



RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA AUTOMOCIÓN

DOCUMENTOS DIVULGATIVOS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Título:

Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales en el sector de la automoción

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

Elaborado por:

Josefa Aguilar Franco
Mercedes Colorado Soriano
Virginia Gálvez Pérez
M^a Teresa Sanchez Cabo
M^a Encarnación Sousa Rodríguez

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid
Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27
www.insht.es

Composición:

Azcárate & Asocia2

Edición:

Madrid, diciembre 2016

NIPO (en línea): 272-16-050-8

Hipervínculos:

El INSHT no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSHT del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

Catálogo general de publicaciones oficiales:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Catálogo de publicaciones del INSHT:

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





**RIESGOS DERIVADOS DE
LA EXPOSICIÓN
A NANOMATERIALES EN
EL SECTOR DE LA
AUTOMOCIÓN**

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
1. INTRODUCCIÓN AL SECTOR	8
2. PRINCIPALES NANOMATERIALES EN EL SECTOR.....	9
3. NANOTOXICOLOGÍA	16
4. EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES.....	19
5. MEDIDAS PREVENTIVAS.....	21
5.1. Eliminación y sustitución	21
5.2. Medidas de control técnico.....	21
5.3. Medidas organizativas.....	22
5.4. Protección individual	23
BIBLIOGRAFÍA	27

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las extraordinarias propiedades químicas y físicas que presentan los nanomateriales están dando lugar a un incremento de sus aplicaciones en los distintos sectores y actividades económicas, ya que aportan nuevas características de funcionalidad y mejoran la calidad de los productos empleados. A pesar del incremento en el desarrollo de nuevos nanomateriales y aunque en los últimos años está aumentando el número de estudios que ponen de manifiesto los peligros que este tipo de materiales pueden suponer para la salud humana, actualmente se desconoce el alcance de los riesgos que pueden presentar para la salud humana y ambiental.

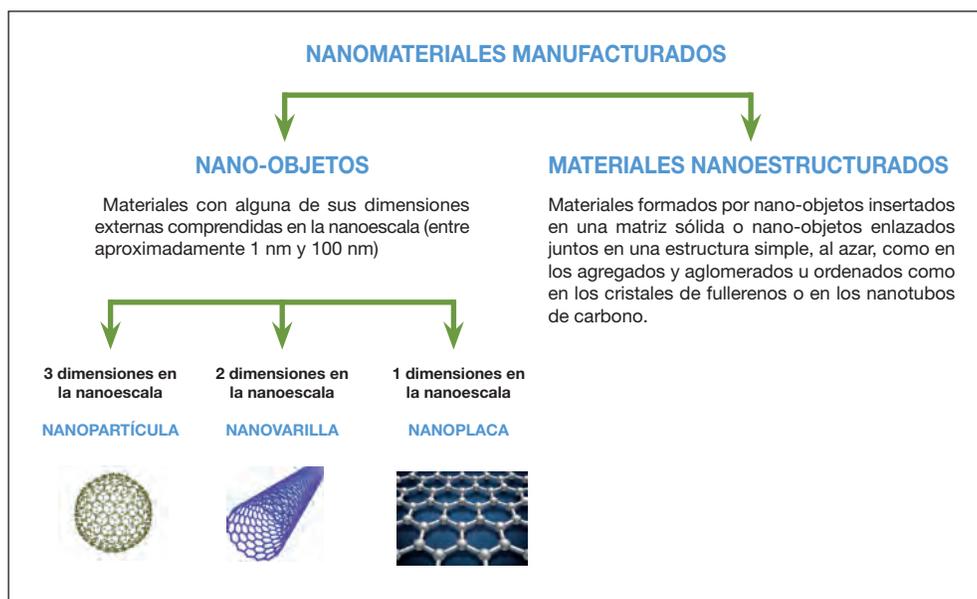


Figura 1. Clasificación y definiciones de los nanomateriales manufacturados¹.

La peligrosidad intrínseca de los nanomateriales manufacturados está relacionada fundamentalmente con su tamaño, forma, estructura, solubilidad y estado de agregación o de aglomeración. Debido a su pequeño **tamaño**, el área superficial de los nanomateriales es mucho mayor que la del material de la misma composición a escala micro, además de ser más reactivos por unidad de masa y presentar características físico-químicas distintas. Aparte del tamaño, la **forma** también tiene un papel fundamental en el comportamiento tóxico, así, por ejemplo, las partículas

¹ UNE-CEN ISO/TS 27687:2010. Nanotecnologías. Terminología y definiciones para nano-objetos. Nanopartícula, nanofibra y nanopláca. ISO/TS 80004-1:2010 Nanotecnologías. Vocabulario -- Parte 1.

esféricas suelen ser menos tóxicas que las que tienen forma de fibra. La **solubilidad** también es un factor importante, ya que al disolverse el nanomaterial en el organismo se comportaría como un material de tamaño no nano. Respecto al **estado de agregación o aglomeración**, cabe considerar que este influye en la posibilidad real de exposición al material. Los agregados se forman por la unión de partículas nanométricas primarias, con la característica de que quedan fuertemente enlazadas, haciendo que la superficie del agregado sea considerablemente menor que la suma de las superficies de cada partícula individual. Por el contrario, aunque compartiendo el mismo concepto en cuanto a su formación, los aglomerados se caracterizan por uniones débiles que hacen que la superficie del aglomerado sea similar a la que proporciona la suma de las superficies de las partículas individuales. Los agregados o aglomerados pueden alcanzar unas dimensiones externas superiores a los 100 nm. Igualmente, la **estructura**, amorfa o cristalina, también afectaría a la intensidad de cualquier peligro potencial del material. Aunque actualmente no se dispone de suficiente información sobre los mecanismos de toxicidad para la mayoría de los nanomateriales, se puede considerar que el principal mecanismo es la inducción del estrés oxidativo, mediante la generación de radicales libres y peróxidos que alteran el estado normal redox, produciendo un daño en los componentes de las células, las proteínas, los lípidos y el ADN.

Además de la peligrosidad intrínseca, el riesgo está evidentemente asociado al nivel de exposición a los nanomateriales. El riesgo será más importante en las operaciones en las que los nanomateriales puedan ser inhalados, por ejemplo, cuando forman parte del polvo producido en las tareas mecánicas.

A pesar de que existen estudios sobre la toxicidad y exposición a nanomateriales, el conocimiento de sus efectos sobre la salud humana es limitado y evoluciona con el progreso técnico, lo que implica asumir la incertidumbre sobre las consecuencias reales que pueden causar sobre los trabajadores expuestos.

Por ello, la valiosa oportunidad que ofrecen los nanomateriales para la competitividad de las empresas debe ir necesariamente acompañada de la actualización del conocimiento por parte de los usuarios sobre los posibles efectos adversos para la salud de los trabajadores y de la adopción de las medidas necesarias para controlar el riesgo. En este sentido, el objetivo de este documento es describir, con carácter divulgativo y conforme al conocimiento actual, los riesgos que la presencia de los nanomateriales pueden suponer para los trabajadores en las distintas actividades económicas y proponer medidas para eliminar o reducir el riesgo al mínimo.

Así, la colección consta de distintas fichas correspondientes a las actividades económicas donde los nanomateriales tienen una mayor presencia o perspectivas de uso. En cada una de estas fichas se identifica, en primer lugar, cuáles son los nanomateriales más utilizados en la actividad económica y las aplicaciones que tienen.

Posteriormente, se estima el riesgo para la salud de los trabajadores originado por estos nanomateriales en función de su toxicidad y el nivel de exposición esperado en los distintos puestos de trabajo u operaciones propias de la actividad. Por último, se recogen algunas recomendaciones y medidas a adoptar para eliminar o reducir este riesgo. Teniendo en cuenta la incertidumbre sobre el riesgo real que supone la exposición a los nanomateriales, las recomendaciones y medidas recogidas en cada ficha están propuestas bajo el **principio de precaución**, tomando en consideración que, para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, la aplicación de este principio se hará más necesario a medida que aumenta la toxicidad de los nanomateriales y el nivel de exposición esperado.

Finalmente cabe resaltar que las indicaciones y recomendaciones recogidas en cada una de las fichas deben adaptarse a cada situación concreta y se tienen que entender como complementarias a las obligaciones, y sin perjuicio de las mismas, establecidas en la normativa de prevención de riesgos laborales, especialmente las indicadas en el Real Decreto 374/2001 sobre la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

1. INTRODUCCIÓN AL SECTOR

La Automoción es un sector estratégico de la economía española, tanto por su elevado peso en la industria, en el empleo y en las exportaciones, como por su efecto sobre el sector Servicios [1]. Muchos de los principales fabricantes de automóviles a nivel mundial tienen centros de producción en nuestro país con un total, en la actualidad, de 17 plantas de fabricación de vehículos distribuidas a lo largo de toda la geografía española y pertenecientes a 9 empresas diferentes.

Las empresas españolas han apostado fuertemente por la investigación, el desarrollo y la innovación, conscientes del dinamismo del sector y de la importancia de crear nuevos productos que se adapten a las necesidades cada vez más exigentes [2]. Cuestiones como el desarrollo de materiales más ligeros y resistentes tendrán un gran impacto sobre la seguridad del pasajero y el consumo de combustible [3]. Sin duda, uno de los factores que contribuye al éxito de la industria automovilística española es su alta competitividad en la industria de componentes.

Las tendencias actuales en el campo de la ciencia y la tecnología en el sector automovilístico caminan de la mano de la nanotecnología, esperándose un gran crecimiento en los próximos años, que posibilite innovaciones y una enorme oportunidad para nuevos mercados. La nanotecnología está incorporada en el diseño y en la fabricación de vehículos [4].

La introducción de la nanotecnología en el sector permite obtener materiales con unas cualidades excepcionales que aportan valor añadido al vehículo. Por ejemplo, con la presencia de los nanomateriales en las piezas que van a conformar el vehículo se persigue aumentar su resistencia frente al rayado, la abrasión y la radiación IR y UV, logrando productos con mayor durabilidad. Asimismo, la utilización de nanocomposites plásticos permite obtener materiales más ligeros, lo que repercute en una disminución del consumo del vehículo. El empleo de nanomateriales en las lunas aporta hidrofobicidad, lo que reduce significativamente el peligro de conducir bajo fuertes lluvias durante las que la visibilidad es escasa debido a las gotas de lluvia y al agua proyectada por las ruedas de otros vehículos en circulación [5].

En resumen, los beneficios de la nanotecnología en la industria del automóvil van más allá de la estética y el confort, puesto que contribuyen a la fabricación de vehículos más seguros, resistentes, eficientes y con menos consumo de combustible. Además, con menor cantidad de producto utilizado, se consigue la misma propiedad o incluso mejorada si se compara con el uso de materiales convencionales [4]. Esto implica un menor impacto medioambiental y un ahorro económico relacionado, entre otros aspectos, con el aumento de la vida útil de los nuevos materiales [6].

El sector de automoción engloba a fabricantes de vehículos, fabricantes de equipos y componentes, piezas y accesorios para vehículos y actividades diversas

como las de talleres, desguaces y empresas de reciclaje de vehículos fuera de uso. Por este motivo, habría que considerar que una parte de estos trabajadores podría, *a priori*, verse expuesto a nanomateriales en alguna de las operaciones o tareas que desempeñe en su puesto de trabajo. No obstante, habrá que discernir cuáles son aquellas tareas con un mayor riesgo de exposición y qué medidas deberán adoptarse en caso de que se dé dicha exposición.

El alcance de este documento será principalmente la posible exposición a nanomateriales que puede tener lugar en operaciones de fabricación de piezas y componentes, montaje de vehículos y talleres.

2. PRINCIPALES NANOMATERIALES EN EL SECTOR

La nanotecnología es una realidad en el sector de la automoción y empresas importantes ya la están incorporando en sus productos, aunque todavía no lo hacen a gran escala debido a su baja rentabilidad y a que su coste sólo está justificado en productos de alta gama. No obstante, la entrada de nanomateriales en este mercado es cada vez mayor conforme va aumentando su desarrollo y disminuyendo su coste.

Con la utilización de los nanomateriales en este sector, se persiguen fundamentalmente los siguientes objetivos:

- Mejorar la seguridad del vehículo.
- Reducir el peso del vehículo.
- Mejorar el rendimiento y la eficiencia de los motores, de forma que repercuta en un ahorro de combustible.
- Reducir la contaminación.
- Aumentar la durabilidad.
- Mejorar la estética y el confort.
- Mejorar la calidad de las superficies y acabados.

Nanomateriales con base de carbono, nanoarcillas, metales y óxidos metálicos se están empleando para mejorar las propiedades eléctricas, físicas y mecánicas de los materiales que los incorporan [3], dando lugar a productos más ligeros y resistentes, motores más eficientes y con un menor consumo y sistemas electrónicos mejorados y más pequeños. A lo largo de este apartado se mostrará cómo los nanomateriales pueden estar presentes prácticamente en todas las partes de un vehículo, indicándose a continuación algunos ejemplos concretos.

Las propiedades físico-químicas de los polímeros se pueden modificar incorporando aditivos. Se consigue así una mejora en propiedades como el aumento de

la resistencia al rayado. O, por ejemplo, los polímeros tradicionales pueden ser reforzados con nanomateriales dando lugar a materiales nuevos ligeros que pueden reemplazar a las partes metálicas de los automóviles. Este material mejorado permite una disminución del peso, junto con un incremento de la durabilidad y funcionalidad [7], así como un aumento de la resistencia a impactos (mejorando la seguridad de los vehículos) y una mayor eficiencia de los motores (reduciendo las emisiones) [8]. Otro ejemplo de utilización de la nanotecnología en el sector del automóvil es la sustitución de las lunas convencionales por plásticos con recubrimientos en la escala nanométrica, que les aportan una mayor transparencia, visibilidad y resistencia al rayado, manteniendo la rigidez de los materiales [9].

Los nanocompuestos poliméricos o las nanopartículas de cuarzo permiten que los recubrimientos y las pinturas de los coches sean autolimpiables, protejan frente arañazos y reduzcan la corrosión sin alterar la apariencia de la pintura [10]. Existen también nanomateriales que al añadirlos a las pinturas pueden alterar sus propie-

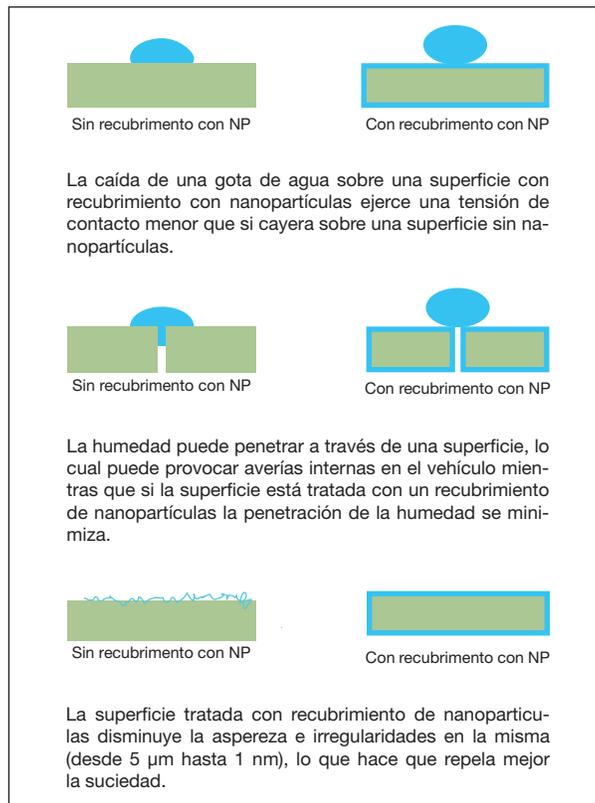


Figura 2. Ventajas de la utilización de nanomateriales en los recubrimientos [5].

dades reflectoras del calor dependiendo de la intensidad de la luz del sol. Esto sirve para regular la temperatura del vehículo disminuyendo la utilización del aire acondicionado, lo que permite ahorrar combustible.

Las nanopartículas también se utilizan en sistemas de sellado de las superficies en el exterior y en recubrimientos de superficies, lo que permite conseguir acabados más brillantes ya que, gracias al pequeño tamaño de las nanopartículas, se pueden rellenar los poros de la superficie, consiguiendo superficies menos rugosas y ásperas y mejorar el brillo. En la figura 2 se pueden observar algunas de las ventajas de la utilización de nanomateriales en los recubrimientos [5]. La figura 3 muestra otra de las aplicaciones de la nanotecnología en recubrimientos que consiste en la protección del acero frente a la corrosión, evitando el uso de Cr (VI), que es más tóxico que el Cr (III). Además, si la capa de zinc resulta dañada, las nanopartículas de SiO_2 incorporadas en el electrolito pueden migrar a la zona dañada y repararla [7,9].

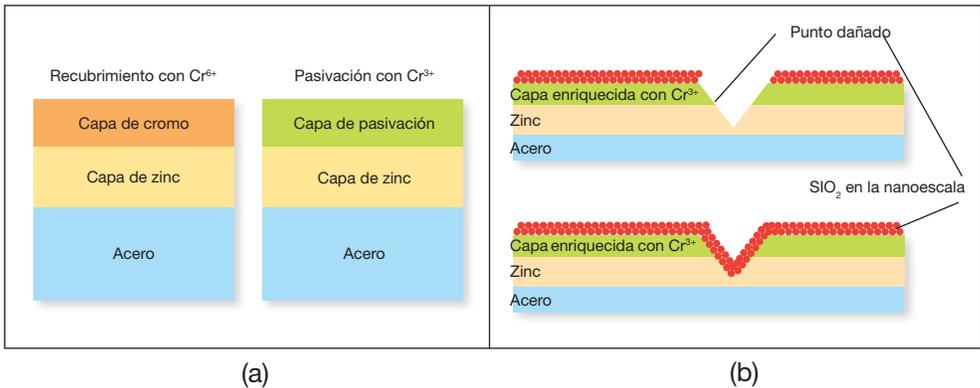


Figura 3. Recubrimiento convencional anticorrosión (a), sistema nanoestructurado anticorrosión (b) [7,9].

La nanotecnología también se aplica en el interior del vehículo. Entre las aplicaciones se encuentran productos antiniebla y anticontaminación para ventanas o espejos y acabados textiles para conseguir asientos calefactables (añadiendo nanotubos de carbono a resina acrílica) [3,11].

En la figura 4 se puede apreciar cómo los nanomateriales pueden estar presentes en prácticamente todas las piezas que componen un vehículo. El campo de aplicación de la nanotecnología es muy amplio, pudiéndose encontrar en:

- Chasis y carrocería.
- Interior del vehículo.
- Motor y sistema de transmisión.
- Pinturas y recubrimientos.

- Suspensión y sistema de frenado.
- Lubricación.
- Neumáticos.
- Catalizador.
- Equipamiento eléctrico y electrónico.

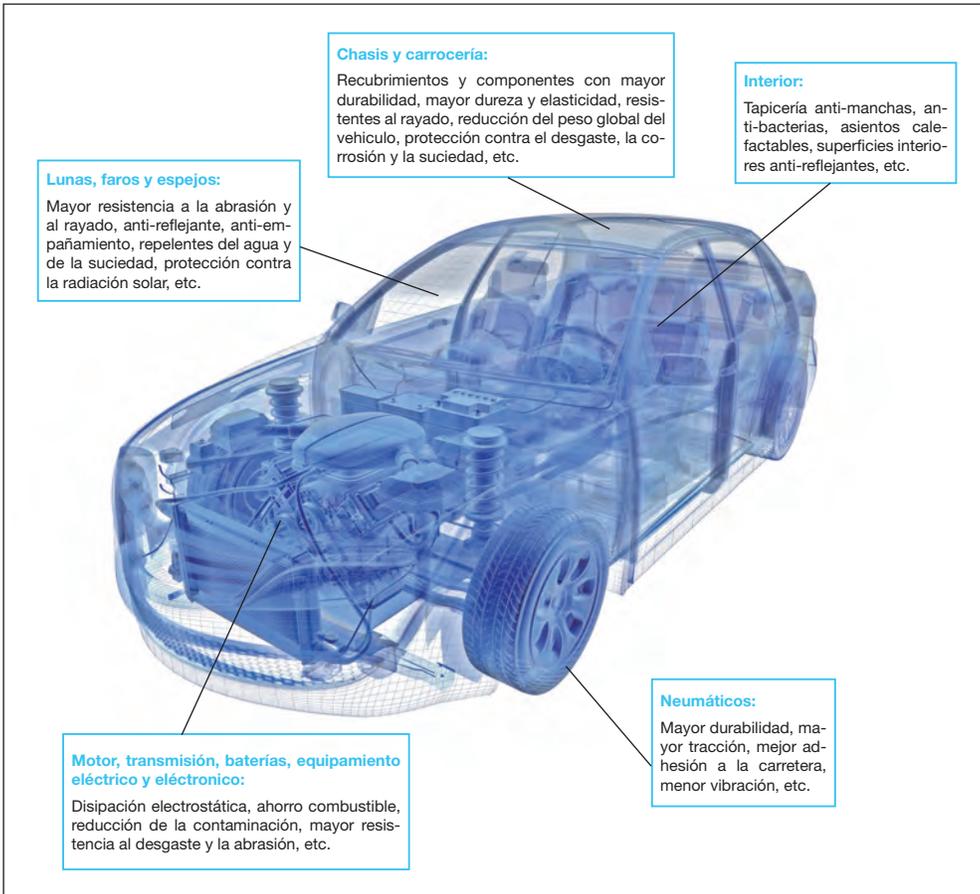


Figura 4. Utilización de nanomateriales en las distintas partes del vehículo.

En la tabla 1 se detallan, de forma no exhaustiva, las partes del automóvil a las que se han incorporado nanomateriales, indicándose qué tipo de nanomaterial incorpora y cuáles son las propiedades nuevas que aporta.

PARTES DEL COCHE	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
CHASIS	ACERO	Nitruro de carbono metálico	Mayor resistencia.
	ESTRUCTURA	Grafeno Nanofibras de carbono + resina termoestable	Aligeramiento y reducción del peso del vehículo.
	ENCOLADO DE PIEZAS - ADHESIVOS	Fe (ferrita)	Protección contra el sobrecalentamiento y disminución de consumo de energía en el proceso.
		Óxido de hierro Nanotubos de carbono	Aligeramiento del peso del vehículo y ahorro económico en comparación con un chasis de acero o aluminio convencional. Sustitución de las soldaduras.
	ENSAMBLAJE	Nanopartículas ferromagnéticas	Mejora el proceso de montaje. Disminuye la temperatura del proceso y los costes. Mayor durabilidad.
CARROCERÍA Y ACCESORIOS DE CARROCERÍA	RECUBRIMIENTOS	SiO ₂	Protección contra la corrosión y propiedades auto-reparables. Permite utilizar Cr (III) en lugar de Cr (VI) para proteger aceros frente a la corrosión.
		Nanoarcillas Nanotubos de Carbono	Protección contra la corrosión.
		ZnO Fe ₂ O ₃ CeO ₂ SiO ₂	Protección contra la degradación por la radiación solar.
		TiO ₂	Protección contra la corrosión y la degradación por la radiación solar.
	PINTURAS Y BARNICES	Al ₂ O ₃ SiO ₂ ZrO ₂ TiO ₂	Resistencia al rayado. Mayor dureza y elasticidad. Permite conseguir acabados más brillantes.
		Nanopartículas cerámicas	Resistencia al rayado.
	RESINAS PLÁSTICAS	Nanofibras de carbono	Mejora de las propiedades termo-mecánicas. Excepcional conductividad eléctrica que permite el pintado electrostático. Protección contra el desgaste, la corrosión y la suciedad.
		Nanoarcillas	Impermeabilidad, retardante de llama y refuerzo mecánico.
	TERMOPLÁSTICOS	Nanotubos de carbono Nanofibras de carbono Grafeno	Excepcional conductividad eléctrica que permite el pintado electrostático. Protección contra el desgaste, la corrosión y la suciedad. Aligeramiento del peso global del vehículo.

PARTES DEL COCHE	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
CARROCERÍA Y ACCESORIOS DE CARROCERÍA	TERMOPLÁSTICOS	Nanoarcillas	Mejora la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas.
		Nanofibras de carbono	Resistencia a la tracción y aligeramiento del peso global del vehículo.
	LUNAS Y FAROS	Al ₂ O ₃	Resistencia a la abrasión y al rayado.
		SiO ₂	Resistencia a la abrasión, anti-reflejante. Protección contra el fuego o calor. Propiedades hidrofóbicas y anti-empañamiento. Protección contra la radiación IR y UV. Resistente a la suciedad.
		TiO ₂	Resistencia a la abrasión, protección contra la radiación UV y fácil limpieza.
		ZnO	Protección contra la radiación UV.
		TiO	Anti-empañamiento.
	ESPEJOS, RETROVISORES	Polímeros de carbono fluorados	Fácil limpieza. Propiedades hidrofóbicas y oleofóbicas.
		WO ₃	Mayor estabilidad electroquímica y densidad de carga. Control por electrocromismo de la transmisión de la radiación solar y el deslumbramiento, aumentando el confort y la seguridad (cristales inteligentes).
	Óxido de Indio y Estaño (ITO)	Aumenta la superficie de reacción operativa. Control por electrocromismo de la transmisión de la radiación solar y el deslumbramiento, aumentando el confort y la seguridad (cristales inteligentes).	
INTERIOR DEL VEHÍCULO	FILTROS DE AIRE	Nanofibras Nanocompuestos porosos	Mejores propiedades de filtración.
	TEXTILES	Ag TiO ₂ Au Cu ZnO Nanotubos de carbono Nanoarcillas	Propiedades antimicrobianas y antiolor.
		Nanotubos de carbono SiO ₂ Nanopolímeros fluorocarbonados	Resistencia a la suciedad y a las manchas líquidas.
		Nanoarcillas Nanotubos de carbono	Menor inflamabilidad. Propiedades retardantes de llama y auto-extinguibles.

PARTES DEL COCHE	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
NEÚMATICOS	GOMA	Negro de humo SiO ₂ Organosilano	Resistencia a la abrasión y al desgaste. Mayor adherencia del neumático a la carretera. Mayor durabilidad.
		Nanotubos de carbono	Resistencia a la tracción y al desgaste. Mayor dureza.
		Organoarcillas	Mayor rigidez y estabilidad termoplástica.
		Nanoalúmina Nanofibras de carbono Grafeno	Mejora de las propiedades del neumático.
MOTOR, SISTEMA DE TRANSMISIÓN, BATERÍAS, EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	MOTOR	Al ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ -TiO ₂ ZrO ₂ Carburos de wolframio	Resistencia al desgaste y a la abrasión.
		Zr	Resistencia al desgaste y a la abrasión. Reduce la fricción y el consumo de aceite. Mejora la combustión y disminuye consumo. Reduce el ruido y la vibración y disminuye la contaminación.
	SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Nanocompuestos con: SiC SiO ₂ TiO ₂ BN ₃ C Diamante	Reducción de la fricción y el desgaste.
	CATALIZADOR	Pt- nanofibras de TiO ₂ Pd	Aumenta la reactividad catalítica.
		CeO ₂ -ZrO ₂	Reducción de la contaminación.
	BATERÍAS	FePO ₄ TiO ₂	Rapidez de almacenamiento y suministro de energía. Más pequeñas, ligeras y rápidas de recargar.
		Nanotubos de carbono	En baterías de vehículos con propulsión híbrida.
	LUBRICANTES	Au Cu Diamante Fullerenos inorgánicos CuO	Mejoran propiedades del lubricante, como su comportamiento anti-desgaste, reduciendo la fricción.

PARTES DEL COCHE	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
MOTOR, SISTEMA DE TRANSMISIÓN, BATERÍAS, EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	FLUIDOS DEL RADIADOR	CuO Al ₂ O ₃ ZnO TiO ₂ MgO Nanotubos de Carbono	Mejora la conductividad térmica.
	SISTEMA DE COMBUSTIBLE (CONDUCTOS, DEPÓSITOS, JUNTAS TÓRICAS, ETC.)	Nanotubos de carbono Nanofibras de carbono Grafeno Nano-óxidos	Capacidad de disipación electrostática (evita la generación de chispas).
	PANELES SOLARES	Nanocompuesto con puntos cuánticos semiconductores	Permite ventilación del interior del vehículo con el motor apagado o carga de baterías en casos de emergencia o después de un accidente.
		Pigmento fotosensible con TiO ₂ Fullerenos Nanovarillas semiconductoras	Pintura fotovoltaica que permite que la carrocería completa sea una célula solar.

Tabla 1. Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en el sector de la automoción [7-10,12-14].

3. NANOTOXICOLOGÍA

La utilización de nanomateriales puede asociarse con la aparición de patologías, frecuentemente pulmonares, asociadas a la exposición a este tipo de partículas. Su principal vía de entrada es la inhalatoria y en función de su tamaño pueden llegar a los alveolos, difundiéndose a través del sistema circulatorio hasta alcanzar diversos órganos, en los que puede actuar induciendo enfermedades. El principal mecanismo involucrado en la aparición de patología está relacionado con la formación de radicales libres e interferencia de los nanomateriales con el metabolismo celular. Es necesario desarrollar mayor número de estudios orientados a determinar posibles efectos nocivos sobre la salud y herramientas que permitan establecer valores límite específicos para este tipo de partículas [15].

Cuando los nanomateriales son inhalados puede producirse daño oxidativo e inflamación del sistema respiratorio e, incluso, pueden alcanzar el torrente sanguíneo o el sistema nervioso. Además, no es necesario que se inhalen grandes cantidades

para producir efectos tóxicos de importante consideración en el sistema respiratorio [16].

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los estudios toxicológicos realizados con algunos de los nanomateriales utilizados en el sector de la automoción. Estos datos pueden ser útiles para evaluar los efectos para la salud que puede conllevar la exposición a este tipo de nanomateriales.

NANOMATERIAL	EFECTOS
<p>Nanotubos de carbono (CNT)</p>	<p>Pueden ser de pared simple (SWCNT) o de pared múltiple (MWCNT). Ejercen toxicidad pulmonar: inflamación, fibrosis y granulomas epiteliales. La toxicidad de los CNT está relacionada con el tipo de nanotubo (SWCNT o MWCNT), la rigidez y su relación longitud/diámetro. También influye en la toxicidad el proceso de síntesis y la presencia de grupos activos, por ejemplo, ácidos carboxílicos. Durante la síntesis se utilizan catalizadores como hierro y níquel que pueden quedar como pequeñas impurezas y aumentar su toxicidad. Se pueden asumir unas reacciones similares al amianto en el caso de los nanotubos de cualquier composición que se presenten en forma de fibras sueltas, no como fibras cortas o enmarañadas. Se ha observado que los CNT con longitud superior a 20 μm estarían relacionados con el mesotelioma [17].</p> <p>Estudios realizados con partículas ultrafinas y CNT demostraron una asociación con efectos cardiovasculares, como estimulación de la agregación plaquetaria y aceleración de la tasa de trombosis vascular. También se ha observado migración al intersticio y los ganglios linfáticos pulmonares [8,18].</p>
<p>Fullerenos</p>	<p>Los fullerenos (C60) han demostrado ser menos tóxicos que los nanotubos de carbono, negro de humo y partículas de diésel. Sin embargo, en sistemas libres de células, los fullerenos son capaces de formar complejos con el ADN, provocando roturas de hebras de ADN, mutagenicidad y daños cromosómicos [16].</p>
<p>Dióxido de titanio (TiO₂)</p>	<p>Por vía inhalatoria puede producir efectos inflamatorios y genotóxicos. La inflamación, que en ocasiones puede ser reversible, depende de la relación área superficial por unidad de masa y de la duración y concentración de la exposición.</p> <p>Hay estudios que muestran que la toxicidad de la forma anatasa del TiO₂ es mayor que la de la forma rutilo [19]. En estudios <i>in vitro</i>, el TiO₂ anatasa induce estrés oxidativo en el tejido pulmonar humano con daño en el ADN. En exposiciones a largo plazo del TiO₂ anatasa, se han observado efectos cancerígenos [20]. A través de la piel intacta no se absorbe el TiO₂.</p> <p>El dióxido de titanio fue clasificado en 2006 por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como un carcinógeno Grupo 2B (posible carcinógeno para los humanos).</p>
<p>Dióxido de silicio (SiO₂)</p>	<p>Experimentos realizados con sílice coloidal y sílice cristalina han demostrado que tienen una mayor capacidad de causar lesión pulmonar en comparación con las partículas de escala no nanométrica. Es probable que su mayor área superficial y un mayor poder de penetración celular influyan en un aumento de los efectos biológicos [21].</p> <p>La toxicidad depende de la estructura cristalina. La sílice amorfa, al contrario que la sílice cristalina, presenta baja toxicidad y no produce fibrosis progresiva, ni efectos carcinogénicos. Los efectos inflamatorios que produce la sílice amorfa a nivel pulmonar parece que son reversibles al cesar la exposición. Para el efecto carcinogénico no hay datos concluyentes, solo se observaron cuando el ensayo se realizó a dosis repetidas muy altas debido a que el efecto carcinógeno está relacionado con la respuesta inflamatoria [22].</p>

NANOMATERIAL	EFECTOS
Óxido de zinc (ZnO)	Los estudios realizados muestran que produce reacciones de estrés oxidativo en el tejido pulmonar y daño en el ADN. Por vía inhalatoria se han observado efectos inflamatorios en el pulmón y efectos sistémicos; la distribución en el organismo se ve afectada por la solubilidad de las partículas. En estudios realizados <i>in vitro</i> se han observado efectos genotóxicos, mientras que en los estudios <i>in vivo</i> dichos efectos fueron negativos. Por vía dérmica la absorción es limitada y no se han observado efectos locales [23].
Plata (Ag)	El conocimiento de los efectos tóxicos producidos por las partículas nanométricas de plata es escaso. Al penetrar por vía inhalatoria se distribuyen por la sangre, pudiéndose acumular en diversos tejidos y producir efectos en el hígado y el sistema inmunológico. A través del nervio olfativo pueden alcanzar el cerebro. De la plata en tamaño nanométrico se conoce su efecto letal en bacterias y fibroblastos [24]. En estudios <i>in vitro</i> , en macrófagos pulmonares, llevados a cabo con agregados de partículas nanométricas de plata, se ha observado mayor toxicidad que la producida por el crisolito.
Al₂O₃	Las nanopartículas de óxido de aluminio muestran un bajo nivel de toxicidad, aunque se han observado respuestas inflamatorias pulmonares a dosis muy altas.
Oro (Au)	Las nanopartículas de oro son absorbidas por las células. La peligrosidad depende del tamaño, tiempo de contacto, carga superficial y recubrimiento de las partículas [25]. Estudios realizados de toxicidad subcrónica con nanopartículas de oro de un diámetro medio de 4-5 nm han demostrado una acumulación en pulmones y riñones dependiente de la dosis, aunque en los riñones depende del género también [26]. Hay indicios de respuestas inflamatorias, en particular para los tamaños de partícula más pequeños [27].
Negro de humo	Es uno de los compuestos que más se han estudiado y se ha visto que induce la inflamación pulmonar. En los estudios realizados en ratas se ha demostrado que produce inflamación e hiperplasia epitelial. La exposición de ratas a concentraciones de entre 6 y 12,2 mg/m ³ de nanopartículas con una superficie específica de 213 m ² /g condujo a un incremento de la incidencia de tumores en el pulmón, mientras que para aquellas con una superficie específica menor (37 m ² /g) la respuesta inflamatoria era menos severa [28].
Puntos Cuánticos	Son nanocristales semiconductores que tienen un núcleo reactivo que controla sus propiedades ópticas. Los puntos cuánticos de lipoanfífilo recubiertos de CdSe/ZnS producen genotoxicidad en neuronas de ratas, pero no en pulmón [16].

Tabla 2. Efectos para la salud de algunos nanomateriales utilizados en el sector de la automoción.

4. EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES

Generalmente, los nanomateriales presentes en la automoción se van a encontrar embebidos en una matriz, es decir, como aditivos en los materiales utilizados. Por ejemplo, se puede encontrar un material plástico en forma de granza o pellets, que posea nanomateriales como aditivo con el fin de conseguir unas propiedades conductoras mejores que repercutan en un pintado del vehículo más resistente. Por lo tanto, es difícil conocer el nivel de exposición real a los mismos, ya que para que exista exposición a nanomateriales, estos deberían liberarse de su matriz en el ambiente o una vez dentro del organismo. Esta liberación depende de diversos factores, tales como la solubilidad y presentación del producto con nanomateriales, del proceso al que se somete, de las condiciones a las que está expuesto el producto, etc. [29].

Considerando lo anterior, las operaciones en las que cabe esperar una mayor exposición son aquellas en las que se puede generar mayor cantidad de aerosoles (generalmente en forma de polvo o niebla), aunque existe incertidumbre sobre el porcentaje de nanomateriales que se liberan. Aun así, parece lógico pensar que habrá un menor riesgo de exposición en las cadenas de montaje de vehículos, debido a la automatización y a la escasa probabilidad de liberación del nanomaterial, que en la producción de la materia prima para la fabricación de los componentes y en los talleres.

Cuando se produce la exposición, la vía principal de entrada al organismo es la inhalatoria. La vía dérmica también puede ser importante, aunque en menor medida, en aquellas tareas en las que haya un contacto directo del cuerpo del trabajador con productos que contengan nanomateriales y que estos puedan desprenderse.

Por ejemplo, durante una operación de lijado manual en húmedo apenas se desprenden nanomateriales, por lo que el riesgo de exposición por inhalación es bajo. Sin embargo, hay que prestar atención al riesgo de exposición por contacto en la piel y adoptar las medidas adecuadas para evitarlo o minimizarlo [11].

A continuación, se enumeran algunas de las actividades propias del sector con mayor probabilidad de exposición [30-32]:

- Fabricación de polímeros:
 - Adición de productos, muestreo, pesada.
 - Trasvase, agitación, mezcla y secado de una suspensión líquida conteniendo nanopartículas.
 - Limpieza de autoclaves, tanques y agitadores.

- Moldeo por inyección:
 - Carga o descarga en un reactor.
 - Plastificación del material y la subsiguiente eyección en el molde de purga.
 - Cocción o vulcanizado de la pieza en el molde.
 - Apertura del molde.
- Mecanizado y rectificado:
 - Desbarbado de piezas mediante discos de púas.
 - Lijado.
 - Pulido.
 - Corte.
 - Taladrado.
- Pintura.
- Soldadura.
- Limpieza y mantenimiento de equipos o instalaciones.
- Mal funcionamiento o incidentes, por ejemplo, fugas en reactor o sistema cerrado.

Otro factor importante relacionado con el nivel de exposición a nanomateriales manufacturados es la existencia de partículas de fondo con dimensiones nanométricas que provienen de nanomateriales incidentales o naturales. Los nanomateriales incidentales son subproductos no intencionados de un proceso. En este sector proceden fundamentalmente de humos de soldadura, emisión de motores diésel procedentes de la utilización de equipos y maquinaria, de los vehículos que se reparan o de las pruebas efectuadas antes de su puesta en el mercado, y de nanomateriales procedentes de procesos de mecanizado y fricción mecánica. Un estudio realizado por el Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST), sobre aleación de aluminio, concluyó que el proceso de fricción mecánica emite del orden de 3×10^8 partículas/cm³, partículas con un diámetro aerodinámico comprendido entre 10 y 100 nm. Cabe señalar, además, que las nanopartículas emitidas durante el mecanizado se presentan de distintas formas, es decir, como partículas aisladas o formando agregados y aglomerados. En estos casos, es posible reducir la generación de nanopartículas en la fuente utilizando nuevas estrategias de mecanizado y de fricción, ya que la cantidad de nanopartículas emitidas por mecanizado o fricción depende de la velocidad de corte, existiendo una velocidad crítica en donde dicha emisión alcanza su máximo. Esta velocidad de corte también afecta al grado de aglomeración, lo cual es importante tener en cuenta a la hora de adoptar medidas [33].

En la evaluación de riesgos se contemplarán también las posibles exposiciones a nanomateriales incidentales y naturales y se adoptarán las medidas que sean necesarias en cada situación.

5. MEDIDAS PREVENTIVAS

Como trabajadores del sector de la automoción se pueden englobar desde los fabricantes de los componentes o piezas hasta los mecánicos de los talleres de reparación, pasando por los trabajadores de las plantas de producción de vehículos; por lo tanto, el estudio de las medidas preventivas concretas a aplicar en cada caso resulta algo complejo debido a la diversidad de las tareas y a la escasa información disponible sobre el nanomaterial y su posible liberación al ambiente. Por este motivo, hasta que se disponga de un conocimiento más completo y global acerca del comportamiento del nanomaterial, se tendrá presente el principio de precaución para establecer las medidas preventivas.

La información sobre la presencia de nanomateriales en los productos y materiales de automoción debe ser conocida para que las medidas preventivas, que a continuación se enumeran, puedan implementarse y resulten efectivas.

Teniendo en cuenta que la vía principal de entrada en el organismo es la vía inhalatoria, las medidas preventivas que se recomienda utilizar van dirigidas a minimizar la presencia de estas nanopartículas en el ambiente y, por ello, son similares a las que se emplean para reducir la generación o dispersión de cualquier otro aerosol en el puesto de trabajo. Este es el motivo por el que, en muchos casos, las medidas preventivas no van a ser específicas para los nanomateriales.

5.1. Eliminación y sustitución

La medida de prevención prioritaria y más eficaz es la eliminación del nanomaterial. En este caso resulta inviable puesto que la decisión de incorporar nanomateriales en componentes, pinturas, textiles, etc. de los vehículos se realiza para obtener una serie de beneficios y mejoras que, sin su presencia, no se podrían obtener. Por tanto, no es posible hablar de eliminación de nanomateriales de forma genérica. Únicamente, los nanomateriales incidentales procedentes de la emisión de motores diésel de los equipos y maquinaria utilizada pueden eliminarse mediante la sustitución de esta maquinaria por otra de tipo eléctrico.

La forma en la que se presenta el producto que incluye el nanomaterial va a influir en la exposición. Serán preferibles nanomateriales contenidos en una matriz sólida o líquida, que no tengan tendencia a generar polvo.

5.2. Medidas de control técnico

A continuación, se dan una serie de recomendaciones para que las operaciones que generan una mayor concentración de polvo o niebla se realicen con un mayor grado de seguridad:

- Automatización siempre que sea posible.
- Encerramiento de los procesos más contaminantes como son, por ejemplo, los procesos de producción y la adición y trasvase de productos.
- Utilización de una cabina de pintura para la aplicación de pintura con nanomateriales [11].
- Extracción localizada. Los filtros HEPA H14 o ULPA han demostrado ser eficaces para la captura de partículas nanométricas [34].
- Utilización de procedimientos de trabajo especialmente cuando sean muy contaminantes.
- Utilización de métodos húmedos para la realización de los tratamientos mecánicos (molienda, lijado, desbarbado, abrasión, etc.) siempre que sea posible [11].
- La limpieza de autoclaves, tanques y agitadores se deberá efectuar automáticamente. En caso de ser necesaria la intervención de los trabajadores, se adoptarán las medidas preventivas específicas de los espacios confinados [35].
- Realización de las tareas en las que se utilicen productos con base de disolvente lejos de una fuente de ignición, ya que existe, además, un riesgo de incendio/explosión (por ejemplo, en tareas de sellados de superficies, recubrimientos, etc. en las que es habitual el uso de disolventes) [11].
- En los fosos de pruebas de vehículos donde se presupone la presencia de nanomateriales incidentales procedentes de las emisiones de los motores diésel, se dispondrá de una adecuada ventilación y, si es necesario, se contará con un sistema de extracción.

5.3. Medidas organizativas

Las medidas organizativas constituyen un buen complemento de las medidas técnicas. A continuación, se detallan algunos ejemplos:

- Limitar al mínimo necesario la presencia de trabajadores durante las operaciones en las que se pueda generar polvo y que se puedan liberar nanomateriales.
- Delimitar y señalizar los puestos de trabajo donde se emite polvo que puede contener nanomateriales.

- Se recomienda que la limpieza de los puestos de trabajo con presencia de nanomateriales se realice por aspiración, utilizando para ello aspiradores industriales equipados con filtros HEPA H14 o filtros ULPA, o mediante vía húmeda. Evitar en estos puestos el barrido con cepillo o con aire comprimido o aspiración convencional.
- Realizar el transporte de productos en polvo en envases cerrados y correctamente identificados.
- Prestar mayor atención a las medidas de higiene personal en las pausas y al finalizar las tareas con presencia de nanomateriales.
- Garantizar el adecuado mantenimiento de los equipos de trabajo y de los equipos de extracción y ventilación, especialmente en los lugares cerrados (túneles, depósitos, arquetas, etc.).
- Dar formación e información a los trabajadores sobre los materiales que puedan suponer exposición a nanomateriales, los riesgos asociados y las medidas preventivas a adoptar.

5.4. Protección individual

Los equipos de protección individual están indicados cuando las medidas son insuficientes o técnicamente inviables, cuando se trata de operaciones puntuales o ante situaciones de emergencia. Cuando se manipulen nanomateriales de elevada peligrosidad o cuando exista un alto grado de desconocimiento de las propiedades peligrosas de los mismos, se recomienda utilizar equipos de protección individual como complemento a las otras medidas adoptadas. Cuando sea necesario recurrir a estos, se llevará a cabo un programa para la adecuada selección, ajuste, entrenamiento y mantenimiento de los equipos que se vayan a usar.

Hay varios estudios que demuestran que los equipos de protección individual utilizados para partículas en escala micro son eficaces frente a partículas nanométricas [13]. La protección de las vías respiratorias se realizará mediante un adaptador facial equipado con un filtro de partículas de tipo P3. Para garantizar la estanqueidad y el correcto funcionamiento del equipo es importante realizar un buen ajuste con la cara del trabajador y respetar el tiempo de uso indicado por el fabricante. Por ello, es recomendable realizar un test de estanqueidad de la protección respiratoria para cada individuo de forma particular. Si el equipo de protección respiratoria no cubre los ojos, se considerará la utilización de gafas de protección. En las operaciones en las que se espera un mayor riesgo, debido a la peligrosidad del nanomaterial o a la alta exposición a aerosoles, es recomendable seleccionar equipos que garanticen una protección mayor como máscaras completas acopladas a filtros P3 o equipos motorizados con presión positiva en el interior. Se programarán las pausas y los tiempos de utilización

en función del equipo seleccionado y del esfuerzo físico requerido para desarrollar la actividad.

La ropa de protección [13] recomendada será un traje desechable de Tipo 5, con materiales no tejidos como, por ejemplo, el polietileno de alta densidad. No se debe utilizar ropa de protección de algodón, ni mezclas de algodón-poliéster.

La protección de las manos se llevará a cabo con guantes de protección química que se seleccionarán de acuerdo con la naturaleza del nanomaterial y en base a otros agentes químicos que puedan estar presentes. Los guantes de nitrilo, látex y neopreno han demostrado ser eficaces en los estudios realizados con partículas nanométricas de dióxido de titanio y platino.

En el caso de los trabajos en automoción, no hay que olvidar el uso de guantes que proporcionen protección mecánica (véase figura 5). Cuando no se encuentren en el mercado guantes que ofrezcan ambas protecciones (química y mecánica), una solución posible sería combinar los guantes de protección química con los de protección mecánica durante las operaciones con riesgo de exposición a nanomateriales.

Esta opción puede dificultar la manipulación de piezas por lo que siempre sería más recomendable requerir propiedades mecánicas en un guante químico que, además, permite la limpieza con agua.



Figura 5. Pictogramas para guantes de protección química y protección mecánica respectivamente.

En los procesos que favorecen la dispersión del producto, como la aplicación de las pinturas con pistola, se aconseja disponer de un equipo de protección respiratoria autónomo.

No obstante, es conveniente que la aplicación de pintura con nanomateriales se realice en una cabina de pintura. Además, se recomienda que los trabajadores utilicen, al menos, una media máscara con filtro combinado que les proteja, no sólo frente a partículas, sino también frente a los gases y vapores orgánicos procedentes de los disolventes de la pintura o barniz, así como que dispongan de una adecuada protección de las manos (por ejemplo, guantes de nitrilo) y ropa de protección química [11].

En operaciones de lijado en húmedo la exposición por contacto con la piel sería más relevante, por lo que se deberían utilizar guantes de protección adecuados durante el

lijado manual. Hay que tener en cuenta que, si se utiliza una máquina con partes en movimiento, puede existir el riesgo de atrapamiento por llevar guantes, por lo que, en estos casos, las medidas de control técnico pueden ser las únicas posibles.

En operaciones de lijado en seco, además de utilizar aspiración de polvo directamente en la máquina, se debería proteger al trabajador con una media máscara con filtro de partículas y protección ocular [11].

En operaciones de mecanizado de piezas de metal como cortar, desbarbar, pulir, etc. se produce polvo que contiene partículas de casi todos los tamaños (polvo fino, ultrafino y partículas más grandes no respirables), por lo que es conveniente la utilización de media máscara con filtro de partículas, protección ocular y ropa de protección, en este caso, frente a chispas que pueden ser generadas durante estas operaciones [11].

Durante tareas de soldadura, se producen humos con partículas ultrafinas que contienen compuestos de aluminio, hierro, manganeso y cromo principalmente, existiendo riesgo de exposición por inhalación, por lo que se debe contar con extracción en el área de formación de los humos de soldadura y con equipos de protección respiratoria. También se dispondrá de una pantalla de soldadura, guantes de cuero y ropa de protección frente al calor y la llama o específica para el soldeo. En los casos en que haya que usar protección individual respiratoria es más que recomendable recurrir a pantallas de soldadura cerradas con aportación de aire filtrado, por su comodidad y por la dificultad que presenta hacer compatibles otros equipos de protección con las pantallas de soldadura de cabeza, que son siempre preferibles a las de mano. En cualquier caso, si se utilizaran equipos de protección respiratoria dependientes del medio ambiente, habrían de ser de alta eficacia frente a partículas sólidas (mascarilla autofiltrante FFP3 o mascarilla con filtros desmontables P3) y compatibles con la pantalla de soldadura de cabeza [36].

Cuando se realicen operaciones de limpieza y soplado de pastillas de freno, se dispondrá de protección respiratoria con filtro de partículas y protección ocular y se instalará una bandeja para recoger los líquidos de drenaje (procedentes de la pulverización del limpiador). Los limpiadores de frenos suelen ser a base de disolvente, por lo que será recomendable contar además con un filtro de protección frente a gases y vapores.

La tabla 3 contiene un resumen de las medidas preventivas que pueden ser de aplicación en las distintas tareas y que pueden ayudar a reducir la exposición de los trabajadores expuestos a nanomateriales.

TAREAS	POSIBLES MEDIDAS PREVENTIVAS
Adición de productos, trasvases	<p>Evitar el uso de productos con nanomateriales en forma de polvo, elegir otros como pasta, escamas, gel o líquido, para minimizar la formación de aerosoles.</p> <p>Automatización.</p> <p>Encerramiento de los procesos.</p> <p>Extracción localizada.</p> <p>Utilización de procedimientos de trabajo.</p> <p>Protección respiratoria.</p> <p>Guantes de protección química.</p> <p>Protección ocular.</p>
Moldeo por inyección	<p>Automatización.</p> <p>Encerramiento de los procesos.</p> <p>Extracción localizada.</p> <p>Utilización de procedimientos de trabajo.</p>
Mecanizado	<p>Trabajo en húmedo.</p> <p>Extracción localizada.</p> <p>Uso de herramientas con sistemas de aspiración de aerosoles generados.</p> <p>Protección respiratoria.</p> <p>Guantes de protección química y mecánica.</p> <p>Protección ocular.</p>
Pintura	<p>Automatización.</p> <p>Utilización de cabinas de pintura.</p> <p>Posicionamiento correcto.</p> <p>Extracción localizada.</p> <p>Protección respiratoria que incluya protección frente a partículas y a otros contaminantes químicos presentes en las pinturas. Cuando sea necesario se recurrirá a un equipo de respiración autónomo.</p> <p>Guantes de protección química.</p> <p>Protección ocular.</p> <p>Ropa de protección y ropa de protección química.</p>
Soldadura	<p>Automatización.</p> <p>Extracción localizada.</p> <p>Utilización de equipos de soldadura con extracción incorporada.</p> <p>Protección respiratoria que incluya protección frente a partículas y a otros contaminantes químicos presentes en los humos de soldadura.</p> <p>Guantes de protección de cuero.</p> <p>Pantalla facial.</p>
Limpieza de autoclaves, tanques y agitadores	<p>Automatización.</p> <p>Si es necesaria la intervención de los trabajadores, adoptar las medidas preventivas específicas de los espacios confinados.</p>

Tabla 3. Medidas preventivas para disminuir la exposición a nanomateriales .

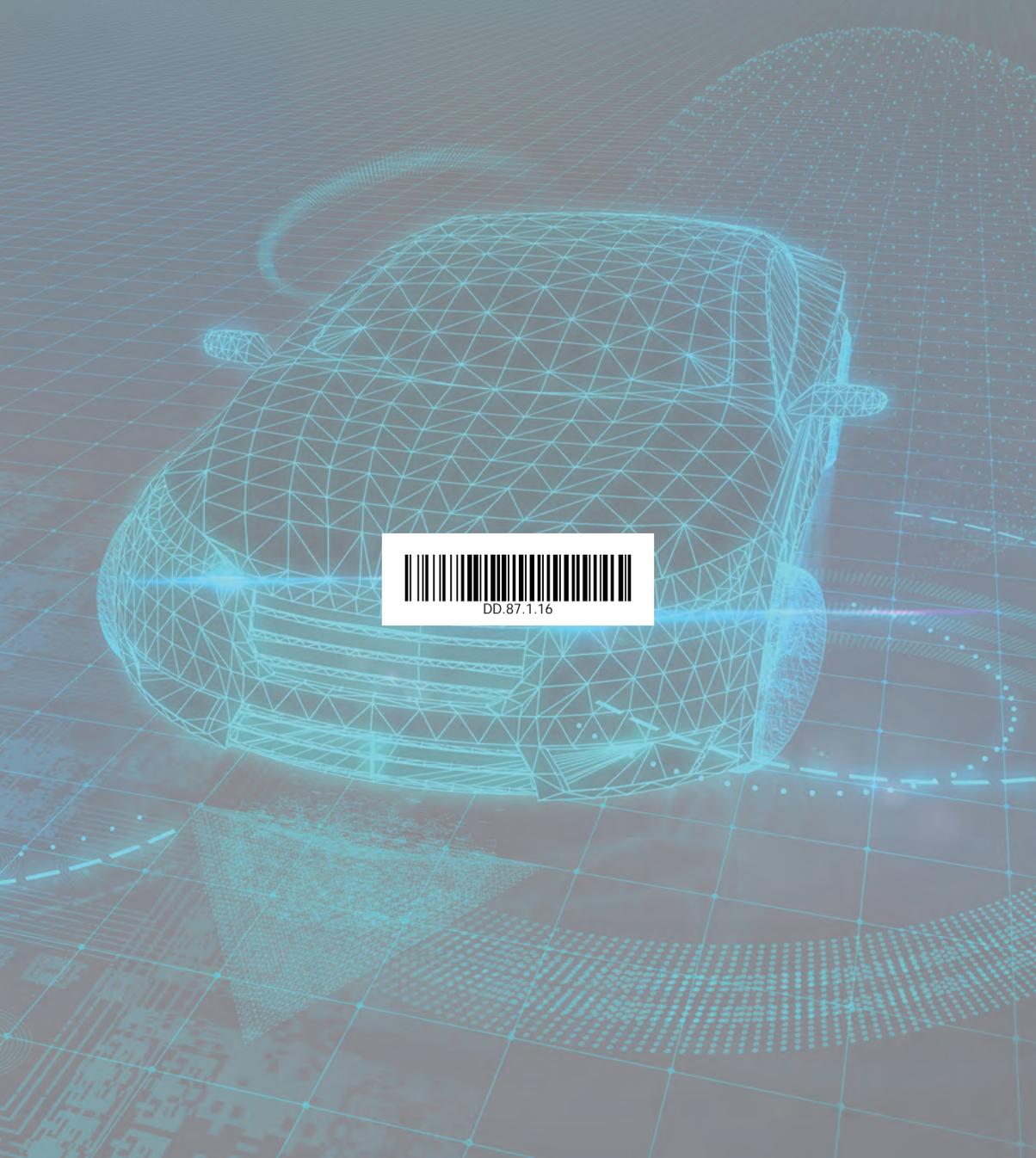
A hand wearing a blue nitrile glove holds a silver spray gun with a white reservoir. The background is a blurred laboratory setting with a wooden surface in the foreground. The word "BIBLIOGRAFÍA" is overlaid in the center.

BIBLIOGRAFÍA

1. Servicio Público de Empleo Estatal (2011). Estudio prospectivo de automoción en España.
2. Asociación Española de Fabricantes de Equipos y Componentes para Automoción (SERNAUTO) <http://www.sernauto.es/es/sector-automocion>
3. CarbonInspired. Nanotecnología: Una guía para las PYMEs.
4. Sutter, U., *et ál.* (2006). Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Automotive Sector.
5. Harini Kantamneni, *et ál.* (2013). Avant-garde Nanotechnology applications in Automotive Industry. *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, 33 (1), 195-197.
6. Nanotechnology in the automotive industry. Disponible en: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=18972.php>
7. Mohseni, M; Ramezanzadeh, B; Yari, H; Moazzami, M. (2012). The Role of Nanotechnology in Automotive Industries.
8. Coelho, M. ; Torrao, G. ; Emami, N., Grácio, J. (2012). Nanotechnology in automotive industry : Research strategy and trends for the future- Small objects, big impacts. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 12, 1-10.
9. Werner, M; Kohly, W; Simic, M. (2008). Nanotechnologies in Automobiles- Innovation Potentials in Hesse for the Automotive Industry and its Subcontractors. 2008.
10. Soutter W. Nanotechnology in automotive industry. Disponible en: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3031>
11. Nano-Portal: Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien. Nanorama Kfz-Werkstatt. Disponible en: <http://nano.dguv.de/nanorama/bghm/>
12. Grupo Antolin (Verano 2012). Nuevas cargas minerales en termoplásticos. Noticias 14-15. Disponible en: <http://www.grupoantolin.com/sites/default/files/201263ES.pdf>
13. Wernette, R. C. (2010). Automotive Nanotechnology: Big Rewards and Big Risks From the Inconceivably Small. *Westlaw Journa*, 30 (10), 1-7.
14. Hartmut Presting, Ulf König (2003). Future nanotechnology developments for automotive applications. *Materials Science and Engineering C* 23 737-741.
15. Veiga-Álvarez, A., *et ál.* (2015). Riesgos para la salud y recomendaciones en el manejo de nanopartículas en entornos laborales. *Med Segur Trab (Internet)*; 61 (239) 143-161.

16. Bailon-Moscoso, N., Romero-Benavides, J. C. (2016). Genotoxicidad de los nanomateriales, grandes discrepancias y desafíos. *Rev. Toxicol*, 33, 8- 15.
17. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). European Commission. (2009). Risk Assessment of Products of Nanotechnologies. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf
18. NIOSH (2013). Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Carbon Nanofibers. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>
19. Sayes, C. M., *et ál.* (2006). Correlating Nanoscale Titania Structure with Toxicity: A Cytotoxicity and Inflammatory Response Study with Human Dermal Fibroblasts and Human Lung Epithelial Cells, *Toxicol. Sciences* 92 (1), 174-185.
20. Bhattacharya, K., *et ál.* (2008). Titanium dioxide nanoparticles induce oxidative stress and DNA-adduct formation but not DNA-breakage in human lung cells. *Part. Fibre. Toxicol.*, 6:17.
21. Napierska D., *et ál.* (2010) The nanosilica hazard: another variable entity. *Particle and Fibre Toxicology*, 7:39.
22. Scaffold (2014). Review on the toxicity of manufactured nanomaterials applied in the construction sector.
23. Vandebriel, R; Wim H De Jong (2012). A review of mammalian toxicity of ZnO nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*, 5, 61–71.
24. Wijnhoven, SWP, *et ál.* (2009). Nano-silver _ a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment, *Nanotoxicology*, 1-30.
25. Mateo, D., *et ál.* (2013) Nanopartículas de oro: aplicaciones y citotoxicidad in vitro. *Acta Toxicol. Argent.*, 21 (2), 102-109.
26. Uibel, S., *et ál.* (2012) Nanoparticles and cars – analysis of potential sources. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 7:13.
27. DaNa^{2.0} (**D**ata and knowledge on **N**anomaterials). Disponible en: <http://nanopartikel.info/en/nanoinfo/materials/gold/exposure/1368-studies-outside-of-organisms-in-vitro>
28. Ma-Hock, L., *et ál.* (2013). Comparative inhalation toxicity of multi-wall carbon nanotubes, graphene, graphite nanoplatelets and low surface carbon black. *Particle and Fibre Toxicology*, 10:23.

29. Van Broekhuize, F.A.; Van Broekhuizen, J.C. (2009) .Nanotechnology in the European Construction Industry- State of the art 2009- Disponible en: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20final%20report%20ok.pdf>
30. Gobierno de Aragón. CEPYME. Guía de evaluación de riesgos en empresas fabricantes de componentes del sector de automoción. Volumen II.
31. Gobierno de La Rioja. Instituto Riojano de Salud Laboral. Nanomateriales: Identificación y prevención de los riesgos para la salud de los trabajadores. Disponible en: <http://www.larioja.org/larioja-client/cm/relaciones-laborales/images?idMmedia=647121>
32. INRS (2016). Dossier Nanomatériaux, Nanoparticules. Disponible en : <http://www.inrs.fr/risques/nanomateriaux/ce-qu-il-faut-retenir.html>
33. IRSST (2014). RAPPORT R-814. Mesure, contrôle et caractérisation des nanoparticules Procédure appliquée à l'usinage et au frottement mécanique.
34. Klenke, M. (2008): "First results for safe procedures for handling nanoparticles". Dissemination Report DR321 -200810-6. Disponible en: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf
35. INSHT (2015). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo.
36. INSHT. Basequim 011. Soldadura manual TIG de aceros inoxidables y de alta aleación con cromo o níquel: exposición a humos metálicos.



DD.87.1.16



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO