

Nanomateriales en el sector de la automoción

Mercedes Colorado Soriano, M^a Teresa Sánchez Cabo

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSSBT

La automoción es una actividad estratégica de la economía española y muchos de los principales fabricantes de automóviles a nivel mundial tienen centros de producción en nuestro país. Las tendencias actuales en el sector caminan de la mano de la nanotecnología, ya que esta permite obtener materiales con unas cualidades excepcionales que aportan valor añadido al vehículo. Los nanomateriales pueden estar presentes en prácticamente todas las piezas que componen un vehículo y se utilizan, por ejemplo, para obtener estructuras más ligeras, pinturas anti-arañazos, plásticos conductores, lubricantes más efectivos, textiles inteligentes y sensores integrados.

INTRODUCCIÓN

La presencia de nanomateriales en la industria está siendo cada vez mayor, ya que su incorporación en los productos está permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones y mejoras que favorecen la competitividad de las empresas.

Su uso se ha extendido en distintos sectores como construcción, automoción, textil, laboratorios de I+D, etc. Desde el INSSBT, se está trabajando en un proyecto dirigido a conocer e informar sobre los nanomateriales presentes en diferentes sectores, sus principales aplicaciones, los posibles riesgos asociados a su uso y las medidas de prevención y control existentes para evitar la exposición de los trabajadores involucrados en su manipulación, contribuyendo, en la medida de

lo posible, al desempeño de un trabajo sin riesgos. Fruto de este proyecto nace la colección de documentos denominados "Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales en distintos sectores:...", habiéndose publicado hasta la fecha los documentos referidos a los sectores de construcción y automoción.

En España, el sector del automóvil es actualmente un pilar fundamental de nuestra industria, en la fabricación tanto de vehículos como de componentes. Es un sector muy dinámico y está en constante investigación y desarrollo de nuevos productos que puedan satisfacer las expectativas y necesidades del mercado, como vehículos más seguros, más respetuosos con el medio ambiente, etc., y todo ello sin descuidar la estética y el confort.

Para lograrlo, la nanotecnología se ha introducido con fuerza en este sector y se espera que siga progresando, abriendo camino a nuevos productos que den respuesta a las demandas del mercado automovilístico en cuanto a diseño y fabricación, aunque hoy por hoy la incorporación de nanomateriales en las piezas del vehículo se encuentra en etapas muy iniciales, por lo que su coste aún es elevado, quedando reservado su uso para vehículos de alta gama.

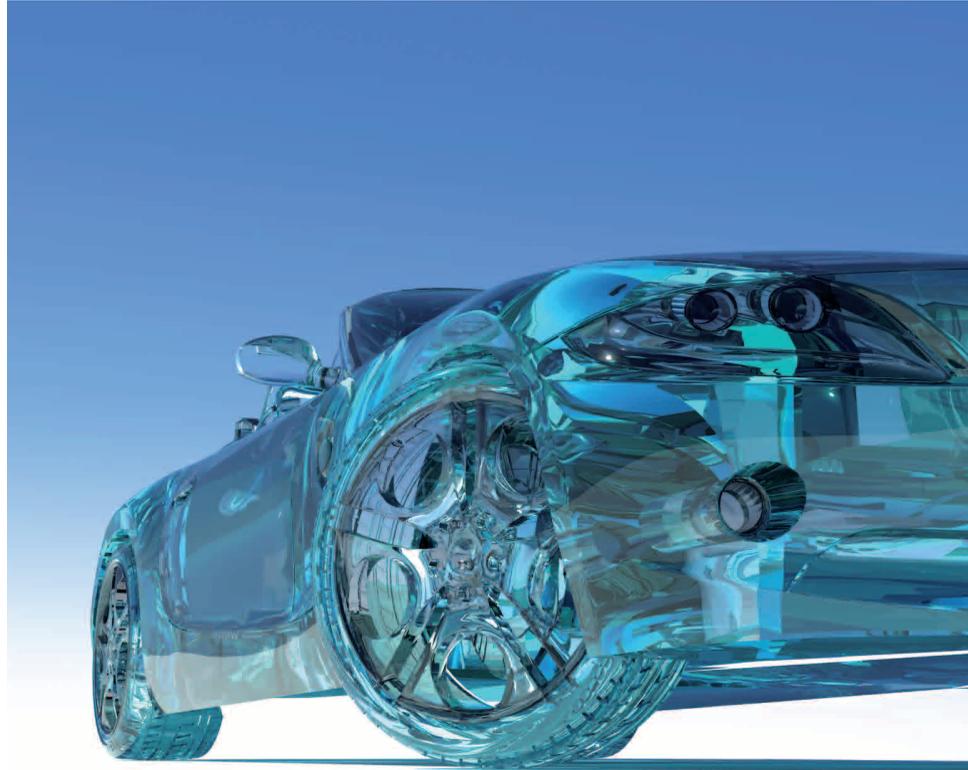
Frente a todas las ventajas descritas en el uso de nanomateriales en los vehículos, no hay que descuidar los efectos toxicológicos que pueden tener sobre los trabajadores, pues no son los mismos que los correspondientes a la misma partícula de tamaño micrométrico. A pesar de que algunas organizaciones y em-

presas recomiendan diferentes valores de referencia, los estudios de los que se dispone actualmente no son suficientes para el establecimiento de unos valores límite, pero sí han demostrado que la exposición laboral a nanomateriales puede estar asociada a la aparición de patologías frecuentemente pulmonares.

La principal vía de entrada de los nanomateriales en el organismo es la vía inhalatoria. En función de su tamaño, pueden llegar hasta los alveolos y alcanzar diversos órganos por difusión a través del torrente sanguíneo, pudiendo provocar efectos adversos para la salud. El principal mecanismo involucrado en la aparición de patologías está relacionado con la formación de radicales libres e interferencia de los nanomateriales con el metabolismo celular. Cuando los nanomateriales son inhalados pueden provocar un daño local por estrés oxidativo, desencadenando una reacción inflamatoria 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.

PRINCIPALES NANOMATERIALES EN EL SECTOR

Entre las propiedades que se pueden conseguir añadiendo nanomateriales a los componentes del vehículo se encuentra la mejora de la resistencia frente al rayado y la abrasión, logrando productos con mayor durabilidad. También se puede mejorar la seguridad en condiciones meteorológicas adversas, como en caso de lluvia, incorporando nanomateriales a las lunas del vehículo para lograr propiedades antirreflejo, antiempañamiento e hidrófobas, mejorando de forma significativa la visibilidad. La



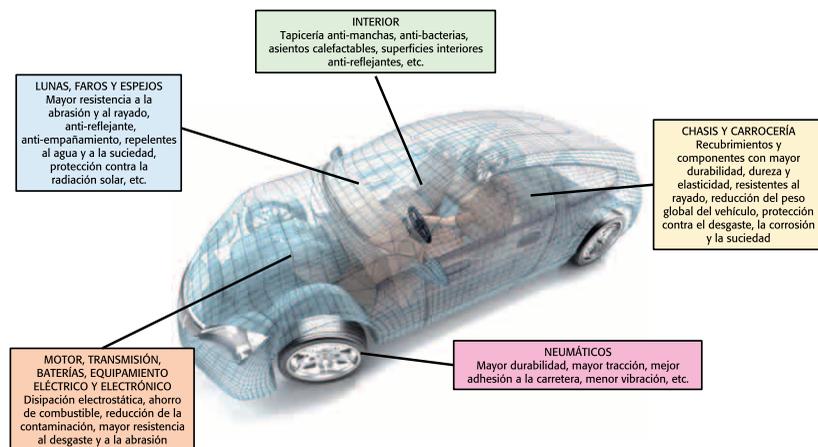
mejora en el rendimiento y eficiencia de los motores repercute directamente en un ahorro de combustible, disminuyendo la contaminación. Sin renunciar a la seguridad, también se puede reducir el peso del vehículo utilizando nanomateriales en la fabricación de componentes más resistentes y ligeros, lo que supone, nuevamente, un ahorro de combustible.

La importancia en la estética, confort y calidad de acabados y superficies también repercute en la búsqueda de mejores propiedades con la incorporación de nanomateriales. Un ejemplo de ello es la adición de nanopartículas de cuarzo a los recubrimientos y pinturas de los coches para lograr propiedades de autolimpieza, protección contra la corrosión y resistencia al rayado, que permiten la conservación de la pintura en perfecto estado. Otro ejemplo son los nanomateriales

que, añadidos a las pinturas, pueden alterar sus propiedades reflectoras del calor dependiendo de la intensidad de la luz solar, influyendo de esta forma en la regulación de la temperatura del vehículo y evitando así el uso del aire acondicionado, con lo que se ahorra combustible. Cuando se utilizan nanopartículas en sistemas de sellado y recubrimiento de superficies, se obtienen acabados más brillantes. Esto se consigue gracias al pequeño tamaño de las nanopartículas, que son capaces de penetrar en la superficie con mayor facilidad, rellenando los poros y haciendo que esta sea menos rugosa, menos áspera y con mayor brillo.

No hay que olvidar que la nanotecnología también se aplica en el interior del vehículo, encontrando productos antiempañamiento y anticontaminación para ventanas o espejos, asientos calefacta-

Figura 1 ■ Utilización de nanomateriales en las distintas partes del vehículo



bles (añadiendo nanotubos de carbono a la resina acrílica) o acabados textiles anti-manchas.

Con los ejemplos anteriores que-
da demostrado que el campo de apli-
cación de la nanotecnología en este
sector es muy amplio, pudiéndose
encontrar en el chasis y carrocería, in-
terior del vehículo, motor y sistema de
transmisión, pinturas y recubrimientos,
suspensión y sistema de frenado, lubri-
cación, neumáticos, catalizador y equi-
pamiento eléctrico y electrónico. En la

Tabla 1 ■ Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en el chasis y carrocería

	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
CHASIS, CARROCERÍA Y ACCESORIOS DE CARROCERÍA 	ACERO ESTRUCTURA ENCOLADO DE PIEZAS-ADHESIVOS	Nitruro de carbono metálico	Mayor resistencia.
		Grafeno Nanofibras de carbono + resina termoestable	Aligeramiento y reducción del peso del vehículo.
		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.
	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.
Nanoarcillas		Mejora la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas.	
Nanofibras de carbono		Resistencia a la tracción y aligeramiento del peso global del vehículo.	

Tabla 2 ■ Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en el interior del vehículo

 INTERIOR DEL VEHÍCULO	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
	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.	

figura 1 se puede apreciar cómo los nanomateriales pueden estar presentes prácticamente en todos los componentes de un vehículo, buscando diferentes propiedades en cada caso.

El chasis del automóvil es la estructura interna que le va a aportar rigidez y forma, por lo que las características mejoradas que se van a buscar son la mejora de la resistencia mecánica, disminución del peso sin perjudicar la seguridad, etc. Por su parte, la carrocería es lo que se ve exteriormente del coche, por lo que las propiedades que se quieren conseguir irán encaminadas a evitar la corrosión, los antiestéticos arañazos, la suciedad, etc. En la tabla 1 se detallan, de forma no exhaustiva, los nanomateriales que se pueden incluir en el chasis o la carrocería del vehículo y cuáles son las propiedades nuevas que aportan.

En el interior del vehículo se encuentran principalmente los asientos y los filtros de aire. En este caso, se busca la resistencia a la suciedad y efectos desodorizantes. En la tabla 2 se detallan, de forma no exhaustiva, los nanomateriales que se pueden incluir en el interior del vehículo y cuáles son las propiedades nuevas que aportan.

Las lunas, faros y espejos son una parte fundamental del vehículo ya que proporcionan la visión del exterior en la conducción. Así, mejoras en las propiedades como la protección contra la radiación, el empañamiento, la suciedad, los deslumbramientos, etc. son las que se persiguen con la nanotecnología. En la tabla 3 se detallan, de forma no exhaustiva, los nanomateriales que se pueden incluir en las lunas, faros y espejos del vehículo y cuáles son las propiedades nuevas que aportan.

La función principal de los neumáticos es permitir un contacto adecuado

Tabla 3 ■ Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en las lunas, faros y espejos

 LUNAS, FAROS Y ESPEJOS	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
	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. Resistencia 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.
		Polímeros de carbono fluorados	Fácil limpieza. Propiedades hidrofóbicas y oleofóbicas.
	ESPEJOS, RETROVISORES	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)		Aumento de 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).	

Tabla 4 ■ **Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en los neumáticos**

NEUMÁTICOS	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
	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.

por adherencia y fricción con el pavimento. Las mejoras que se pretenden conseguir con la incorporación de nanomateriales a esta parte del vehículo son, entre otras, la resistencia al desgaste y a la abrasión, el aumento de la durabilidad y la dureza, etc. En la tabla 4 se detallan, de forma no exhaustiva, los nanomateriales que se pueden incluir en los neumáticos del vehículo y cuáles son las propiedades nuevas que aportan.

Por último, para que el vehículo tenga movimiento, son necesarios el motor, el sistema de transmisión, las baterías, el equipamiento electrónico y el eléctrico. La incorporación de nanomateriales en este caso pretende reducir la fricción y el desgaste y contribuir al cuidado del medio ambiente, disminuyendo la contaminación. En la tabla 5 se detallan, de forma no exhaustiva, los nanomateriales que se pueden incluir y cuáles son las propiedades nuevas que aportan.

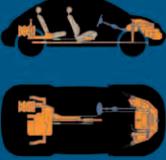
ESCENARIOS CON POTENCIAL EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES

El nivel de exposición real a nanomateriales en la industria de la automoción es difícil de determinar, ya que la mayoría de los nanomateriales a los que puede haber exposición se encuentran embebidos en una matriz, conformando el material que luego va a utilizarse para la fabricación de los componentes. Por tanto, la exposición comienza con el mecanismo de liberación del nanomaterial de su matriz, ya sea al ambiente o en el interior del organismo, mecanismo que va a estar condicionado por diversos factores como la solubilidad, el estado físico del producto, las condiciones o el proceso al que se somete, etc.

Considerando lo anterior, las operaciones en las que cabe esperar una mayor exposición son aquellas en las que se puede generar mayor cantidad de aero-



Tabla 5 ■ Nanomateriales utilizados o en estudio para ser aplicados en el motor, sistema de transmisión, baterías y equipamiento eléctrico y electrónico

	PIEZAS, PROCESOS O MATERIALES	NANOMATERIAL	PROPIEDADES
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. Reducción de la fricción y el consumo de aceite. Mejora de la combustión y disminución de consumo. Reducción del ruido y la vibración y disminución de 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	Aumento de 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	Mejora del rendimiento en baterías de vehículos con propulsión híbrida.
	LUBRICANTES	Au Cu Diamante Fullerenos inorgánicos CuO	Mejora de las propiedades del lubricante, como su comportamiento anti-desgaste, reduciendo la fricción.
	FLUIDOS DEL RADIADOR	CuO Al ₂ O ₃ ZnO TiO ₂ MgO Nanotubos de Carbono	Mejora de 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 la 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.	

soles (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 menos 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 las plantas de producción de la materia prima para la fabricación de los componentes y en los

talleres de reparación y mantenimiento de los vehículos.

A pesar de que la vía principal de exposición laboral es la inhalatoria, no hay que obviar que la vía dérmica también puede tener una contribución importante a la exposición, aunque en menor medida, en aquellas tareas en las que haya un contacto directo del cuerpo del trabajador con productos que contengan nanomateriales, siempre que

estos puedan desprenderse. Por ejemplo, durante una operación de lijado manual en húmedo apenas se liberan 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.

A continuación, se enumeran algunas de las actividades propias del sec-

■ **Tabla 6** ■ **Actividades con mayor probabilidad de exposición**

ACTIVIDADES	
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	

tor con mayor probabilidad de exposición (tabla 6).

Por otra parte, la existencia de partículas de fondo con dimensiones nanométricas que provienen de nanomateriales incidentales o naturales puede resultar de interés a la hora de valorar la exposición. En el sector automovilístico, los nanoma-

teriales incidentales son subproductos no intencionados que proceden fundamentalmente de humos de soldadura, emisión de motores diésel generados por 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. 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 depende de la velocidad de corte, existiendo una velocidad crítica para la cual dicha emisión alcanza su máximo. Esta velocidad de corte también afecta al grado de aglomeración, cuestión a tener en cuenta a la hora de adoptar medidas.

MEDIDAS PREVENTIVAS

El resultado de la evaluación de riesgos determinará qué trabajadores están expuestos a nanomateriales y cuáles son las situaciones en las que se requiere la implantación de medidas preventivas que eliminen o reduzcan al mínimo el riesgo. En el sector de la automoción, el concepto de trabajadores es muy amplio, incluye desde fabricantes hasta mecánicos, trabajadores de plantas de producción, etc. por lo que 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 primera actuación para prevenir la exposición a sustancias químicas peligrosas será, siempre que sea posible, la **eliminación** del riesgo o la **sustitución** del nanomaterial por un producto menos peligroso, ya que es la medida más eficaz y, por tanto, prioritaria. Sin embargo, en este caso resulta inviable puesto que la decisión de incorporar nanomateriales en componentes, pinturas, textiles, etc. de los



vehículos se realiza de forma intencionada 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.

Se puede actuar sobre la forma de presentación del nanomaterial o del producto que lo contiene, buscando aquella que libere menos nanomaterial al ambiente. Así serán preferibles nanomateriales contenidos en una matriz sólida o líquida, que no tengan tendencia a generar polvo.

Las **medidas de control técnico** se aplican cuando, como resultado de la evaluación, se presupone que hay un riesgo moderado o alto de exposición. A continuación, se dan una serie de recomendaciones para que las operaciones que generan más 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.
- Extracción localizada. Los filtros HEPA H14 o ULPA han demostrado ser eficaces para la captura de partículas nanométricas.
- 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.
 - Limpieza de autoclaves, tanques y agitadores, que se deberá efectuar automáticamente. En caso de ser necesaria la intervención de los trabajadores, se adoptarán las medidas preventivas específicas de los espacios confinados.
 - 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).
 - 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.
- Como medidas complementarias a las medidas técnicas, se deben aplicar las **medidas organizativas**. A continuación, se detallan algunos ejemplos:
- Delimitar y señalar los puestos de trabajo donde se emite polvo que puede contener nanomateriales.
 - Limitar al mínimo necesario la presencia de trabajadores durante las operaciones en las que se pueda generar polvo y se puedan liberar nanomateriales.
 - 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 nanomateriales, los riesgos asociados y las medidas preventivas a adoptar.
 - Se recomienda que la limpieza de los puestos de trabajo con presencia de nanomateriales se realice por aspiración, utilizando para ello aspiradores indus-

■ **Tabla 7** ■ **Medidas preventivas para disminuir la exposición a nanomateriales**

TAREAS	POSIBLES MEDIDAS PREVENTIVAS
ADICIÓN DE PRODUCTOS, TRASVASES	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • Automatización. • Encerramiento de los procesos. • Extracción localizada. • Utilización de procedimientos de trabajo. • Protección respiratoria. • Guantes de protección química. • Protección ocular.
MOLDEO POR INYECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización. • Encerramiento de los procesos. • Extracción localizada. • Utilización de procedimientos de trabajo.
MECANIZADO	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo en húmedo. • Extracción localizada. • Uso de herramientas con sistemas de aspiración de aerosoles generados. • Protección respiratoria. • Guantes de protección química y mecánica. • Protección ocular.
PINTURA	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización. • Utilización de cabinas de pintura. • Posicionamiento correcto. • Extracción localizada. • Protección respiratoria que incluya protección frente a partículas y otros contaminantes químicos presentes en las pinturas. Cuando sea necesario, se recurrirá a un equipo de respiración autónomo. • Guantes de protección química. • Protección ocular. • Ropa de protección y ropa de protección química.
SOLDADURA	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización. • Extracción localizada. • Utilización de equipos de soldadura con extracción incorporada. • Protección respiratoria que incluya protección frente a partículas y a otros contaminantes químicos presentes en los humos de soldadura. • Guantes de protección de cuero. • Pantalla facial.
LIMPIEZA DE AUTOCLAVES, TANQUES Y AGITADORES	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización. • Si es necesaria la intervención de los trabajadores, adoptar las medidas preventivas específicas de los espacios confinados.

triales 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.

Como última actuación, cuando no se haya podido eliminar el riesgo con las medidas técnicas y organizativas señaladas anteriormente, cuando estas sean técnicamente inviables o cuando se trate de operaciones puntuales o situaciones de emergencia, se recurrirá al uso de **equipos de protección individual**. Por otro lado, es posible que se den situaciones en las que se manipulen nanomateriales de los que se desconoce su peligrosidad que hagan también recomendable el uso de equipos de protección individual, sumado a la adopción de otras medidas preventivas.

Existen varios estudios que demuestran que los equipos de protección individual utilizados para partículas en escala micro son eficaces frente a partículas nanométricas. La protección de las vías respiratorias se realizará mediante un adaptador facial equipado con un filtro de partículas de tipo P3. 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.

La ropa de protección 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. 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.

La tabla 7 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 a nanomateriales.

CONCLUSIONES

La presencia de nanomateriales es una realidad en el sector de la automoción, y las previsiones señalan que su incorporación a los diferentes componentes de los vehículos va a ser cada vez mayor. Los nanomateriales aportan un valor añadido al vehículo, proporcionando unas propiedades mejoradas que hacen al sector más competitivo.

Esta realidad va acompañada de un aumento de trabajadores expuestos a



este tipo de materiales, algo que sin duda supone un reto para los técnicos de prevención en su tarea de prevenir, evitar o controlar la exposición laboral a nanomateriales de dichos trabajadores. No obstante, el mayor problema relacionado con la exposición a nanomateriales es la incertidumbre tanto sobre los efectos toxicológicos que puedan entrañar como sobre el nivel de exposición. En la actualidad no existen suficientes estudios toxicológicos ni epidemiológicos que permitan saber de forma clara cuáles son los efectos sobre la salud que puede presentar la exposición laboral a los mismos, por lo que tampoco están establecidos valo-

res límite sobre los cuales poder basar una evaluación.

Para abordar la evaluación de riesgos por exposición a nanomateriales es fundamental una adecuada identificación de las tareas donde potencialmente pueden liberarse nanomateriales al ambiente, que indique dónde puede haber un riesgo para los trabajadores. Así, se podrá determinar si nos encontramos ante una situación más o menos peligrosa, aplicando las medidas de control más adecuadas para evitar o minimizar la exposición laboral a nanomateriales en el sector de la automoción. ●

Bibliografía

- 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.
- Harini Kantamneni, *et ál.* (2013). Avant-garde Nanotechnology applications in Automotive Industry. *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, 33 (1), 195-197.
- Hartmut Presting, Ulf König (2003). Future nanotechnology developments for automotive applications. *Materials Science and Engineering C* 23 737-741.
- Mohseni, M; Ramezanzadeh, B; Yari, H; Moazzami, M. (2012). The Role of Nanotechnology in Automotive Industries.
- Sutter, U., *et ál.* (2006). Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Automotive Sector.
- Uibel, S., *et ál.* (2012) Nanoparticles and cars – analysis of potential sources. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 7:13.
- Werner, M; Kohly, W; Simic, M. (2008). Nanotechnologies in Automobiles- Innovation Potentials in Hesse for the Automotive Industry and its Subcontractors. 2008.
- Wernette, R. C. (2010). Automotive Nanotechnology: Big Rewards and Big Risks From the Inconceivably Small. *Westlaw Journal*, 30 (10), 1-7.
- CarbonInspired. Nanotecnología: Una guía para las PYMEs.
- Grupo Antolin (Verano 2012). Nuevas cargas minerales en termoplásticos. Noticias 14-15. Disponible en: <http://www.grupoantolin.com/sites/default/files/201263ES.pdf>
- Nano-Portal: Sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien. Nanorama Kfz-Werkstatt. Disponible en: <http://nano.dguv.de/nanorama/bghm/>