE PROTECCIÓN

Las gafas de seguridad se consideran el nivel adecuado de protección ocular para trabajar con MNM. Las gafas de seguridad deben ser la protección mínima para los ojos que se debe usar cuando se utilizan medidas técnicas de protección adecuadas (por ejemplo, cabinas de aspiración o caja de guantes)^[200].

De acuerdo con la Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA), las gafas de seguridad ajustadas con protectores laterales brindan protección en situaciones de bajo riesgo y baja exposición cuando los MNM no están suspendidos en el aire^[200].

Se recomiendan gafas de seguridad integrales, a prueba de polvo (es decir, sin ventilación) en situaciones que involucren MNM peligrosos y una alta exposición. Se recomienda un protector facial completo cuando se realicen tareas con potencial para cualquier generación de aerosoles y / o gotas^[200].

8.9 RESUMEN DE USOS DE EPI FRENTE A MNM

A continuación se expone una tabla resumen de recomendación de uso de EPI en determinadas operaciones.

Lista de equipos de protección individual a utilizar de acuerdo con el tipo de peligro. Fuente: ITENE^[200] modificado

Tabla 34

FUENTE	DESCRIPCIÓN DE LA FUENTE	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL
Pesaje	MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras)	• Media máscara con filtro mecánico P3 • Guantes de Latex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 5) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales)
	Aerosoles líquidos de MNMs (Nano-aerosoles irritantes)	• Media máscara con filtro mecánico P3 • Dobles guantes de Nitrilo largos • Guantes de caucho de butilo (MNMs en solventes) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN tipo 4-6) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales)
Pesaje	MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras)	• Media máscara con filtro mecánico P3 • Guantes de Latex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 5) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales)
Mezcla	MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras)	• Máscara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas) • Media máscara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes) • Guantes de Latex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 5) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)
	Aerosoles líquidos de MNMs (Nano-aerosoles irritantes).	• Máscara completa con filtro mecánico P3 • Dobles guantes de Nitrilo largos • Guantes de caucho de butilo (MNMs en solventes) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 3-4-6) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)

Lista de equipos de protección individual a utilizar de acuerdo con el tipo de peligro. Fuente: ITENE^[200] modificado

Tabla 34

FUENTE	DESCRIPCIÓN DE LA FUENTE	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL
Mezcla	Ligera pulverización - salpicaduras	• Media máscara con filtro mecánico P3 • Guantes de Nitrilo • Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes) • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 4-6) • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales)
Operaciones de pulverización	Aerosoles líquidos de MNMs (Nano-aerosoles irritantes).	• Máscara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas) • Media máscara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes) • Guantes de Nitrilo • Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes) • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 3-4-6) • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)
	Ligera pulverización- salpicaduras	• Máscara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas) • Media máscara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes) • Guantes de Nitrilo (preferentemente Nitrilo) • Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes) • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 4-6) • Batas de laboratorio (no tejidas) para operaciones a escala de laboratorio • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)
Mecanizado	MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras)	• Máscara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas) • Media máscara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes) • Guantes de Latex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo) • Batas de laboratorio (no tejidas) en campanas de laboratorio con extracción • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 5) para grandes cantidades • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)
	Aglomerados/agregados en suspensión en el aire	• Máscara completa con filtro mecánico P3 • Guantes de Nitrilo • Guantes de neopreno • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 5) • Batas de laboratorio (no tejidas) para operaciones a escala de laboratorio • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (sólo si se utiliza media máscara)
	Fragmentos/partículas gruesos (no nano)	• Máscarilla autofiltrante (FFP3) para operaciones intermitentes. • Media máscara con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas) • Guantes de látex / algodón / PVC • Bata de laboratorio (algodón / polipropileno aglomerado) • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) • Gafas de seguridad para operaciones de baja energía

A tener en cuenta en el uso de la tabla:

No se debe confiar en que los EPI por sí solos proporcionan protección contra los peligros, sino que deben usarse junto con las medidas técnicas adecuadas y las medidas organizativas definidas.

Se deben considerar y evaluar las condiciones de trabajo bajo las cuales se llevan a cabo las operaciones, incluida una evaluación exhaustiva del tipo y nivel de riesgo para los trabajadores.

Las propiedades tóxicas de los MNM deben ser determinadas; en particular, la capacidad del MNM para causar efectos agudos por inhalación o contacto dérmico, o efecto sistémico debido a exposiciones crónicas (es decir, potencial mutagénico- carcinogénico).

Debe prestarse especial atención a la comodidad y el ajuste. Se debe prestar especial atención a los dispositivos de ajuste para protección respiratoria y ocular contra MNM en polvo y aerosoles.

Es importante que todos los EPI se mantengan limpios y mantenidos adecuadamente. Los EPI deben inspeccionarse, limpiarse y mantenerse con regularidad para garantizar la protección.

09

DECLARACIÓN DE
NANOMATERIALES.
RESUMEN DE
DECLARACIÓN
DE SUSTANCIAS A
TRAVÉS DEL **REACH**

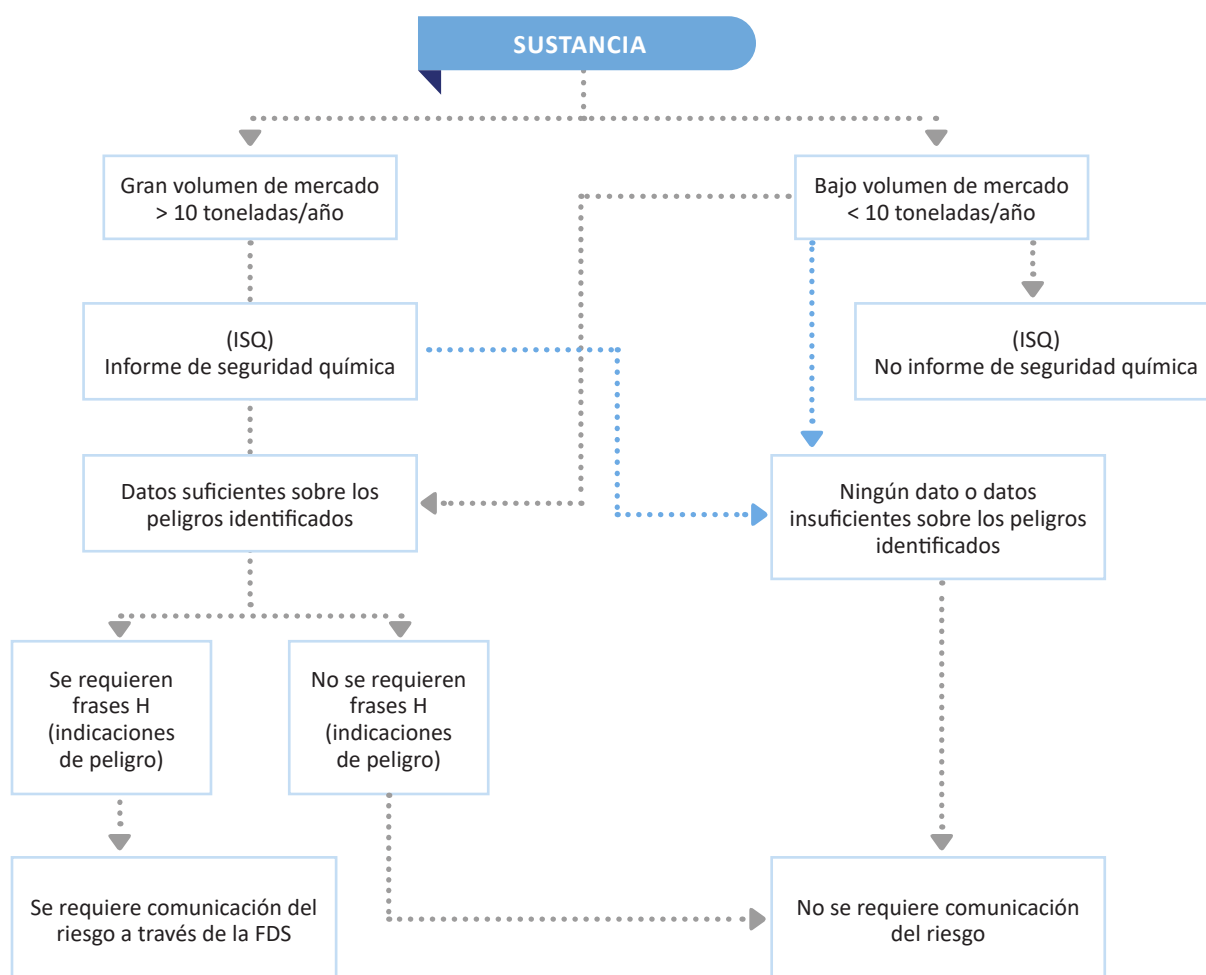


9.1 LA CONEXIÓN ENTRE EL REACH Y LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

El enfoque general para la comunicación sobre peligros y riesgos de sustancias, tal como se estipula en el REACH y el CLP, se esquematiza en la Figura 44.

Comunicación de riesgo obligatoria según el REACH y el CLP. Fuente:^[158]

Figura 44



Para las sustancias, según el volumen de mercado, el proveedor está obligado a proporcionar un informe de seguridad química (ISQ) con datos específicos sobre peligros y escenarios de exposición para el uso previsto. No se requiere un ISQ para volúmenes de mercado bajos. Según el peligro identificado, se asignan las frases H, que deben comunicarse en la FDS. En caso de que no haya datos o que estos sean insuficientes sobre los peligros identificados, no se requiere comunicación.

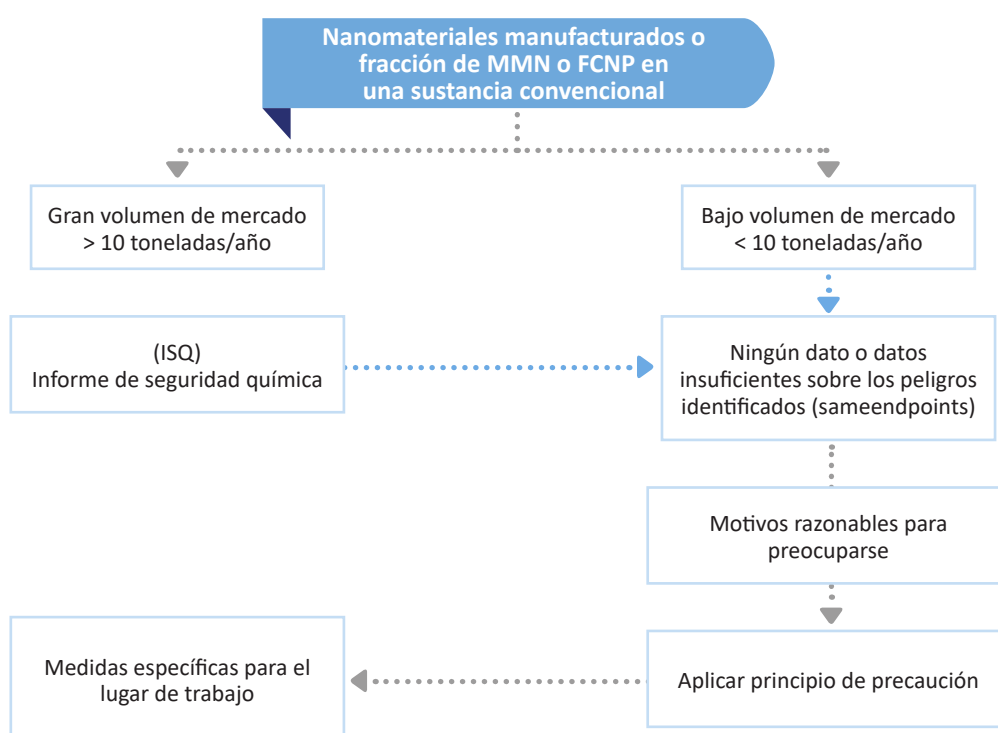
Para los nanomateriales, los procedimientos legales y prácticos, hasta ahora, son idénticos a los de las sustancias, pero hasta ahora la comunicación de riesgos se ve obstaculizada por una disponibilidad limitada de datos de peligros y discusiones sobre la naturaleza exacta de los nanomateriales y las pruebas necesarias para crear un perfil de riesgos completo. En consecuencia, la mayoría de las FDS reales contienen información limitada nanoespecífica (si es que la contienen), o no se proporcionan FDS si no

se dispone de datos específicos sobre peligros. Hasta ahora no hay HB-OEL formalizados para los nanomateriales.

Una complicación adicional para la evaluación del riesgo de los nanomateriales manufacturados (MMN) es la contribución simultánea de otras fuentes en el lugar de trabajo a la exposición completa de las nanopartículas: las nanopartículas que se liberan a partir de componentes convencionales (no nano), fracción de nanopartículas en el componente convencional, (FCNP) y aquellos que se generan en los lugares de trabajo en el proceso y el equipo usado, nanopartículas generadas por el proceso (PGNP). Y, además, está el fondo ambiental (BGPN), tal como lo generan los procesos naturales y las fuentes antropogénicas como el tráfico y las emisiones industriales y domésticas en el aire. Esto hace que realizar una política de gestión de riesgos basada en precauciones sea inevitable. Se indica la aplicación de un enfoque preventivo. Esto se esquematiza en la Figura 45.

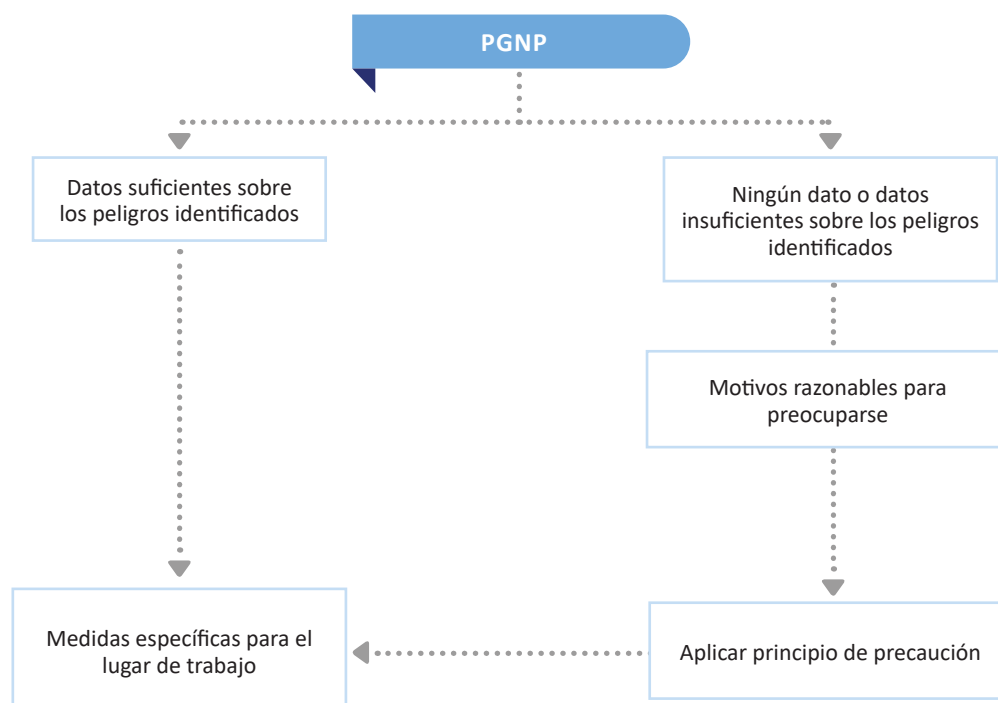
Recomendación de aplicación de un enfoque de precaución para el uso de MMN y posibles exposiciones a FCNP y PGCP. Fuente:^[158]

Figura 45



Recomendación de aplicación de un enfoque de precaución para posibles exposiciones a PGCP. Fuente:^[158]

Figura 46



El registro de MNM bajo REACH cumple con los requisitos de sustancias, y hasta ahora, la mayoría de los MNM están registrados bajo el paraguas de las mismas sustancias. Debido a que los métodos de prueba nanoespecíficos aún no están establecidos, esto generalmente resulta en datos “insuficientes” o “no” proporcionados en el gran volumen de mercado ISQ. Esto indica la necesidad de realizar un enfoque precautorio. Esto también se aplica a los FCNP, donde generalmente no se hace referencia a la fracción de NP en el volumen. Para fuentes de PGNP, las fuentes conocidas, como los humos de soldadura, siguen sus vías establecidas para la gestión de riesgos, pero la mayoría de las otras fuentes de PGNP identificadas también requieren un enfoque preventivo.

TRAZABILIDAD (INFORME DEL CONTENIDO Y TIPO DE NM EN LOS PRODUCTOS)

La confidencialidad en las composiciones de productos y el uso de nanomateriales es una carga para la comunicación y la recopilación independiente de datos de riesgo para evaluar cómo usar los nanomateriales de forma segura. También es una desventaja generar una visión general de los nanomateriales en el mercado y desarrollar ideas sobre la aceptabilidad de las aplicaciones. Para hacer frente a esto, existen iniciativas prácticas en Francia, Bélgica y Dinamarca con registros de nanomateriales traídos a sus mercados nacionales. Estas iniciativas para registros de nanomateriales importados o fabricados y traídos al mercado son un primer paso hacia una mayor apertura de los nanomateriales en la cadena de productos. Sin embargo, hasta ahora los registros no pueden proporcionar respuestas claras sobre qué MNM está contenido en el producto específico utilizado y la probabilidad de emisión. Las nuevas formas de comunicación dentro de la cadena de productos parecen ser inevitables si no se puede lograr una mayor apertura.

9.2 LAS MODIFICACIONES AL REACH DE 2018

REACH es la legislación general aplicable a la fabricación, comercialización y uso de sustancias en sí mismas, en preparados o en artículos. Los nanomateriales están cubiertos por la definición de “sustancia” en REACH, aunque no hay una referencia explícita a los nanomateriales. Las obligaciones generales en REACH, como el registro de sustancias fabricadas a 1 tonelada o más y el suministro de información en la cadena de suministro, se aplican a cualquier otra sustancia.

La información sobre la implementación de REACH para nanomateriales, incluida la guía y la aplicación de los procesos de evaluación de REACH, se puede encontrar en el sitio web de la ECHA.

REVISIÓN DE LOS ANEXOS TÉCNICOS DE REACH^[203]

La Comunicación de la Comisión sobre el Segundo examen reglamentario sobre nanomateriales (octubre de 2012)^[204] y el examen REACH (febrero de 2013)^[205] concluyeron que el REACH y el CLP ofrecían el mejor marco posible para la gestión de riesgos de los nanomateriales cuando se presentaban como sustancias o en mezclas. Sin embargo, dentro de este marco, los requisitos más específicos para los nanomateriales han demostrado ser necesarios.

El 3 de diciembre de 2018, la Comisión adoptó el Reglamento (UE) 2018/1881 de la Comisión para modificar los Anexos I, III y VI-XII de REACH^[206], introduciendo aclaraciones nanoespecíficas y nuevas disposiciones en la evaluación de seguridad química (Anexo I), requisitos de información de registro (Anexo III y VI-XI) y obligaciones del usuario intermedio (Anexo XII).

Las enmiendas propuestas que entrarán en la aplicación obligatoria antes del 1/1/2020 para los registros nuevos y los existentes aclararán significativamente los requisitos de registro de

REACH con respecto a los nanomateriales. Las provisiones incluyen:

- Requisito para identificar y caracterizar las nanoformas de sustancia cubiertas por el registro. Se pueden documentar individual o conjuntamente en conjuntos de nanoformas similares al proporcionar una identificación clara del tamaño, la forma y la química de la superficie de las partículas de las nanoformas cubiertas por el registro. Extracto del anexo VI modificado de REACH:
- * Sobre la base de la Recomendación de la Comisión de 18 de octubre de 2011 sobre la definición de nanomaterial, una nanoforma es una forma de una sustancia natural o manufacturada que contiene partículas, en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en la distribución numérica de tamaño, una o más dimensiones externas se encuentran en el rango de tamaño 1 nm-100 nm, incluyendo también excepcionalmente los fullerenos, escamas de grafeno y nanotubos de carbono de pared simple con una o más dimensiones externas por debajo de 1 nm.
- * Para este propósito, “partícula” significa una pieza diminuta de materia con límites físicos definidos; “Aglomerado” significa una colección de partículas o agregados débilmente unidos donde el área de superficie externa resultante es similar a la suma de las áreas de superficie de los componentes individuales y “agregado” significa una partícula que comprende partículas fuertemente unidas o fusionadas.

- * Una nanoforma debería ser caracterizada de acuerdo con la sección 2.4. Una sustancia puede tener una o más nanoformas diferentes, basado en las diferencias en los parámetros según los puntos 2.4.2 a 2.4.5.
- * Un “conjunto de nanoformas similares” es un grupo de nanoformas caracterizado de acuerdo con la sección 2.4 donde los límites claramente definidos en los parámetros en los puntos 2.4.2 a 2.4.5 de las nanoformas individuales dentro del conjunto aún permiten concluir que la evaluación del peligro, la evaluación de la exposición y la evaluación del riesgo de estas nanoformas se pueden realizar conjuntamente. Se debe proporcionar una justificación para demostrar que una variación dentro de estos límites no afecta a la evaluación del peligro, la evaluación de la exposición y la evaluación de riesgos de las nanoformas similares en el conjunto. Una nanoforma solo puede pertenecer a un conjunto de nanoformas similares
- Aclaraciones sobre cómo se aplican las obligaciones sobre sustancias a todas las nanoformas cubiertas por el registro:
 - desempeño de la evaluación de seguridad química (y aplicación de sus conclusiones al aplicar medidas adecuadas de gestión de riesgos), documentación de los requisitos de información sobre evaluación de riesgos y aplicación de posibilidades de adaptación, etc.
 - Introducción de los requisitos para la preparación adecuada de la muestra, la ruta de exposición y la caracterización del material de prueba en nanoforma, la consideración de métricas apropiadas al informar los resultados y las propiedades fisicoquímicas principales específicas que pueden respaldar la evaluación de seguridad de los nanomateriales (tasa de disolución, estabilidad de dispersión de nanoformas).
 - Calificación de las posibilidades de adaptación existentes para garantizar su aplicación responsable a las nanoformas y modificación del requisito de información donde el método de prueba no es aplicable/informativo para las nanoformas (por ejemplo: coeficiente de partición de KoW, prueba de genotoxicidad AMES).

10

**LEGISLACIÓN Y
NORMATIVA DE
APLICACIÓN**



10.1

LEGISLACIÓN EN REFERENCIA A LOS NANOMATERIALES EN LA UE

Las etapas de producción, uso y residuos de los nanomateriales están sujetas a varias legislaciones tanto en la UE como a nivel nacional, aunque no todas son explícitamente específicas para nanomateriales. Mientras que algunas legislaciones cubren todo el ciclo de vida de un producto químico (por ejemplo, el Reglamento REACH de la UE)^[116], otras solo cubren etapas específicas del ciclo de vida (por ejemplo, legislaciones nacionales sobre exposición laboral). Algunos de estos sistemas legislativos tenían un carácter genérico, p. Ej. REACH que se aplicaba a todas las “sustancias químicas” y artículos que contienen sustancias químicas, mientras que otros establecen reglas para un grupo específico de productos, por ejemplo. Cosméticos (Reglamento (CE) nº 1223/2009)^[119], alimentos (Reglamento (UE) nº 2015/2283)^[207], productos sanitarios (Reglamento (UE) 2017/745)^[208] y biocidas (Reglamento (UE) nº 528/2012)^[120].

La clasificación, etiquetado y envasado (CLP) de sustancias químicas peligrosas se rige por el Reglamento (CE) nº 1272/2008^[115]. La información sobre peligros utilizada para la clasificación proviene en gran medida de REACH.

Los requisitos generales relacionados con la seguridad y salud laboral de los trabajadores en los lugares de trabajo se presentan en la Directiva del Consejo 89/391/CE^[191]. El objetivo de esta directiva marco es garantizar un alto nivel de protección de los trabajadores en el trabajo. La Directiva del Consejo 98/24/CE^[192] sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo describe los requisitos mínimos para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y salud que surjan, o puedan surgir, de los efectos de los agentes químicos (aunque no se mencionan específicamente, estos incluyen MNM), que están presentes en el lugar de trabajo. La Directiva 2004/37/CE^[209] se aplica a los nanomateriales

que son carcinógenos o mutágenos, pero no se aplica a todos los nanomateriales por defecto.

Algunas de las regulaciones enumeradas anteriormente no mencionan específicamente los nanomateriales, mientras que otras utilizan el término nanomateriales sin más especificaciones. Las regulaciones sobre biocidas, dispositivos médicos, cosméticos y nuevos alimentos han implementado una definición sobre los nanomateriales de forma legalmente vinculante. Solo en las dos primeras de estas regulaciones, la definición se parece completamente a la definición de la CE sobre los nanomateriales.

En octubre de 2011, la Comisión Europea (CE) publicó una Recomendación sobre la definición de un nanomaterial (2011/696/UE)^[1]. El propósito de esta definición fue determinar cuándo un material debe considerarse un nanomaterial para fines reglamentarios en la Unión Europea. La definición abarca materiales naturales, incidentales y manufacturados y se basa únicamente en el tamaño de las partículas constituyentes de un material, sin tener en cuenta propiedades o riesgos específicos, funcionales o de riesgo.

Además, la Comisión Europea recomendó la definición para el uso de agencias de la UE como EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) y ECHA (Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas). Entonces, aunque no es legalmente vinculante, la definición de la CE está ganando terreno.

En algunos estados miembros (por ejemplo, Dinamarca, Bélgica, Francia, Noruega, Suecia), la producción y el uso de nanomateriales deben registrarse a nivel nacional. Esto no debe confundirse con el registro en REACH.

Como cambio relevante debemos señalar la modificación de REACH, llevada a cabo a finales del pasado año 2018, a través del Reglamento (UE) 2018/1881 de la Comisión, de 3 de di-

ciembre de 2018,^[206] por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH) en cuanto a sus anexos I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI y XII para tener en cuenta las nanoformas de sustancias.

10.2 NORMALIZACIÓN

A nivel internacional, la Organización Internacional de Normalización (ISO) es responsable de la estandarización de las nanotecnologías con su TC 229.

En Europa, el grupo equivalente es el Comité Europeo de Estandarización en nanotecnología (CEN / TC 352), que tiene, por ejemplo, un grupo

de trabajo sobre seguridad ambiental y salud. Mientras que los organismos de normalización tienen comités de nanotecnología, las nanotecnologías son intersectoriales y, por lo tanto, son relevantes en otros comités técnicos (CT) específicos de ISO.

10.3 LEGISLACIÓN Y NORMALIZACIÓN EN REFERENCIA A **NANOMATERIALES**, EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN, EN LA UE

El uso de la nanotecnología en la construcción tiene implicaciones para tres áreas principales de regulación: productos de construcción; aspectos de seguridad y salud laboral de los trabajos de construcción; y el cumplimiento de la legislación de desempeño ambiental para nuevas construcciones.

En relación con las regulaciones europeas que afectan a la nanotecnología y la construcción en Europa, los productos de construcción están cubiertos por el Reglamento de Productos de Construcción (CPR) 305/2011^[210]. Esta legislación establece las normas europeas para la comercialización de estos productos. Contiene

disposiciones sobre el marcado CE de productos de construcción y establece un sistema de organismos notificados, así como un sistema de especificaciones técnicas armonizadas para productos de construcción.

El CPR define un producto de construcción de la siguiente manera:

Artículo 2 (1): Un “producto de construcción” significa cualquier producto o kit que se produce y comercializa para su incorporación de manera permanente en trabajos de construcción o partes de los mismos y cuyo rendimiento tiene un efecto en el rendimiento de la construcción.

Trabajos con respecto a los requisitos básicos para trabajos de construcción”.

Este reglamento evalúa el impacto ambiental de los productos de construcción, pero no cubre específicamente los nanomateriales. Los nanomateriales utilizados en la construcción también deben cumplir con el marco reglamentario general vigente para las sustancias químicas: el Reglamento (CE) nº 1907/2006^[116] relativo al registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH), y CPR se refiere específicamente a REACH. Sin embargo, el punto (25) del CPR indica que “la necesidad específica de información sobre el contenido de sustancias peligrosas en los productos de construcción debe investigarse más a fondo para completar la gama de sustancias cubiertas a fin de garantizar un alto nivel de protección de la salud y seguridad de los trabajadores que utilizan productos de construcción”.

En Francia, el 1 de enero de 2013 entró en vigor el Decreto 620 sobre la declaración anual de sustancias en nanoescala- 2012-232^[211]. Otorga a la Agencia Francesa de Seguridad Alimentaria,

Medio Ambiente y Trabajo (ANSES) la autoridad para recopilar “información sobre producción, distribución, importación de sustancias a nanoescala de hasta 100 gramos”. El informe de 2015 de r-nano identificó 122 declaraciones que se refieren al código de uso (su 19), Trabajos de edificación y construcción. Esto representa el 0,81% del total de inscripciones en ese año. En el informe de 2016, las cifras caen a 84 declaraciones y al 0,60% del total de registros.

Los trabajadores de la construcción también están cubiertos por la legislación de seguridad y salud laboral. En virtud de la Directiva marco europea sobre seguridad y salud en el trabajo (Directiva 89/391 CEE)^[191], los empresarios deben evaluar y gestionar los riesgos de los nanomateriales para sus trabajadores. Si bien los nanomateriales no están expresamente cubiertos por la directiva, la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) dedica una parte de su trabajo a los nanomateriales.

10.4 LEGISLACIÓN SOBRE NANOTECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN EN EL RESTO DEL MUNDO

Ningún país ha desarrollado actualmente una legislación específica para cubrir el uso de nanomateriales en la construcción^[212].

La hoja informativa de 2013 de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de

los Estados Unidos sobre el trabajo seguro con nanomateriales establece que los nanomateriales se encuentran bajo los estándares de construcción de OSHA^[212].

10.5 NORMALIZACIÓN

El comité técnico de nanotecnologías de la Organización Internacional de Normalización (ISO), Nanotecnologías ISO / TC 229, no ha abordado directamente la construcción en su trabajo.

Sin embargo, a nivel ISO, varios comités técnicos cubren áreas vinculadas a la construcción. Los comités principales son: ISO / TC 59 Edificaciones y obras de ingeniería civil, ISO / TC 195 Construcción de maquinaria y equipo de cons-

trucción, y ISO / TC 205 Diseño del entorno del edificio. Las normas que cubren la construcción desarrollada en estos y otros comités técnicos se reúnen bajo el Código de Clasificación Internacional de Normas (ICS) 91: Materiales de edificación y construcción. Por el momento, sin embargo, estos no contemplan el uso de nanotecnologías en estos productos.

10.6 LEGISLACIÓN EN ESPAÑA EN REFERENCIA A LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO

En España, como en la UE, no hay una legislación específica sobre nanomateriales en relación a la seguridad y la salud en el trabajo. Se sobreentiende que los nanomateriales se incluirían en el ámbito de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, a través del RD 374/2001, sobre exposición a agentes químicos y en el caso de existencia de nanomateriales declarados como cancerígenos o mutágenos sería también de aplicación el RD 665/1997 sobre exposición a cancerígenos.

Por otro lado, también serían de aplicación los siguientes reales decretos de desarrollo de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en relación a la posible exposición a nanomateriales.

- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones

mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativa a la utilización de los trabajadores de equipos de protección individual.

Por la importancia del RD 374/2001, sobre exposición a agentes químicos, frente a la posible exposición a nanomateriales, realizaremos un breve resumen de puntos de cumplimiento en relación a la protección de los trabajadores frente a una exposición a nanomateriales.

La protección de los trabajadores frente a la posible exposición a agentes químicos, donde se recogen como tales los nanomateriales manufacturados, quedará recogida en el cumplimiento de los siguientes puntos del RD 374/2001, de manera no extensiva ni exhaustiva.

Tabla resumen de requisitos legales aplicables a los nanomateriales en referencia al Real Decreto 374/2001, de 6 de abril. Elaboración propia a partir de^[213]

Tabla 35

PUNTOS	REFERENCIA EN REAL DECRETO 374/2001, DE 6 DE ABRIL
Identificación de los MNM.	Art 3.1 (...) determinar, en primer lugar, si existen agentes químicos peligrosos en el lugar de trabajo. (...)
Evaluación de riesgos	Art 3.1 (...) se deberán evaluar los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, originados por dichos agentes de conformidad con el artículo 16 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y la Sección 1ª del Capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención, considerando y analizando conjuntamente: (...)
Evaluación de la exposición documentada	Art 3.9. La evaluación deberá documentarse de acuerdo con lo establecido en el artículo 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y en el artículo 7 del Reglamento de los Servicios de Prevención. (...) Art 3.2. La evaluación del riesgo deberá incluir la de todas aquellas actividades, tales como las de mantenimiento o reparación, cuya realización pueda suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores, por la posibilidad de que se produzcan exposiciones de importancia, o por otras razones, aunque se hayan tomado todas las medidas técnicas pertinentes.
Caracterización del Riesgo	Art 3.5. (...) Las mediciones a las que se refieren los párrafos anteriores no serán sin embargo necesarias, cuando el empresario demuestre claramente por otros medios de evaluación que se ha logrado una adecuada prevención y protección, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 1 de este artículo. Art 3.9. (...) En relación con los casos a que hace referencia el apartado 5 del presente artículo, la documentación deberá incluir las razones por las que no se considera necesario efectuar mediciones.
Evaluación detallada de riesgos	3.5. La evaluación de los riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso deberá incluir la medición de las concentraciones del agente en el aire, en la zona de respiración del trabajador, y su posterior comparación con el Valor Límite Ambiental que corresponda (...) Esto se llevaría a cabo si no fuera posible que el empresario: Art 3.5. (...) demuestre claramente por otros medios de evaluación que se ha logrado una adecuada prevención y protección, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 1 de este artículo.
Gestión de riesgos Información y formación Vigilancia de la salud Consulta y participación Medidas de emergencia	Art 4. Principios generales para la prevención de los riesgos por agentes químicos. Art 5. Medidas específicas de prevención y protección. Art 6. Vigilancia de la salud. Art 7. Medidas a adoptar frente a accidentes, incidentes y emergencias. Art 9. Información y formación de los trabajadores. Art 10. Consulta y participación de los trabajadores.
Accidentes y enfermedades profesionales	Art 3.1. g) Las conclusiones de los resultados de la vigilancia de la salud de los trabajadores que, en su caso, se haya realizado y los accidentes o incidentes causados o potenciados por la presencia de los agentes en el lugar de trabajo.
Revisión	Art 3.7. La evaluación de los riesgos deberá mantenerse actualizada, revisándose: En especial: a) Cuando se produzcan modificaciones en las condiciones existentes en el momento en el que se hizo la evaluación, que puedan aumentar el riesgo invalidando los resultados de dicha evaluación. Art 3.8. En el caso de una nueva actividad en la que se utilicen agentes químicos peligrosos, el trabajo deberá iniciarse únicamente cuando se haya efectuado una evaluación del riesgo de dicha actividad y se hayan aplicado las medidas preventivas correspondientes.



10

REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EU, "Recomendación de la Comisión, de 18 de octubre de 2011 , relativa a la definición de nano-material Texto pertinente a efectos delEEE OJ L 275, 20.10.2011," Bruselas, 2011.
- [2] AENOR, "UNE-CEN ISO/TS 80004-2: 2017. Nanotecnologías. Terminología y definiciones para nanoobjetos. Nanopartícula, nanofibra y nanopláca.," 2017.
- [3] M. A. Sørensen, F. Ingerslev, K. Bom, C. Lassen, F. Christensen and M. Warming, "Survey of products with nanosized pigments.," Copenhagen, 2015.
- [4] A. J. Koivisto, A. C. Ø. Jensen, K. I. Kling, A. Nørgaard, A. Brinch, F. Christensen and K. A. Jensen, Quantitative material releases from products and articles containing manufactured nanomaterials: Towards a release library, vol. 5, 2017, pp. 119-132.
- [5] EU, "Recommendation on the definition of Nanomaterial. Questions and Answers on the Commission," 08 junio 2016. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/faq/questions_answers_en.htm#top-page. [Accessed 22 febrero 2019].
- [6] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017.
- [7] H. F. Krug, «Nanosafety Research- Are We on the Right Track?,» *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 53, nº 46, pp. 12304-12319, 2014.
- [8] S. C. o. E. a. N. I. H. R. SCENIHR, Risk Assessment of Products of Nanotechnologies., E. Commission, Ed., Bruselas, 2009.
- [9] J. Hodgson y Jones, R.D., «A Mortality Study of Carbon Black Workers Employed at Five United Kingdom Factories between 1947 and 1980.,» *Archives of Environmental Health: An International Journal*, vol. 40, nº 5, pp. 261-268, 1985.
- [10] T. Sorahan, L. Hamilton, M. van Tongeren, K. Gardiner and J. Harrington, "A cohort mortality study of U.K. carbon black workers, 1951-1996.," *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 39, no. 2, pp. 158-170, 2001.
- [11] A. Gibb, W. Jones, C. Goodier, P. Bust, M. Song y J. Jin, «Nanotechnology in construction and demolition: what we know and what we don't. IOSH: Wigston,» Leicestershire, 2017.
- [12] J. Lee, S. Mahendra y P. Alvarez, «Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations.,» *ACS Nano*, vol. 4, nº 7, pp. 3580-3590, 2010.
- [13] D. Hristozov y I. Malsch, «Hazards and Risks of Engineered Nanoparticles for the Environment and Human Health.,» *Sustainability*, vol. 1, nº 4, pp. 1161-1194, 2009.
- [14] T. A. Kuhlbusch, C. Asbach, H. Fissan, D. Göhler y M. Stintz, «Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review.,» *Particle and Fibre Toxicology* , vol. 8, nº 22, pp. 1-8, 2011.
- [15] F. van Broekhuizen y J. van Broekhuizen, «Nanotechnology in the European Construction Industry -State of the art 2009-,» Amsterdam, 2009.
- [16] NIOSH, «Approaches to safe nanotechnology: Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials.,» *DHHS* , nº 2009-125, 2009.
- [17] Í. Larraza, B. Hazebrouck, R. Pina, B. Hargreaves, H. Stockmann-Juvala, C. Vaquero, S. Fernandez and J. López de Ipiña Peña, "Roadmap for occupational safety in relation with manufactured nanomaterials (MNMs) in the construction sector.," 2015a.

- [18] P. Schulte, C. Geraci, R. Zumwalde, M. Hoover y E. Kuempel, «Occupational Risk Management of Engineered Nanoparticles.,» *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 5, nº 4, pp. 239-249, April 2008.
- [19] E. Marcoulaki, M. Konstandinidou and I. A. Papazoglou, “Customized control banding approach for potential exposure to manufactured nanomaterials (MNM) in the construction industry,” *Scaffold Public Documents*, 2015.
- [20] HSE, «Construction dust. Construction Information Sheet No 36 (Revision 2).», Londres, 2013.
- [21] HSE, “Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV). HSG258 (Third edition),” Londres, 2017a.
- [22] T. D. E. P. A. DEPA, «Nanomaterials in waste Issues and new knowledge. Environmental Project No. 1608.,» Copenhagen, 2014.
- [23] P. van Broekhuizen, F. van Broekhuizen, R. Cornelissen y L. Reijnders, «Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof.,» *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 13, 2010.
- [24] S. Mann, «Nanotechnology and Construction. Nanoforum.,» 2006.
- [25] M. Hanus y A. Harris, «Nanotechnology innovations for the construction industry.,» *Progress in Materials Science*, pp. 1056-1102, 2013.
- [26] N. C. SCANDINAVIA, «Nanotechnology for New Materials.,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.nano-connect.org/downloads>.
- [27] T. CONSTRUCTOR, «Smart nano-materials in construction industry.,» [En línea]. Available: <https://theconstructor.org/building/nanomaterials-in-construction-applications/5638/>. [Último acceso: 27 febrero 2019].
- [28] J. Teizer, W. Teizer, M. Venugopal and B. Sandha, “Nanotechnology and its impact on construction. RR251-11.,” Construction Industry Institute., Austin, 2009.
- [29] S. V., S. Hankin, R. Aitken, K. Aschberger, A. Baun, F. Christensen, T. Fernandes y e. al., «Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES). 7th Framework Programme.,» Edinburgh, 2009.
- [30] K. Savolainen, L. Pylkkänen, H. Norppa, G. Falck, H. Lindberg, T. Tuomi y e. al., «Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety.,» *Safety Science*, vol. 48, nº 8, pp. 957-963, 2010.
- [31] [En línea]. Available: www.lafarge-na.com/wps/portal/na/en/5_2_B_2-Aggregate_Concrete_&_Asphalt.
- [32] [En línea]. Available: http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/28528B72-3125-4370-B657-616609415500/0/TioCem_Broschuere_englisch.pdf.
- [33] [En línea]. Available: [http://www.essroctech.com/browse/essroc_data_files/bak/tpds/TX Active Data Sheet.pdf](http://www.essroctech.com/browse/essroc_data_files/bak/tpds/TX%20Active%20Data%20Sheet.pdf).
- [34] [En línea]. Available: <http://www.edencrete.com/resources/>.

- [35] [En línea]. Available: www.pilkington.com/en-gb/uk/householders/types-of-glass/self-cleaning-glass/faqs/technical-faqs.
- [36] [En línea]. Available: www.guardian.com/residential/LearnAboutGlass/FAQs/index.htm.
- [37] [En línea]. Available: www.guardian.com/residential/LearnAboutGlass/AdvancedLearning/index.htm#coatingtypes.
- [38] [En línea]. Available: <http://uk.saint-gobain-glass.com/product/721/sgg-cool-lite>.
- [39] [En línea]. Available: www.schott.com/architecture/english/products/fire-rated-glass/pyranova.html.
- [40] [En línea]. Available: <http://sageglass.com/technology/how-it-works/>.
- [41] [En línea]. Available: www.adsealcolours.co.uk/NANO-Cleaner-and-Maintainer.html.
- [42] [En línea]. Available: www.caparol.de/uploads/pics/caparol_import/caparol_de/ti/65605/TI_156_EN.pdf.
- [43] [En línea]. Available: www.mc-bauchemie.com/en/en/Emcephob-LE-sets-new-standards.aspx.
- [44] [En línea]. Available: www.knoxoutpaints.com/howitworks.do.
- [45] [En línea]. Available: <http://nanophos.com/eng/product/surfashield/surfashield-c-detail>.
- [46] [En línea]. Available: 23www.bioni.de/en/index.php?page=produktprogramm_bioni_hygienic&lang=en.
- [47] [En línea]. Available: www.nanoprotect.co.uk/anti-bacterial-fungi.html.
- [48] [En línea]. Available: www.teslanano.com/about/.
- [49] [En línea]. Available: www.graphenstone.co.uk/Graphenstone-Biosphere.html.
- [50] [En línea]. Available: www.future-carbon.de/fileadmin/user_upload/Tech_Flyer_Carbo_e-Therm_R2015-01_EN.pdf.
- [51] [En línea]. Available: www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/frequently-asked-questions.
- [52] [En línea]. Available: www.aerogel.com/resources/about-aerogel/.
- [53] [En línea]. Available: www.thermablok.co.uk/products/thermabloksp-aerogel-blanket.
- [54] [En línea]. Available: www.kevothermal.com/the_technology.html.
- [55] [En línea]. Available: www.mmmfx.com/technology/.
- [56] [En línea]. Available: <https://nanosteelco.com/products/sheet-steel>.
- [57] [En línea]. Available: www.cermetlab.com/nanotechnology/nano-particle.html.
- [58] [En línea]. Available: www.mesocoat.com/coating.html.
- [59] [En línea]. Available: <https://nanosteelco.com/products/metallic-coatings>.
- [60] [En línea]. Available: <http://smt.sandvik.com/en/products/strip-steel/strip-products/coated-strip-steel/sandvik-santronic/>.

- [61] M. e. a. Baron, «Safe handling of nano materials and other advanced materials at workplaces. NanoValid – project F2268,» Berlín, 2015.
- [62] S. Foss Hansen, B. H. Larsen, S. I. Olsen y A. Baun, «Categorization framework to aid hazard identification of nanomaterials.,» *NANOTOXICOLOGY*, vol. 1, nº 3, pp. 243-250, 2007.
- [63] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» *Scaffold Public Documents*, 20 04 2015.
- [64] C. Col, «How green is the demolition sector when it comes to waste?,» 28 mayo 2015. [En línea]. Available: <http://www.recyclingwasteworld.co.uk/in-depth-article/how-green-is-the-demolition-sector-when-it-comes-to-waste/84995/>. [Último acceso: 27 febrero 2019].
- [65] P. Kumar y L. Morawska, «Recycling concrete: An undiscovered source of ultrafine particles,» *Atmospheric Environment*, vol. 90, pp. 51-58, junio 2014.
- [66] F. K. P. M. M. e. a. J. Azarmi, «Physicochemical characteristics and occupational exposure to coarse, fine and ultrafine particles during building refurbishment activities.,» *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 17, nº 8, pp. 1-19, 2015.
- [67] A. Caballero-Guzman, T. Sun y B. Nowack, «Flows of engineered nanomaterials through the recycling process in Switzerland,» *Waste Management*, vol. 36, pp. 33-34, 2014.
- [68] F. Cataldo, «A study on the thermal stability to 1000 °C of various carbon allotropes and carbonaceous matter both under nitrogen and in air. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures,» *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, vol. 10, nº 4, pp. 293-311, 2002.
- [69] J. López de Ipiña, C. Vaquero, D. Boutry, J. Damlencourt, P. Neofytou, M. Pilou y e. al., «Strategies, methods and tools for managing nanorisks in construction.,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 617, nº 1, pp. 1-10, 2015.
- [70] I. Koponen, K. Jensen y T. Schneider, «Comparison of dust released from sanding conventional and nanoparticle-doped wall and wood coatings.,» *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 21, nº 4, pp. 408-418, 2011.
- [71] W. Wohlleben, M. Meier, S. Vogel, R. Landsiedel, G. Cox, S. Hirth y e. al., «Elastic CNT–polyurethane nanocomposite: Synthesis, performance and assessment of fragments released during use.,» *Nanoscale*, vol. 5, nº 1, pp. 369-380, 2013.
- [72] M. Vorbau, L. Hillemann y M. Stintz, «Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings.,» *Journal of Aerosol Science*, vol. 40, nº 3, pp. 209-217, 2009.
- [73] S. Froggett, S. Clancy, D. Boverhof y R. Canady, «A review and perspective of existing research on the release of nanomaterials from solid nanocomposites.,» *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 11, nº 1, pp. 1-28, 2014.
- [74] A. Keller, S. McFerran, A. Lazareva y S. Suh, «Global life cycle releases of engineered nanomaterials.,» *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 15, nº 6, pp. 1-17, 2013.
- [75] I. Hincapié, A. Caballero-Guzman, D. Hiltbrunner y B. Nowack, «Use of engineered nanomaterials in the construction industry with specific emphasis on paints and their flows in construction and demolition waste in Switzerland,» *Waste Management*, vol. 43, pp. 398-406, 2015.

- [76] F. Gottschalk y B. Nowack, «The release of engineered nanomaterials to the environment.,» *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 13, nº 5, pp. 1145-1155, 2011.
- [77] A. Zielnik, «Weather Testing of Paints and Coatings,» *Material Testing Product and Technology News*, vol. 43, nº 93, pp. 1-8, 2013.
- [78] T. Nguyen, B. Pellegrin, C. Bernard, X. Gu, J. Gorham, P. Stutzman y e. al., «Fate of nanoparticles during life cycle of polymer nanocomposites,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 304, nº 1, pp. 1-12, 2011.
- [79] E. Petersen, T. Lam, J. Gorham, K. Scott, C. Long, D. Stanley y e. al., «Methods to assess the impact of UV irradiation on the surface chemistry and structure of multiwall carbon nanotube epoxy nanocomposites,» *Carbon*, vol. 69, pp. 194-205, 2014.
- [80] M. Busquets-Fité, E. Fernandez, G. Janer, G. Vilar, S. Vázquez-Campos, R. Zanasca y e. al., «Exploring release and recovery of nanomaterials from commercial polymeric nanocomposites.,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 429, nº 1, 2013.
- [81] A. Al-Kattan, A. Wichser, R. Vonbank, S. Brunner, A. Ulrich, S. Zuin y e. al., «Release of TiO₂ from paints containing pigment-TiO₂ or nano-TiO₂ by weathering.,» *Environmental Science: Processes & Impacts*, vol. 15, nº 12, pp. 2186-2193, 2013.
- [82] S. Hirth, L. Cena, G. Cox, Ž. Tomović, T. Peters y W. Wohlleben, «Scenarios and methods that induce protruding or released CNTs after degradation of nanocomposite materials.,» *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 15, nº 4, pp. 1-15, 2013.
- [83] D. Brouwer, «Exposure to manufactured nanoparticles in different workplaces.,» *Toxicology*, vol. 269, nº 2–3, pp. 120-127, 2010.
- [84] C. Bekkers, «Nanomaterials at the workplace – measuring and modeling inhalation exposure.,» Utrecht, 2016.
- [85] P. van Broekhuizen, «Nano Matters – Building blocks for a Precautionary Approach.,» Amsterdam, 2012a.
- [86] D. Mitrano, S. Motellier, S. Clavaguera y B. Nowack, «Review of nanomaterial aging and transformations through the life cycle of nano-enhanced products.,» *Environment International*, vol. 77, p. 132–147, 2015.
- [87] P. van Broekhuizen, F. van Broekhuizen, R. Cornelissen y L. Reijnders, «Workplace exposure to nanoparticles and the application of provisional nanoreference values in times of uncertain risks.,» *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 14, nº 4, pp. 770-795, 2012b.
- [88] K. Donaldson, L. Tran, L. Jimenez, R. Duffin, D. Newby, N. Mills, W. MacNee y V. Stone, «Combustion-derived nanoparticles: A review of their toxicology following inhalation exposure,» *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 2, nº 10, pp. 1-14, 2005.
- [89] N. Shandilya, O. Le Bihan y M. Morgeneyer, «A Review on the Study of the Generation of (Nano) particles Aerosols during the Mechanical Solicitation of Materials.,» *Journal of Nanomaterials*, vol. 2014, pp. 1-16.
- [90] J. Schutz y M. H., «Investigating the Emissions of Nanomaterials from Composites and Other Solid Articles during Machining Processes.,» Canberra, 2013.

- [91] HILTI ESPAÑA, «Especializado en herramientas profesionales- Hilti Española,» [En línea]. Available: <https://www.hilti.es>.
- [92] Cortag , «Cortador para Bloques 6L | Cortag- Cortadores de Precisão para Pisos Cerâmicos e Porcelanatos,» [En línea]. Available: <https://www.cortag.com.br/es/cortador-para-bloques-6l>.
- [93] Clarín.com, «Cómo evitar el polvo y la suciedad de una obra- 03/08/2018- Clarín.com,» 03 08 2018. [En línea]. Available: https://www.clarin.com/arq/evitar-polvo-suciedad-obra_0_Hk9-IJWrQ.html.
- [94] sosmold.com, «how to build a DIY mold containment- SOS Environmental LLC SOS Environmental LLC,» [En línea]. Available: <http://sosmold.com/portfolio/build-diy-mold-containment/>. [Último acceso: 4 abr 2019].
- [95] NCDOTcommunications, «hydro-demolition work on a bridge deck | NCDOTcommunications | Flickr,» [En línea]. Available: <https://www.flickr.com/photos/ncdot/10270278403/in/photos-tream/>.
- [96] J. Puente y J. I. Miangolarra, SEGURIDAD PRÁCTICA EN LA CONSTRUCCIÓN, O. I. V. d. S. y. S. Labo- rales, Ed., Barakaldo, Bizkaia, 2009.
- [97] OSHA, «Control of silica dust in construction. Handheld Grinders for Tasks Other Than Mortar Removal.,» Washington, 2017.
- [98] ESIREC, «Pulido y desbastado de suelos y pavimentos- ESIREC,» [En línea]. Available: <https://www.esirec.es/preparacion-de-soportes/pulido-y-desbastado-de-suelos-y-pavimentos/>.
- [99] eLCOSH, «eLCOSH : Construction Dust,» [En línea]. Available: <http://elcosh.org/document/3689/d001228/construction-dust.html>. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [100] Domo Ingenieros, «Lavado bajos y ruedas camiones y vehículos pesados,» [En línea]. Available: <https://www.domoingenieros.com/lavaddo-bajos-y-ruedas/>.
- [101] Froilan (carrocerías, chasis, grúas...), «Froilan (carrocerías, chasis, grúas...): Lonas correderas para bañera,» [En línea]. Available: <http://froilanvi.blogspot.com/2003/09/lonas-correderas-para-baera.html>.
- [102] TEKA GmbH, «TEKA GmbH: mobile-absaug-und-filteranlagen,» [En línea]. Available: <https://es.teka.eu/productos/equipos-moviles-de-aspiracion-y-filtracion/>. [Último acceso: 04 Abr 2019].
- [103] Iberclean, S.A., «Iberclean, S.A.- Aspiración y filtración industrial,» [En línea]. Available: https://iberclean.com/busqueda?orderby=position&orderway=desc&search_query=atex&p=2. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [104] HSE, «WD2 Circular bench saw. COSHH essentials for woodworkers.,» Londres, 2017.
- [105] Maquinariamadera.com, «Sierra de Mesa Lombarte MJ103,» [En línea]. Available: <https://www.maquinariamadera.com/sierras-de-obra/854-sierra-mesa-mj103.html>. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [106] Bosch Professional, «Herramientas eléctricas Bosch | Bosch Professional,» [En línea]. Available: <https://www.bosch-professional.com/es/es/>. [Último acceso: 04 Abr 2019].

- [107] HSE, «WD5 Overhead and CNC routers. COSHH essentials for woodworkers.,» Londres, 2017.
- [108] HSE, «WD7 Sanding machines – hand held (portable belt, disc and orbital). COSHH essentials for woodworkers.,» Londres, 2017.
- [109] RUBI Tools España, «Cortadoras manuales TZ | RUBI Tools España,» [En línea]. Available: <https://www.rubi.com/es/cortadoras-manuales-tz-r636>. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [110] J. Puente y J. I. Miangolarra, Seguridad práctica en la construcción, O. I. V. d. S. y. S. Laborales, Ed., Baracaldo, Bizkaia, 2009.
- [111] SATA.COM, «Pistolas de pintura HVLP / SATA.COM,» [En línea]. Available: <https://www.sata.com/index.php?id=hvlppistoleten&L=2>. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [112] ANZEVE, «Cañones nebulizadores en demolición- Anzeve,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.anzeve.com/marcas/spraystream/aplicaciones/canones-nebulizadores-demolicion/>. [Último acceso: 29 mar 2019].
- [113] NEBUTER PROYECTOS, «CAÑÓN NEBULIZADOR,» [En línea]. Available: <http://www.nebuter.es/canon-nebulizador>. [Último acceso: 29 mar 2019].
- [114] Dustcontrol , «Dustcontrol- Technology for Healthy Business,» [En línea]. Available: <http://dust-control.com/category/92-construction.html>. [Último acceso: 04 abr 2019].
- [115] UE, «REGLAMENTO (CE) Nº 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas,» 2008.
- [116] UE, «REGLAMENTO (CE) nº 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH),» 2006.
- [117] K. Schmid, M.-A. Sidler, L. B. Strotz, V. Furrer, C. Studer, T. Walser, K. Knauer, C. Bosshard y C. Manigley, «Fiche de données de sécurité (FDS): Guide pour les nanomatériaux synthétiques,» Berna, 2016b.
- [118] K. Schmid, M.-A. Sidler, L. B. Strotz, V. Furrer, C. Studer, T. Walser, K. Knauer, C. Bosshard y C. Manigley, «Deux exemples pour illustrer le guide: Fiche de données de sécurité (FDS) pour les nanomatériaux synthétiques (Version 3.0),» Berna, 2016a.
- [119] UE, «REGLAMENTO (CE) Nº 1223/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de noviembre de 2009 sobre los productos cosméticos,» 2009.
- [120] UE, «REGLAMENTO (UE) Nº528/2012 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 22 de mayo de 2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas,» 2012.
- [121] UE, «REGLAMENTO (UE) Nº1169/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº1924/2006 y (CE) nº1925/2006,» 2011.
- [122] UE, «REGLAMENTO (UE) Nº10/2011 DE LA COMISIÓN de 14 de enero de 2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos,» 2011.
- [123] INSST, «Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales.,» Madrid, 2015.

- [124] INSST, «Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo,» Madrid, 2013.
- [125] EU-OSHA, European Agency for Safety and Health at Work , «Literature Review- Workplace exposure to nanoparticles.,» Bilbao, 2009.
- [126] C. Tanarro Gozalo, «NTP-877: Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas.,» Madrid, 2010.
- [127] EU-OSHA, European Agency for Safety and Health at Work, «Herramientas para la gestión de nanomateriales en el lugar de trabajo y medidas de prevención (E-fact: 72).,» Bilbao, 2013.
- [128] BECO, TNO, Arbo Unie, «Stoffenmanager: Nano module,» Ministerie van SZW, [En línea]. Available: <https://nano.stoffenmanager.com/>. [Último acceso: 22 marzo 2019].
- [129] Lawrence Livermore National Laboratory, «Control Banding |,» [En línea]. Available: <https://controlbanding.llnl.gov/>. [Último acceso: 22 marzo 2019].
- [130] «NanoSafer,» [En línea]. Available: <http://www.nanosafer.org/>. [Último acceso: 22 marzo 2019].
- [131] ANSES, «Développement d'un outil de gestion graduée des risques spécifique au cas des nanomatériaux | Saisine N°2008-SA-0407 « Control banding »,» 2011.
- [132] R. Cornelissen, F. Jongeneelen y P. e. a. van Broekhuizen, «Guidance working safely with nano-materials and –products, the guide for employers and employees FNV, VNO/NCW, CNV,» 2011.
- [133] «Group: Good Nano Guide,» [En línea]. Available: <https://nanohub.org/groups/gng?page=HomePage>. [Último acceso: 22 marzo 2019].
- [134] B. Liguori, S. Foss Hansen, A. Baun y K. A. Jensen, «Control banding tools for occupational exposure assessment of nanomaterials — Ready for use in a regulatory context?,» *NanoImpact*, vol. 2, pp. 1-17, 2016.
- [135] S. Paik, D. Zalk y P. Swuste, «Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 52, nº 6, p. 419–428, August 2008.
- [136] D. Zalk, S. Paik y P. Swuste, «Evaluating the control banding nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures,» *Journal of Nanoparticle Research* , vol. 11, nº 7, p. 1685–1704, 2009.
- [137] J. Höck, H. Hofmann, H. Krug, C. Lorenz, L. Limbach y B. e. a. Nowack, «Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials (Version 1),» Berna, 2008.
- [138] J. E. T. H. H. K. K. H. L. C. e. a. Höck, «Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials (Version 2),» Berna, 2011.
- [139] J. E. T. F. E. G. M. H. H. H. K. e. a. Höck, «Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials (Version 2.1),» Berna, 2013.
- [140] B. Van Duuren-Stuurman, S. Vink, K. Verbist, H. Heussen, D. Brouwer, D. Kroese y e. al., «Stoffenmanager Nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 56, nº 5, 2012.

- [141] C. Ostiguy, M. Riediker, J. Triolet, P. Troisfontaines y D. Vernez, «Development of a specific control banding tool for nanomaterials. Request no. 2008-SA-0407- Control banding,» París, 2010.
- [142] C. Ostiguy, M. Debia, B. Roberge y A. Dufresne, «Best Practices Guidance for Nanomaterial Risk Management in the Workplace, Second Edition,» *Studies and Research Projects*. REPORT R-899., 2015.
- [143] M. Riediker, C. Ostiguy, J. Triolet, P. Troisfontaine, D. Vernez, G. Bourdel y e. al., «Development of a control banding tool for nanomaterials,» *Journal of Nanomaterials*, vol. 2012, nº Article ID 879671, p. 8, 2012.
- [144] H. Kristensen, S. Hansen, G. Holm y J. e. a. (. prep.), «Nanopartikler i arbejdsmiljøet: Viden og inspiration om håndtering af nanomaterialer,» 2010.
- [145] B. Duuren-Stuurman, S. Vink, D. Brouwer, D. Kroese, H. Heussen, K. Verbist, E. Tielemans, M. van Niftrik y W. Fransman, «Stoffenmanager Nano: Description of the conceptual control banding model. Report V9216,» *The Hage: Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)*, 2011.
- [146] J. W. Cherrie, T. Schneider, S. Spankie y M. Quinn, «New method for structured, subjective assessment of past concentrations,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 3, pp. 75-83, 1996.
- [147] J. W. Cherrie y T. Schneider, «Validation of a new method for structured, subjective assessment of past concentrations,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 43, nº 4, pp. 235-245, 1999.
- [148] HSE, «The technical basis for COSHH essentials: Easy steps to control chemicals,» London, 2009.
- [149] M. Colorado Soriano, V. Gálvez Pérez y M. T. Sánchez Cabo, «Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas. Método Stoffenmanager nano 1.0,» Madrid, 2013.
- [150] B. Duuren-Stuurman, S. R. Vink, K. J. Verbist, H. G. Heussen, D. H. Brouwer, D. E. Kroese, M. F. van Niftrik, E. Tielemans y W. Fransman, «Stoffenmanager Nano Version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 56, nº 5, pp. 525-541, 2012.
- [151] P. van Broekhuizen y K. Le Blansch, «Pilot Exposure Registration Working with Nanomaterials. Final Report 2014-2015,» 2015.
- [152] INSST, «Límites de exposición profesional para agentes químicos en España,» Madrid, 2018.
- [153] C. Laszcz-Davis, A. Maier y J. Perkins, «The hierarchy of OELs: A new organizing principle for occupational risk assessment,» *The Synergist*, pp. 27-30, March 2014.
- [154] M. Deveau, C.-P. Chen, G. Johanson, D. Krewski, A. Maier, K. J. Niven, S. Ripple, P. A. Schulte, J. Silk, J. H. Urbanus, D. M. Zalk y R. W. Niemeier, «The Global Landscape of Occupational Exposure Limits- Implementation of Harmonization Principles to Guide Limit Selection,» *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 12, nº 1, pp. 127-144, 2015.
- [155] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017.
- [156] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: “Manufactured Nanomaterials” (BekGS 527),» Dortmund, 2013.

- [157] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: “Manufactured Nanomaterials” (BekGS 527),» Dortmund, 2016.
- [158] P. van Broekhuizen, H. Krop, D. Schuurbiers, M. Rissanen, A. Porcari, E. Mantovani, A. Farchi, H. Throne Holst, P. Strandbakken, G. Flament y D. Fedrigo, «Deliverable D3.3– Regulatory research for effective risk assessment- Report on the workshops 1, 2 and 3. NanoDiode,» 2016.
- [159] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007.
- [160] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012.
- [161] J. Pauluhn, «Poorly soluble particulates: Searching for a unifying denominator of nanoparticles and fine particles for DNEL estimation,» *Toxicology*, vol. 279, nº 1–3, pp. 176-188, 2011.
- [162] G. Benke, M. Dennekamp, B. Priestly, M. Sim y H. Morris, «Engineered Nanomaterials: Feasibility of establishing exposure standards and using control banding in Australia,» Canberra, 2010.
- [163] NIOSH, «Occupational Exposure to Titanium Dioxide (Current Intelligence Bulletin 63),» 2011.
- [164] B. Hendriks y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» *Gefahrstoffe – Reinhalt*, vol. 10, pp. 407-414, 2013.
- [165] H. Buist y M. Oosterwijk, «Applicability of provisional NRVs to synthetic nanomaterials. A study within the frame of the project Update of the NRVs. TNO 2017 R10424.,» 2017.
- [166] Institut für Arbeitsschutz der DGUV (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance), «Maßstäbe zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen [Criteria for assessing the effective-ness of protective measures],» Institut für Arbeitsschutz der DGUV (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance), [En línea]. Available: <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/nanopartikel-am-arbeitsplatz/beurteilung-von-schutzmassnahmen/index-2.jsp>. [Último acceso: 06 03 2019].
- [167] NIOSH, «Occupational exposure to carbon nanotubes and Nanofibers (Current Intelligence Bulletin 65),» 2013.
- [168] [En línea]. Available: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances>.
- [169] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» *Nanotoxicology*, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016.
- [170] T. Guidotti, «The regulation of occupational exposure to nanomaterials: a proposal,» *Arch Environ Occup Health*, vol. 65, pp. 57-58, 2010.
- [171] P. M. L. K. L. & M. H. McGarry, «Excursion guidance criteria to guide control of peak emission and exposure to airborne engineered particles,» *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 10, pp. 640-651, 2013.
- [172] AGS, «The risk-based concept for carcinogenic substances developed by the Committee for Hazardous Substances,» 2013.
- [173] H. Stockmann-Juvala, P. Taxell y T. Santonen, «Formulating occupational exposure limits values (OELs) (Inhalation & Dermal) Ref.: Scaffold SPD7,» *Scaffold Public Documents*, 2014.

- [174] P. Van Broekhuizen, W. Van Veelen, W. Streekstra, P. Schulte y L. Reijnders, «Exposure limits for nanoparticles: report of an international workshop on nano reference values,» *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 56, pp. 515-524, 2012.
- [175] K. Aschberger, C. Micheletti, B. Sokull-Kluttgen y F. Christensen, «Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health--lessons learned from four case studies,» *Environment International*, 2011.
- [176] F. Luizi y A. J. Lecloux, «The safe use of carbon nanotubes in coating applications,» de *3rd Annual Nanotechnology "Safety for Success" Dialogue. 3-4 November 2009*, Brussels, 2009.
- [177] J. Nakanishi, Y. Morimoto, I. Ogura, N. Kobayashi, M. Naya, M. Ema, S. Endoh, M. Shimada, A. Ogami, T. Myojyo, T. Oyabu, M. Gamo, A. Kishimoto, T. Igarashi y S. Hanai, «Risk Assessment of the Carbon Nanotube Group,» *Risk Analysis*, vol. 35, 2015.
- [178] J. Pauluhn, «Multi-walled carbon nanotubes (Baytubes): approach for derivation of occupational exposure limit,» *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 57, pp. 78-89, 1 January 2010.
- [179] V. Stone, «Engineered nanoparticles: review of health and environmental safety,» Edinburgh, 2009.
- [180] E. Kuempel, C. Tran, V. Castranova y A. Bailer, «Lung dosimetry and risk assessment of nanoparticles: evaluating and extending current models in rats and humans,» *Inhalation Toxicology*, vol. 18, pp. 717-724, 2006.
- [181] N. Shinohara, M. Gamo y J. Nakanishi, «Fullerene c60: inhalation hazard assessment and derivation of a period-limited acceptable exposure level,» *Toxicological Sciences*, vol. 23, nº 2, pp. 576-589, 2011.
- [182] A. Swidwinska-Gajewska y S. Czerczak, «Nanosilver- Occupational exposure limits,» *Medycyna pracy*, vol. 66, nº 3, pp. 429-442, 2015.
- [183] I. Ogura, M. Gamo, N. Kobayashi, M. Ema, K. Adachi, N. Yamada y O. Yamamoto, «Risk assessment of manufactured nanomaterials, TiO₂,» Tsukuba, Japan, 2011.
- [184] A. Świdwińska-Gajewska y S. Czerczak, «Titanium Dioxide Nanoparticles: Occupational Exposure Limits,» *Medycyna Pracy*, vol. 65, nº 3, pp. 407-418, 2014.
- [185] D. Warheit, «How to measure hazards/risks following exposures to nanoscale or pigmentgrade titanium dioxide particles,» *Toxicology Letters*, vol. 220, pp. 193-204, 2013.
- [186] K. Aschberger, H. J. Johnston, V. Stone, R. I. Aitken, S. M. Hankin, S. A. Peters y C. F. M. Tran C. L., «Review of carbon nanotubes toxicity and exposure—Appraisal of human health risk assessment based on open literature,» *Critical Reviews in Toxicology*, vol. 40, nº 9, pp. 759-790, 2010.
- [187] S. Gordon, J. Butala, J. Carter, A. Elder, T. Gordon, G. Gray, P. Sayre, P. Schulte, C. Tsai y J. West, «Workshop report: strategies for setting occupational exposure limits for engineered nanomaterials,» *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 68, nº 3, pp. 305-311, 2014.
- [188] G. Patlewicz, N. Ball, E. Booth, E. Hulzebos, E. Zvinavashe y C. Hennes, «Use of category approaches, read-across and (Q)SAR: General considerations,» *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 67, nº 1, pp. 1-12, 2013.

- [189] A. Oomen, E. Bleeker, P. Bos, F. Van Broekhuizen, S. Gottardo, M. Groenewold, D. Hristozov, K. Hund-Rinke, M. Irfan, A. Marcomini, W. Peijnenburg, K. Rasmussen, A. Jimenez, J. Scott-Fordsmand, M. Van Tongeren, K. Wiench, W. Wohlleben y R. Landsiedel, «Grouping and Read-Across Approaches for Risk Assessment of Nanomaterials,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, nº 10, p. 13415–13434, 2015.
- [190] OMS, «WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide : global update 2005 : summary of risk assessment,» Ginebra, 2005.
- [191] UE, «DIRECTIVA DEL CONSEJO de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (89/391/CEE),» 1989.
- [192] UE, «DIRECTIVA 98/24/CE DEL CONSEJO de 7 de abril de 1998 relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo,» 1998 .
- [193] P. Schulte, D. Mundt, M. Nasterlack, K. Mulloy y K. Mundt, «Exposure registries: overview and utility for nanomaterial workers.,» *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 53, nº 6, pp. 42-47, 2011.
- [194] S. Malard y A. Radauceanu, «Surveillance médicale des travailleurs exposés à des nanomatériaux. Les enseignements du congrès de Keystone.,» *Documents pour le Médecin du Travail*, vol. 124, pp. 489-493, 2010.
- [195] NIOSH, «Interim guidance for medical screening and hazard surveillance for workers potentially exposed to engineered nanoparticles.,» *Current Intelligence Bulletin*, vol. 60, 2009.
- [196] ISO, «ISO/TR 12885:2008: Nanotechnologies-- Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies,» 2008.
- [197] K. Donaldson, F. Murphy, R. Duffin y C. Poland, «Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma,» *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 22, nº 7, pp. 1-17, 2010.
- [198] S. H. Liou, C. S. Tsai, D. Pelclova, M. K. Schubauer-Berigan y P. A. Schulte, «Assessing the first wave of epidemiological studies of nanomaterial workers,» *Journal of nanoparticle research*, vol. 17, nº 413, 2015.
- [199] E. Bergamaschi, F. Murphy, C. Poland, M. Mullins, A. Costa, E. McAlea, L. Tran y S. Tofail, «Impact and effectiveness of risk mitigation strategies on the insurability of nanomaterial production: evidences from industrial case studies,» *Wires Nanomedicine and Nanobiotechnology* , vol. 7, nº 6, pp. 839-855, Nov-Dec 2015.
- [200] LIFE NanoRISK, «“Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials” (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.
- [201] J. Jahnel, T. Fleischer y S. Seitz, «Risk assessment of nanomaterials and nanoproducts—adaptation of traditional approaches,» *Journal of PhysicsConference Series*, vol. 429, nº conference 1, pp. 1-11, 2013.

- [202] C. Oksel, N. Hunt, T. Wilkins y X. Z. Wang, «RISK MANAGEMENT OF NANOMATERIALS Guidelines for the Safe Manufacture and Use of Nanomaterials (Version 1, January 1, 2017),» 2017.
- [203] UE, «Nanomaterials in REACH and CLP,» 11 dec 2018. [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/reach-clp/index_en.htm. [Último acceso: 14 mar 2019].
- [204] UE, «COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO Y AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO. Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales,» Bruselas, 2012.
- [205] UE, «Informe general sobre REACH. INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES de conformidad con el artículo 117, apartado 4, del Reglamento REACH,» 2013.
- [206] UE, «REGLAMENTO (UE) 2018/1881 DE LA COMISIÓN de 3 de diciembre de 2018 por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias,» 2018.
- [207] UE, «REGLAMENTO (UE) 2015/2283 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de noviembre de 2015 relativo a los nuevos alimentos,» 2015 .
- [208] UE, «REGLAMENTO (UE) 2017/745 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de abril de 2017 sobre los productos sanitarios,» 2017.
- [209] UE, «DIRECTIVA 2004/37/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 29 de abril de 2004 relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo,» 2004.
- [210] UE, «REGLAMENTO (UE) Nº305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 9 de marzo de 2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directi,» 2011.
- [211] MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, «Décret no2012-232 du 17 février 2012 relatif à la déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire pris en application de l'article L. 523-4 du code de l'environnement,» 2012.
- [212] PROSAFE, «The ProSafe White Paper. Towards a more effective and efficient governance and regulation of nanomaterials (Version 20170922),» PROSAFE, 2017.
- [213] Ministerio de la Presidencia, «REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo,» BOE nº 104 01-05-2001, Madrid, 2001.
- [214] E. Tielemans, D. Noy, J. Schinkel, H. Heussen, D. Van Der Schaaf, J. West and W. Fransman, "Stoffenmanager Exposure Model: Development of a Quantitative Algorithm.," *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 52, no. 6, 2008.
- [215] T. Schneider, D. Brouwer, I. Koponen, K. Jensen, W. Fransman, B. van Duuren-Stuurman, M. van Tongeren and E. Tielemans, "Conceptual model for assessment of inhalation exposure to manufactured nanoparticles.," *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 21, no. 5, pp. 450-463, 2011.

- [216] «According to the Nanotech project,» Sandvik Nanoflex® Alloy, [En línea]. Available: <http://www.nanotechproject.org/cpi/products/sandvik-nanoflex-r-alloy/>. [Último acceso: 28 febrero 2019].
- [217] [En línea]. Available: [http://www.industox.nl/Guidance on safe handling nanomats&products.pdf](http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomaterials&products.pdf).
- [218] ISO, "ISO/TS 12901-2:2014: Nanotechnologies-- Occupational risk management applied to engineered nanomaterials-- Part 2: Use of the control banding approach.," 2014.
- [219] HILTI ESPAÑA, «¿Por qué deberías preocuparte por el polvo?- Hilti España,» [En línea]. Available: <https://www.hilti.es/content/hilti/E2/ES/es/empresa/seguridad-salud-y-medio-ambiente/comunidad-de-seguridad-y-salud/being-aware-of-dust.html>. [Último acceso: 18 03 2019].
- [220] HILTI ESPAÑA, «DX 5-F8- Sistemas de fijación con pólvora herramientas&cartuchos- Hilti Española,» [En línea]. Available: https://www.hilti.es/c/CLS_DIRECT_FASTENING/CLS_GEN_PUR_PAT_TOO_CART/r6167462. [Último acceso: 18 03 2019].
- [221] H. Marquart, H. Heussen, M. Le Feber, D. Noy, E. Tielemans, J. Schinkel, J. West and D. Van Der Schaaf, "'Stoffenmanager', a web-based control banding tool using an exposure process model.," *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 52, no. 6, pp. 429-441, 2008.
- [222] B. V. S. Van Duuren-Stuurman, K. Verbist, H. Heussen, D. Brouwer, D. Kroese, M. Van Niftrik, E. Tielemans and W. Fransman, "Stoffenmanager Nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects," *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 56, no. 5, pp. 525-541, 2012.
- [223] Virutex, «Lijadora de banda con aspirador LB31EA :: Virutex,» [En línea]. Available: https://www.virutex.es/productes/?id_categoria=5. [Último acceso: 04 abr 2019].

fichas

ANEXO Nº 1
EJEMPLO DE
FICHAS DE DATOS
DE SEGURIDAD
CON INCLUSIÓN
DE INFORMACIÓN
DEL
NANOMATERIAL

Fuente:^[118]



EJEMPLO 1 PARA MSDS: NANO-BLOGGO

NANO-BLOGGO para tratamiento de superficies

Producto: «NANO-BLOGGO»

Hoja de datos de seguridad del material según el Anexo 2 OChim

Fecha de impresión: 25 de septiembre de 2016 Versión del 24 de septiembre de 2016

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o del preparado y la empresa

1.1 Datos del producto

Marca comercial: NANO-BLOGGO

1.2 Uso previsto

Tratamiento superficial para recubrir con capas hidrófobas y antiincrustantes repelentes al agua.

Texto nano específico:

Las nanopartículas contenidas en la fórmula modifican la estructura de la superficie del producto tratado.

1.3 Datos del fabricante/proveedor

Fabricante/Proveedor: BLOGGO SA/Milchstrasse/8000 Zurich

Información en la ficha de datos de seguridad: ámbito protección de la salud y del medioambiente, tel. 011 111 11 11, info@bloggo.gsu.com

Número de emergencia (empresa): tel. 044 000 00 00

Información de emergencia: Tox Info Suiza, tel. 145

SECCIÓN 2: Identificación de peligros

2.1 Indicación de peligro para el producto

Según el Reglamento (CE) nº 1272/2008 (Reglamento CLP¹)



GHS02 Atención,



GHS07 Atención

2.2 Peligros específicos para las personas y el medio ambiente

Frases h

GHS02 Flam. Liq. 2 **H225** Líquido y vapores muy inflamables

GHS07 Eye Irrit. 2 **H319** Provoca irritación ocular grave.

STOT SE 3 **H336** Puede causar somnolencia o mareos.

Frases p

P233 Mantener el recipiente bien cerrado.

P210 Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes.

No fumar

(La fuente de ignición debe ser especificada por el fabricante/proveedor)

P262 Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE **CONTACTO** CON LOS OJOS: Enjuague cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quítese las lentes de contacto, si está usando y es fácil de retirar. Continuar enjuagando.

Texto nano específico:

El producto contiene nanopartículas funcionalizadas. La pulverización del producto genera aerosoles que contienen nanomateriales. No es posible en este momento evaluar de manera definitiva si surgen peligros específicos. Evite inhalar los aerosoles.

¹Classification, Labelling and Packaging

SECCIÓN 3: Composición/Información del componente

3.1 Caracterización química (preparación)

Texto nano específico:

Dispersión acuosa de alcoholes y nanopartículas funcionalizadas.

3.2 Componentes peligrosos

Sustancia	Etanol	Isopropanol
Contenido	40- 60%	25 - 30%
Nº CAS	64-17-5	67-63-0
Categoría de riesgo	Flam. Liq. 2, Eye Irrit. 2	Flam. Liq. 2, Eye Irrit. 2, STOT SE 3
Frases H	H225, H319	H225, H319, H336

Texto nano específico:

El producto contiene < 1% de nanopartículas funcionalizadas (silanizadas) sobre una base de ácidos silícicos pirogénicos técnicos, SiO₂ (nº CAS 7631-86-9).

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

- **Tras la inhalación:** respire aire fresco.
- **Después del contacto con la piel:** lave la piel afectada a fondo con abundante agua. Quitar la ropa sucia.
- **Después del contacto con los ojos:** enjuague los ojos inmediatamente y por completo (15 minutos) retirando los párpados bajo el agua corriente (proteja el ojo no afectado, retire las lentes). Si es necesario, llame a un oftalmólogo.
- **Después de tragar:** beba inmediatamente agua. Consulte a un médico en caso de problemas.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción adecuados

Dióxido de carbono, espuma, polvo extintor.

5.2 Riesgos especiales en la lucha contra incendios

Sustancia combustible; Los vapores son más pesados que el aire y se esparcen a nivel del suelo. En caso de incendio, pueden liberarse gases y vapores peligrosos. Las mezclas explosivas en contacto con el aire son posibles a temperatura normal. No extinguir por proyección directa de agua. Durante la lucha contra incendio permanezca en el área de peligro solo con un aparato de respiración autónomo.

5.3 Información adicional

Enfríe los recipientes cerrados cerca del fuego con un chorro de agua y retírelos si es posible. No permita que el agua de la extinción desagüe en aguas superficiales o subterráneas.

Texto nano específico:

Las nanopartículas contenidas no son susceptibles de aumentar la combustibilidad.

SECCIÓN 6: Medidas de liberación accidental

6.1 Medidas relativas a las personas

Evite el contacto con sustancias.

Asegúrese de tener suficiente aire fresco. No inhale los vapores/aerosoles.

6.2 Medidas de protección ambiental

No permita que desagüe en las tuberías.

6.3 Procedimiento de limpieza

Limpie con materiales absorbentes de líquidos (por ejemplo Chemizorb®) y deséchelos. Haga una limpieza de acabado.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Manejo

Indicaciones para una manipulación segura: Evitar la inhalación de vapores innecesarios.

Consejos de protección contra incendios y explosiones: Mantener alejado de llamas, superficies calientes y fuentes de ignición.

7.2 Almacenamiento

Información adicional sobre las condiciones de almacenamiento: Almacene los contenidos sellados lejos de las fuentes de ignición y calor en un lugar fresco (entre 5° y 30° C) y bien ventilado.

SECCIÓN 8: Controles de exposición y protección personal

8.1. Componentes con valores límite en el lugar de trabajo

(VME/VLE de los componentes mencionados en la sección 3 de la FDS)

Nombre de la sustancia: Etanol

Nº. CAS: 64-17-5

VLE ("valores límite para la exposición en el lugar de trabajo"): 1000 ml/m³ (ppm) o 1920 mg/m³

VME ("Valor medio de exposición"): 500 ml/m³ (ppm) o 960 mg/m³

Nombre de la sustancia: isopropanol (propan-2-ol, 2-propanol)

Número CAS: 67-63-0

VLE ("valores límite para la exposición en el lugar de trabajo"): 400 ml/m³ (ppm) o 1000 mg/m³

VME ("Valor medio de exposición"): 200 ml/m³ (ppm) o 500 mg/m³

Texto nano específico:

En términos de toxicología y medicina del trabajo, todavía no es posible establecer valores límite específicos para las nanopartículas funcionalizadas contenidas en el producto.

La pulverización del producto genera aerosoles que contienen nanopartículas; especialmente cuando se usan propelentes, los aerosoles que contienen nanopartículas pueden ser lo suficientemente finos para entrar en los pulmones. Evite la exposición o minimice los aerosoles; si es inevitable, por medidas técnicas (ventilación, uso en un entorno separado, como una cabina de pintura).

8.2 Medidas de protección personal

Equipo de protección individual (EPI): El EPI debe seleccionarse según la cantidad y concentración de sustancias peligrosas. La resistencia a las sustancias químicas de los medios de protección debe aclararse por los proveedores.

Protección respiratoria: tipo de filtro A (en presencia de vapores o aerosoles); EN143, EN14387.

Texto nano específico:

Si las medidas de protección técnica son insuficientes para evitar la liberación de vapores, aerosoles o nanopartículas, se debe usar protección respiratoria personal (clase de filtro P-3).

Guantes: en caso de un contacto potencial prolongado con la piel, use guantes protectores; EN374. En caso de contacto completo, use guantes de goma butílica de 0,7 mm de grosor con una resistencia a la penetración de al menos 480 minutos. Para protegerse contra el contacto con salpicaduras, use guantes de goma de nitrilo de 0,4 mm de espesor con una resistencia a la penetración de al menos 120 minutos.

Texto nano específico:

Si no se puede evitar el contacto directo con una solución que contiene nanopartículas, se deben usar dos capas de guantes superpuestos siempre que sea posible.

Ropa protectora: Use ropa ignífuga o ropa protectora antiestática ignífuga; EN14605, EN13982, EN345.

Texto nano específico:

Use ropa protectora hecha de membrana material (no tejido); Evitar las telas tejidas.

SECCIÓN 8: Controles de exposición y protección personal

Protección de los ojos: Obligatorio; EN166.

Texto nano específico:

Las gafas protectoras deben cerrar correctamente; una máscara completa es preferible.

Medidas de higiene: No fumar, beber o comer en el trabajo. Evite el contacto prolongado o repetido con la piel (aplique una crema protectora, póngase guantes protectores). No inhale los vapores/niebla de pulverización. No guarde en el bolsillo de su ropa un paño de limpieza manchado con el producto. Mantenga los alimentos, bebidas y alimentos lejos. Lávese las manos antes de los descansos y al final del trabajo.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

Forma: líquido

Color: incoloro

Olor: característico del alcohol

Valor del pH de la sustancia: aprox. 5,0 a 20 °C

Punto de fusión: -120 °C.

Punto de ebullición: 78 °C

Temperatura de ignición: 425 °C

Punto de inflamación («closed cup»): 15 °C

Propiedades comburentes: sin datos disponibles

Inflamabilidad: fácilmente inflamable

Límite inferior de explosión: 3,5% vol

Límite superior de explosión: 15% vol

Presión de vapor: aprox. 59 hPa (a 20 °C)

Densidad de vapor relativa: no determinada

Tasa de evaporación: no determinada

Autoencendido: no determinado

Densidad: 0,92 g/cm³ (a 20 °C)

Solubilidad en agua: soluble a 20 °C

Solubilidad en disolventes orgánicos: no soluble en disolventes orgánicos no polares (a 20 °C)

Texto nano específico:

Máximo granulométrico de las nanopartículas contenidas: 45 nm (según el método “Análisis de seguimiento de nanopartículas” (“Nanoparticle Tracking Analysis”))

Solubilidad en agua de nanopartículas contenidas: 1.8 mmol / L (pH 7.3, 37 °C), (informe ECE-TOC / JACC, 51/2006)

Actividad redox y actividad catalítica / fotocatalítica de las nanopartículas contenidas: desconocida

Aglomeración y agregación de nanopartículas contenidas: el ácido silícico pirógeno forma aglomerados estables en las condiciones habituales del proceso (informe ECETOC / JACC, 51/2006).

Potencial zeta de las nanopartículas contenidas: desconocido.

SECCIÓN 10: Estabilidad y capacidad de respuesta

Condiciones a evitar: calentamiento

Sustancias a evitar: peligro de explosión con oxidantes fuertes

Productos de descomposición peligrosos: ninguno conocido

Información adicional: ninguna

Texto nano específico:

El material de base de las nanopartículas contenidas (ácido silícico pirógeno, SiO₂) es estable.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

La clasificación toxicológica del preparado se realizó sobre la base de los resultados obtenidos mediante el método de cálculo del Reglamento (CE) nº 1272/2008 (Reglamento CLP²).

Texto nano específico:

Debido al contenido de ácido silícico pirogénico, en el cuerpo humano es posible la producción de radicales de oxígeno y citoquinas inflamatorias (LAM et al., 2004).

Los siguientes datos son válidos para el etanol:

Toxicidad aguda: LD 50 cuando se toma por vía oral: 6200 mg/kg (oral/rata) IUCLID

Toxicidad aguda: LD 50 cuando se inhala: 95,6mg/l, 4 h RTECS

Toxicidad aguda si se absorbe a través de la piel: síntomas de dermatitis

Irritación de la piel (conejo): ninguna irritación (directiva OCDE 404)

Irritación ocular (conejo): ninguna irritación (directiva OECD 405)

Prueba de sensibilización: negativa (Magnusson y Kligman / IUCLID)

No se conocen otros datos relativos a la preparación específica.

²Classification, Labelling and Packaging

SECCIÓN 12: Información ecológica

Información general: La clasificación ecotoxicológica del preparado se realizó sobre la base de los resultados obtenidos por el método de cálculo del Reglamento (CE) n.º 1272/2008 (Reglamento CLP³).

Los siguientes datos son válidos para el etanol:

Toxicidad para los peces (*Leuciscus idus*): CL 50 etanol: 8140 mg/l (48h)

Toxicidad para las pulgas de agua (*daphnia magna*): CE 50 de etanol: 1-14g/l (48h)

Toxicidad para las algas (*scenedesmus quadricauda*): CE 5 de etanol: 5000 mg/l (7d)

Texto nano específico:

La producción de radicales de oxígeno y citoquinas es posible (LAM et al., 2004).

Otras indicaciones ecológicas: no debe producirse ninguna alteración de la planta de tratamiento depuradora en caso de uso correcto. En altas concentraciones, los efectos son perjudiciales para los organismos acuáticos.

Irritación ocular (conejo): ninguna irritación (directiva OECD 405)

Texto nano específico:

En el medio ambiente, el ácido silícico pirógeno es inerte y no se transforma, excepto por disolución (informe ECETOC / JACC, 51/2006).

SECCIÓN 13: Información de eliminación

Producto: residuos especiales "Otros disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos" (código 07 01 04 S).

Datos adicionales: los contenedores vacíos pueden eliminarse como residuos urbanos.

Código de tipo de desecho (Suiza): 15 01 01, 15 01 02, 15 01 04, 15 01 05, 15 01 06, 15 01 07 o 15 01 09.

Texto nano específico:

Los residuos contienen <1% de nanopartículas funcionalizadas (silanizadas) basadas en sílices pirogénicas técnicas (CAS # 7631-86-9).

SECCIÓN 14: Información de transporte

Transporte por carretera ADR/RID: Número ONU: 1263 Pinturas, clase 3, GE II

Número ONU: 1170 etanol, / índice Kemler: 33

Nombre de envío correcto: 33/1263 Pinturas, solución

³Classification, Labelling and Packaging

SECCIÓN 15: informaciones reglamentarias

15.1 Marcado de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 1272/2008 (Reglamento CLP⁴)

Ingrediente(s) peligroso(s): Propan-2-ol, etanol

Pictograma, código de pictograma y palabra de advertencia:



GHS02 Atención,



GHS07 Atención

Frases H:

GHS02 Flam. Liq. 2 **H225** Líquido y vapores muy inflamables

GHS07 Eye Irrit. 2 **H319** Provoca irritación ocular grave.

STOT SE 3 H336 Puede causar somnolencia o mareos.

Frases P:

P233 Mantener el recipiente bien cerrado.

P210 Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes.

No fumar (*Fuente(s) de ignición a especificar por el fabricante/proveedor*).

P262 Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuague cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quítese las lentes de contacto, si están presentes y es fácil de hacer. Continuar enjuagando.

15.2 Disposiciones nacionales

Ordenanza sobre protección del aire (OPair): clase: III; proporción en %: 98.

⁴Classification, Labelling and Packaging

SECCIÓN 16: Otra información

Los datos se basan en el estado actual de los conocimientos y no constituyen una garantía de propiedad en el sentido jurídico. Las prescripciones deben observarse bajo su propia responsabilidad. Por favor, consulte la hoja de datos del producto para obtener información adicional al respecto.



GHS02 Atención,



GHS07 Atención

Frases H que caracterizan los componentes:

GHS02 Flam. Liq. 2 **H225** Líquido y vapores muy inflamables

GHS07 Eye Irrit. 2 **H319** Provoca irritación ocular grave.

STOT SE 3 **H336** Puede causar somnolencia o mareos.

Información en la hoja de datos de seguridad: Protección de la salud y medioambiente (044 111 11 11, info@bloggo.gsu.com).

Texto nano específico:

[Esta FDS contiene información específica de los nanomateriales.](#)

ANEXO Nº 2 OFICIOS

En las siguientes páginas se estudian los oficios que pueden verse afectados por la exposición a nanopartículas los cuales han sido analizados siguiendo las referencias indicadas a lo largo del documento.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

DEMOLICIÓN Y REHABILITACIÓN

1

Herramientas rotativas, procesos en caliente, caída libre de sólidos, líquidos y polvo, fractura de sólidos, impacto y vibración, manipulación, mecanizado^[1].

Fuentes

En trabajos de demolición mecánica (uso de maquinaria pesada)^[1].

Ejemplos:

- Retroexcavadora
- Martillo hidráulico (sobre máquina)
- Brazo de empuje hidráulico, cizallas (para hormigón o hierro) y tenazas
- Robots para demolición

En trabajos de demolición manual (uso de herramientas de potencia)^[1].

Ejemplos:

- Radial
- Martillo neumático
- Sierras circulares manuales
- Martillo eléctrico
- Sierra de cadena
- Soldadura

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Herramientas rotativas: • El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. • La fuente de emisión puede crear una nube en forma de chorro (por ejemplo, amoladora angular con guarda).	Polvo y niebla
Procesos en caliente: El humo asciende, se expande, se enfría y se mezcla con el aire del recinto.	Humo, vapor, gas
Caída libre de sólidos, líquidos y polvo: La caída de material induce un flujo de aire hacia abajo. Si el material es un polvo, habrá un poco de cizallamiento del aire cargado de polvo en los bordes de la corriente que cae.	Polvo, vapor
Fractura de sólidos: La presión conduce a una fractura del sólido con una liberación muy local pero explosiva de aire cargado de polvo (nube de polvo).	Polvo
Impacto y vibración: • El choque del impacto físico o la vibración crea una nube de polvo. • La ropa contaminada con polvo también puede crear una nube de polvo. • El polvo sedimentado puede volver a resuspenderse en el aire.	Polvo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Mecanismos de creación: ^[1]	Forma
Manipulación: Los mecanismos dependerán de lo que se maneje. Si está cubierto de polvo sedimentado, se puede volver a suspender. Si los objetos se apilan, el desplazamiento del aire puede llevar a una nueva suspensión. El transporte de objetos polvorientos puede provocar la contaminación directa de la ropa de trabajo y la piel.	Polvo
Mecanizado: Niebla de fluido refrigerante creada por partes rotativas y / o recíprocas. Impulso del chorro de fluido en el mecanismo de mecanizado a medida que se activan las herramientas. Humo condensado si el material que se está trabajando se calienta lo suficiente.	Niebla

Tipo de nanopartícula – origen ^[2]	MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM. FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP. PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.
Valores límite de exposición a nanopartículas	Ejemplos: • Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3]. • Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}. • Valores de referencia propuestos por BAuA^[6]. • Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].
Medidas preventivas	• Incluir medidas específicas para exposición a nanopartículas en el plan de demolición. • Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de herramientas de menos potencia. • Uso de EPI adecuados. • Uso de cañones nebulizadores. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. • Uso de herramientas con aportación de agua (vía húmeda). • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. • Equipos de extracción localizada móviles (especialmente en trabajos de soldadura). • Aplicación de sistemas de demolición automatizados, robots. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Equipos de protección individual	Conductores de vehículos pesados^[9]: • Máscara autofiltrante FFP3. • Gafas de seguridad. • Chaqueta sin costuras. • Guantes de nitrilo. Demolición manual (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]: • Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras): - Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). - Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). - Guantes de Látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo). - Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades. - Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).
Referencia bibliográfica	[1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. [5] B. Hendriks y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i>, vol. 10, pp. 407-414, 2013. [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i>, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i>, 20 04 2015. [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178).,» 2016.

ESTRUCTURAS METÁLICA

FERRALLADO

ELECTRICIDAD, MONTAJE Y MANTENIMIENTO
DE INSTALACIONES DE AT Y BT

FONTANERÍA E INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN

INSTALACIONES DE ASCENSORES

CARPINTERÍA METÁLICA Y CERRAJERÍA

TRABAJOS DE HERRERÍA

SOLDADURA

2

Herramientas rotativas, procesos en caliente^[1].

Fuentes

Ejemplos:

- Taladro.
- Soldadura.

Mecanismos de creación^[1]

Forma

Herramientas rotativas:

El aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.

Polvo

Procesos en caliente:

El humo asciende, se expande, se enfría y se mezcla con el aire del recinto.

Humo, vapor, gas

Tipo de
nanopartícula –
origen^[2]

MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM.

FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP.

PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.

Valores límite de
exposición a
nanopartículas

Ejemplos:

- Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3].
- Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN) (SER, 2012)^[5].
- Valores de referencia propuestos por BAUA^[6].
- Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIALFUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Medidas preventivas	• Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de herramientas de menos potencia. • Uso de EPI adecuados. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. • Equipos de extracción localizada móviles (especialmente en trabajos de soldadura). • Uso sistemas de fijación directa, siempre que sea posible, para evitar el taladrado. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).
Equipos de protección individual	Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • Guantes de Látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades. • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).
Referencia bibliográfica	[1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. [5] B. Hendriks y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i>, vol. 10, pp. 407-414, 2013. [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i>, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i>, 20 04 2015. [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178).,» 2016.

ESTRUCTURAS DE MADERA

CARPINTERÍA DE MADERA

3

Herramientas rotativas y piezas, abrasión ^[1].

Fuentes

Ejemplos:

- Sierra de corte manual para madera.
- Sierra de mesa para madera.
- Fresadora manual para madera.
- Taladro manual.
- Pulidora.

Mecanismos de creación^[1]

Forma

Herramientas rotativas y piezas:

El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. El movimiento de aire creado puede ser un chorro de aire unidireccional si la parte giratoria está parcialmente encerrada en, por ejemplo, un protector. O el aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.

Polvo

Abrasión:

Frotando una superficie por fricción. La superficie y el abrasivo (hasta cierto punto) se disgregan en partículas. Las partículas finas son suspendidas en el aire.

Polvo

Tipo de nanopartícula – origen^[2]

MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM.

FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP.

PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.

Valores límite de exposición a nanopartículas

Ejemplos:

- Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3].
- Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}.
- Valores de referencia propuestos por BAUA^[6].
- Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Medidas preventivas	• Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de herramientas de menos potencia. • Uso de EPI adecuados. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. • Eliminar la "capa límite" del aire cargado de polvo que se mueve con el disco giratorio. • Dimensiones adecuadas de los materiales, por lo que se necesita menos corte o preparación. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).
Equipos de protección individual	Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • Guantes de Látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades. • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).
Referencia bibliográfica	[1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV). HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. [5] B. Hendriks y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i>, vol. 10, pp. 407-414, 2013. [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i>, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i>, 20 04 2015. [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.

COLOCACIÓN DE MATERIALES DE CUBRICIÓN**ALBAÑILERÍA****REVESTIMIENTO DE YESO****SOLADOS Y ALICATADOS****INSTALACIONES TEMPORALES DE OBRA Y AUXILIARES:
plantas de aglomerado, de hormigón, de machaqueo y
clasificación de áridos**

4

Herramientas rotativas y piezas, Caída libre, sólidos, líquidos y polvos, Desplazamiento / movimiento, Proyección / pulverización, Impacto y vibración, Compactación, Manipulación, Abrasión, Barrido^[1]

Fuentes**Ejemplos:**

- Rozadora.
- Radial.
- Pastera.
- Pulidoras.
- Silos de cemento y mortero.
- Manipulación de sacos vacíos de cementos y morteros.
- Máquina de proyección.
- Sierra de corte cerámica

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Herramientas rotativas y piezas: El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. El movimiento de aire creado puede ser un chorro de aire unidireccional si la parte giratoria está parcialmente encerrada en, por ejemplo, un protector. O el aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.	Polvo
Caída libre, sólidos, líquidos y polvos: La caída de material induce un flujo descendente de aire.	Polvo
Desplazamiento / movimiento: • Los materiales desplazan su propio volumen de aire contaminado del contenedor. • Si han caído desde una altura, el flujo de aire inducido desplazará aún más aire del contenedor.	Polvo
Proyección / pulverización: La presión del aire comprimido produce un chorro que induce un mayor movimiento del aire.	Niebla, vapor, polvo
Impacto y vibración: • El choque del impacto físico o la vibración crea una nube de polvo. • La ropa contaminada con polvo también puede crear una nube de polvo. • El polvo sedimentado puede volver a resuspenderse en el aire.	Polvo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Compactación: La compactación crea una nube de polvo. El movimiento del material puede entonces crear un flujo de aire.	Polvo
Manipulación: Los mecanismos dependerán de lo que se maneje. Si está cubierto de polvo sedimentado, se puede volver a suspender. Si los objetos se apilan, el desplazamiento del aire puede llevar a una nueva suspensión. El transporte de objetos polvorientos puede provocar la contaminación directa de la ropa de trabajo y la piel.	Polvo, niebla
Abrasión: Frotando una superficie por fricción. La superficie y el abrasivo (hasta cierto punto) se disgregan en partículas. Las partículas finas son suspendidas en el aire.	Polvo
Barrido: Resuspensión del polvo: una nube de polvo que se mueve en la dirección del barrido o cepillado.	Polvo

Tipo de nanopartícula – origen ^[2]	MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM. FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP. PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.
Valores límite de exposición a nanopartículas	Ejemplos: - Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3]. - Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}. - Valores de referencia propuestos por BAuA^[6]. - Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].
Medidas preventivas	- Planear cuidadosamente los trabajos. - Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. - Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. - Uso de herramientas de menos potencia. - Uso de EPI adecuados. - Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. - Uso de caperuzas de retención de polvo en taladros. - En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. - Eliminar la "capa límite" del aire cargado de polvo que se mueve con el disco giratorio. - Dimensiones adecuadas de los materiales, por lo que se necesita menos corte o preparación.



Medidas preventivas

- Uso de cortadores manuales en vez de herramientas de potencia para corte, por ejemplo tejas y baldosas.
- No doblar ni prensar los sacos vacíos para evitar emisiones de polvo.
- Disminuir la altura de caída al descargar materiales pulverulentos. Uso de bombas neumáticas.
- Realizar cargas directas de los silos a las máquinas de proyección de morteros y cemento para proyección.
- En operaciones de pulido de paramentos y suelos utilizar herramientas con sistema de aspiración.
- No realizar limpiezas con cepillos, escobas o aire comprimido.

(Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).

Equipos de protección individual

Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]):

- Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas).
- Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes).
- Guantes de Látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo).
- Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades.
- Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).

Para operaciones de pulverización y aerosoles líquidos de MNM (Nano-aerosoles irritantes) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]):

- Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas).
- Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes).
- Guantes de Nitrilo.
- Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes).
- Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 3-4-6).
- Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Referencia bibliográfica

- [1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a.
- [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017.
- [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007.
- [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012.
- [5] B. Hendrikx y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» *Gefahrstoffe – Reinhalt*, vol. 10, pp. 407-414, 2013.
- [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016.
- [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» *Nanotoxicology*, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016.
- [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017.
- [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» *Scaffold Public Documents*, 20 04 2015.
- [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

PINTURA

5

Proyección / pulverización^[1].

Fuentes

- Pistolas de pulverización de pintura.

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Proyección / pulverización: • La presión del aire comprimido produce un chorro que induce un mayor movimiento del aire. • Una pistola de pintura puede emitir aire a más de 100 m/s, extendiéndose más de 12 m.	Niebla, vapor, polvo
Tipo de nanopartícula – origen ^[2]	MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM. FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP. PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.
Valores límite de exposición a nanopartículas	Ejemplos: • Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3]. • Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}. • Valores de referencia propuestos por BAuA^[6]. • Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].
Medidas preventivas	• Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de pistolas para pintura a baja presión y alto volumen (HVLP). • Uso de EPI adecuados. • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIALFUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Equipos de protección individual	Para operaciones de pulverización y aerosoles líquidos de MNM (Nano-aerosoles irritantes) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • Guantes de Nitrilo. • Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 3-4-6). • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).
Referencia bibliográfica	[1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. [5] B. Hendrikx y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i>, vol. 10, pp. 407-414, 2013. [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i>, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i>, 20 04 2015. [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.

OPERADORES DE EQUIPOS MANUALES

6

Herramientas rotativas y piezas, Impacto y vibración, Manipulación, Abrasión, Barrido^[1]

Fuentes

Ejemplos:

- Rozadora.
- Radial.
- Pulidoras.
- Sierra de corte cerámica.
- Radial.
- Martillo neumático.
- Sierras circulares manuales.
- Martillo eléctrico.
- Taladros.
- Sierra de cadena.

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Herramientas rotativas y piezas: El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. El movimiento de aire creado puede ser un chorro de aire unidireccional si la parte giratoria está parcialmente enmascarada en, por ejemplo, un protector. O el aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.	Polvo
Impacto y vibración: • El choque del impacto físico o la vibración crea una nube de polvo. • La ropa contaminada con polvo también puede crear una nube de polvo. • El polvo sedimentado puede volver a resuspenderse en el aire.	Polvo
Manipulación: Los mecanismos dependerán de lo que se maneje. Si está cubierto de polvo sedimentado, se puede volver a suspender. Si los objetos se apilan, el desplazamiento del aire puede llevar a una nueva suspensión. El transporte de objetos polvorientos puede provocar la contaminación directa de la ropa de trabajo y la piel.	Polvo, niebla
Abrasión: Frotando una superficie por fricción. La superficie y el abrasivo (hasta cierto punto) se disgregan en partículas. Las partículas finas son suspendidas en el aire.	Polvo
Barrido: Resuspensión del polvo: una nube de polvo que se mueve en la dirección del barrido o cepillado.	Polvo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Tipo de nanopartícula – origen ^[2]	MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM. FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP. PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.
Valores límite de exposición a nanopartículas	Ejemplos: • Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3]. • Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}. • Valores de referencia propuestos por BAuA^[6]. • Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].
Medidas preventivas	• Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de herramientas de menos potencia. • Uso de EPI adecuados. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. • Uso de herramientas con aportación de agua (vía húmeda). • Uso de caperuzas de retención de polvo en taladros. • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. • Dimensiones adecuadas de los materiales, por lo que se necesita menos corte o preparación. • Uso de cortadores manuales en vez de herramientas de potencia para corte. • En operaciones de pulido de paramentos y suelos utilizar herramientas con sistema de aspiración. • No realizar limpiezas con cepillos, escobas o aire comprimido. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).
Equipos de protección individual	Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascarilla completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascarilla con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • Guantes de látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades. • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascarilla).

Equipos de protección individual	Para operaciones de pulverización y aerosoles líquidos de MNM (Nano-aerosoles irritantes) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascara completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascara con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • -Guantes de Nitrilo (preferentemente Nitrilo). • Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 3-4-6). • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascara).
Referencia bibliográfica	[1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. [5] B. Hendrikx y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i>, vol. 10, pp. 407-414, 2013. [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i>, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i>, 20 04 2015. [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

ENCOFRADORES

7

Proyección/pulverización^[1].

Fuentes

Ejemplos:

- Limpiezas de motobombas.
- Vertido de hormigón.

Mecanismos de creación^[1]

Forma

Proyección / pulverización:

La presión del aire comprimido produce un chorro que induce un mayor movimiento del aire.

Niebla, vapor, polvo

Tipo de nanopartícula – origen^[2]

MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM.

FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP.

PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.

Valores límite de exposición a nanopartículas

Ejemplos:

- Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3].
- Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}.
- Valores de referencia propuestos por BAuA^[6].
- Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].

Medidas preventivas

- Planear cuidadosamente los trabajos.
- Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo.
- Uso de EPI adecuados.

(Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).

Equipos de protección individual

Para operaciones de pulverización y ligera pulverización- salpicaduras (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]):

- Mascarilla completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas).
- Media mascarilla con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes).
- Guantes de Nitrilo.
- Guantes de caucho de butilo (MNM en solventes).
- Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN1073-1 tipo 4-6).
- Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascarilla).



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRABAJO, MIGRACIONES Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN ESTATAL PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Referencia bibliográfica

- | | |
|------|--|
| [1] | HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a. |
| [2] | J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017. |
| [3] | BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007. |
| [4] | SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012. |
| [5] | B. Hendriks y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» <i>Gefahrstoffe – Reinhalt</i> , vol. 10, pp. 407-414, 2013. |
| [6] | BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016. |
| [7] | R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» <i>Nanotoxicology</i> , vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016. |
| [8] | OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017. |
| [9] | D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» <i>Scaffold Public Documents</i> , 20 04 2015. |
| [10] | LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178).,» 2016. |



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

TALLER DE MATERIALES: piedras industriales, tratamiento o transformación de materiales, canteros y similares

8

Herramientas rotativas y piezas, Impacto y vibración, Manipulación, Abrasión, Barrido^[1].

Fuentes

Ejemplos:

- Pulidoras.
- Radial.
- Sierras circulares manuales.
- Taladros.

Mecanismos de creación ^[1]	Forma
Herramientas rotativas y piezas: El movimiento giratorio crea un efecto de abanico. El movimiento de aire creado puede ser un chorro de aire unidireccional si la parte giratoria está parcialmente encajada en, por ejemplo, un protector. O el aire de la fuente puede fluir hacia el exterior radialmente en el plano de rotación.	Polvo
Impacto y vibración: • El choque del impacto físico o la vibración crea una nube de polvo. • La ropa contaminada con polvo también puede crear una nube de polvo. • El polvo sedimentado puede volver a resuspenderse en el aire.	Polvo
Manipulación: Los mecanismos dependerán de lo que se maneje. Si está cubierto de polvo sedimentado, se puede volver a suspender. Si los objetos se apilan, el desplazamiento del aire puede llevar a una nueva suspensión. El transporte de objetos polvorientos puede provocar la contaminación directa de la ropa de trabajo y la piel.	Polvo, niebla
Abrasión: Frotando una superficie por fricción. La superficie y el abrasivo (hasta cierto punto) se disgregan en partículas. Las partículas finas son suspendidas en el aire.	Polvo
Barrido: Resuspensión del polvo: una nube de polvo que se mueve en la dirección del barrido o cepillado.	Polvo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN

Tipo de nanopartícula – origen^[2]	MNM: de materiales convencionales que contienen en su composición MNM. FCNP: fracción de nanopartículas contenidas en una sustancia o componente convencional. No es un nanomaterial, pero podría liberar en usos con procesos de "baja energía" NP. PGNP: las nanopartículas generadas por procesos son NP que se forman en procesos de calefacción y combustión por motores eléctricos y procesos de mecanizado de alta energía.
Valores límite de exposición a nanopartículas	Ejemplos: • Niveles de exposición de referencia del Reino Unido (BEL)^[3]. • Valores de referencia temporales de los Países Bajos (VRN)^{[4][5]}. • Valores de referencia propuestos por BAuA^[6]. • Valores límites de exposición laboral propuestos para MNM^[7], modificado por (OMS, 2017)^[8].
Medidas preventivas	• Planear cuidadosamente los trabajos. • Limitar el número de personas que necesitan estar en el área de trabajo. • Apantallar las áreas para evitar la propagación del polvo. • Uso de herramientas de menos potencia. • Uso de EPI adecuados. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración incorporada. • Uso de herramientas con aportación de agua (vía húmeda). • En espacios cerrados, uso de sistemas de extracción y filtrado general. • Dimensiones adecuadas de los materiales, por lo que se necesita menos corte o preparación. • Uso de cortadores manuales en vez de herramientas de potencia para corte. • Uso de extracción localizada. • No realizar limpiezas con cepillos, escobas o aire comprimido. (Ver medidas técnicas en capítulo 4 del manual).
Equipos de protección individual	Para trabajos de mecanizado y MNM en suspensión en el aire (partículas secas o fibras) (ITENE en (LIFE NanoRISK, 2016)^[10]): • Mascarilla completa con filtro mecánico P3 (para operaciones continuas). • Media mascarilla con filtro mecánico P3 (para operaciones intermitentes). • Guantes de Látex – Nitrilo (preferentemente Nitrilo). • Buzo/mono protector de cuerpo entero (EN 1073-1 tipo 5) para grandes cantidades. • Gafas de seguridad a prueba de polvo (gafas integrales) (solo si se utiliza media mascarilla).

Referencia bibliográfica

- [1] HSE, "Controlling airborne contaminants at work. A guide to local exhaust ventilation (LEV).HSG258 (Third edition)," Londres, 2017a.
- [2] J. van Broekhuizen, «Applicability of provisional NRVs to PGNPs and FCNPs.,» 2017.
- [3] BSI, «Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.,» 2007.
- [4] SER, «Provisional nano reference values for engineered nanomaterials (Advisori Report/March 2012),» Hague, 2012.
- [5] B. Hendrikx y P. van Broekhuizen, «Nano reference values in the Netherlands,» *Gefahrstoffe – Reinhalt*, vol. 10, pp. 407-414, 2013.
- [6] BAuA, «Announcement on Hazardous Substances 527: "Manufactured Nanomaterials" (BekGS 527),» Dortmund, 2016.
- [7] R. Mihalache, J. Verbeek, H. Graczyk, V. Murashov y P. van Broekhuizen, «Occupational exposure limits for manufactured nanomaterials, a systematic review,» *Nanotoxicology*, vol. 11, nº 1, pp. 7-19, 2016.
- [8] OMS, «WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials,» Ginebra, 2017.
- [9] D. J. D. C. J. E. M. K. B. A. e. a. Boutry D, «BEST PRACTICE GUIDE FOR RISK PROTECTION INRELATION WITH MANUFACTURED NANOMATERIALS(MNMs) IN THE CONSTRUCTION SECTOR-Ref.: Scaffold SPD13,» *Scaffold Public Documents*, 20 04 2015.
- [10] LIFE NanoRISK, «"Best practices effectiveness, prevention and protection measures for control of risk posed by engineered nanomaterials" (First Edition, 2016). (LIFE12 ENV/ES/000178),» 2016.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO, MIGRACIONES
Y SEGURIDAD SOCIAL



FUNDACIÓN
ESTATAL PARA
LA PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES, F.S.P.



FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN