

LOS NANOMATERIALES EN EL SECTOR DEL MUEBLE

En el marco del diálogo social europeo, la Federación Europea de Trabajadores de la Construcción y la Madera (FETCM), la Confederación del Sector Europeo del Mueble (EFIC, según sus siglas en inglés) y la Unión Europea del Amueblamiento (UEA) acordaron encargar al Instituto IVAM UvA BV la realización de un estudio sobre el conocimiento actual de los agentes implicados en cuanto a la utilización de nanoproduitos en el mercado europeo del mueble y la elaboración de un panorama general sobre este asunto.

En la presente sinopsis se resumen las conclusiones de dicho trabajo, que se detallan más pormenorizadamente en el informe titulado *Nano in Furniture, state of the art 2012* (en español, «Los nanomateriales en el sector del mueble. Situación en el año 2012»). Las cuestiones más relevantes que se abordan son las siguientes:

¿Qué clases de nanomateriales se utilizan en la fabricación de productos de mobiliario?

¿Cuáles son las perspectivas a corto plazo en cuanto a la utilización de nanomateriales en la fabricación de muebles?

¿Qué asuntos relativos a la seguridad y la salud pueden ser importantes para los trabajadores en sus lugares de trabajo?

¿Cómo debería ser un lugar de trabajo preventivamente seguro?

Este minucioso estudio sobre el sector europeo del mueble, en el que se incluyen entrevistas a responsables de empresas de mobiliario y de suministro de materiales, pone de relieve que el mercado de nanomateriales utilizados en productos del mueble en el año 2012 está aún en una fase inicial de desarrollo. La nanotecnología puede tener enormes repercusiones en el futuro de la fabricación de muebles, tanto en cuanto a la calidad y las funcionalidades del mobiliario como a sus implicaciones en el medio ambiente y la salud pública y de los trabajadores derivadas de la fabricación y los productos finales que contengan nanomateriales.

Instituto IVAM UvA BV

LOS NANOMATERIALES EN EL SECTOR DEL MUEBLE

Situación en el año 2012 – Sinopsis

Fleur van Broekhuizen
30-5-2012



COLOFÓN

TÍTULO

Los nanomateriales en el sector del mueble – Situación en el año 2012 – Sinopsis.

AUTOR

F. A. van Broekhuizen (Instituto IVAM UvA BV, Países Bajos).

COMITÉ DE DIRECCIÓN

R. Gehring (FETCM), C. Ravazzolo (EFIC), M. Eirup (EFIC), B. de Turck (UEA), R. Rodríguez (UEA), U. Spannow (BAT, Dinamarca), J. Waage (FNV Bouw, Países Bajos) y J. Moratalla (AIDIMA, ES).

EL PRESENTE INFORME HA SIDO ENCARGADO POR

la Federación Europea de Trabajadores de la Construcción y la Madera (FETCM),
la Confederación del Sector Europeo del Mueble (EFIC, según sus siglas en inglés)
y la Unión Europea del Amueblamiento (UEA), en el marco del diálogo social europeo.



RECONOCIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la Dirección General de Empleo de la Comisión Europea a través del acuerdo de ayuda financiera número VS/2011/0134 – SI2-596685, en el contexto del diálogo social europeo del sector del mueble.

El autor desea dar las gracias a las empresas (de muebles, productoras de materias primas y fabricantes de productos), las organizaciones sectoriales, los centros de I+D y las personas que han contribuido eficazmente a la realización de este estudio, por sus valiosas ideas y la franqueza mostrada en las discusiones.

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE ESTE ESTUDIO, DIRÍJASE A

Instituto IVAM UvA BV
Ámsterdam (Países Bajos)
Teléfono: +31 20 525 5080
Página web: www.ivam.uva.nl
Correo electrónico: office@ivam.uva.nl

Diseño gráfico: Beryl Natalie Janssen/Cologne

La información que aparece en este informe puede utilizarse siempre y cuando se cite la fuente de manera adecuada. El Instituto IVAM UvA BV no asume ninguna responsabilidad en materia de daños o perjuicios derivados del uso o de la aplicación de las conclusiones de este informe.

ÍNDICE

- 2 INTRODUCCIÓN

- 3 MERCADO Y PERSPECTIVAS
 - 3 Oportunidades de mercado
 - 6 Factores que limitan el uso de los nanomateriales en el sector del mueble
 - 6 Costes frente a beneficios
 - 6 Resultados a largo plazo
 - 6 Preocupaciones en materia de seguridad y salud

- 7 CONSIDERACIONES EN EL CAMPO DE LA SEGURIDAD Y LA SALUD
 - 7 Introducción
 - 7 Efectos nocivos para la salud de los nanomateriales
 - 7 Efectos nocivos de los nanomateriales de dióxido de titanio (nano-TiO₂)
 - 8 Efectos nocivos de los nanomateriales de dióxido de silicio (nano-SiO₂)
 - 8 Efectos nocivos de los nanomateriales de plata (nano-Ag)
 - 9 Límites de exposición profesional
 - 10 Vías de exposición
 - 11 Exposición a través de la inhalación y consideraciones habituales en el ámbito de la salud
 - 12 Exposición a través de la piel
 - 12 Exposición a través de la ingestión
 - 12 Exposición del usuario final

- 13 LA ORGANIZACIÓN DE UN LUGAR DE TRABAJO SEGURO
 - 13 Hipótesis sobre la exposición laboral en el sector del mueble
 - 17 Comunicación transparente del riesgo y trazabilidad
 - 18 Iniciativas de reglamentación en materia de nanomateriales y de nanoproducidos

- 19 OBSERVACIONES FINALES

INTRODUCCIÓN

EN EL MARCO DEL DIÁLOGO SOCIAL EUROPEO, la Federación Europea de Trabajadores de la Construcción y la Madera (FETCM), la Confederación del Sector Europeo del Mueble (EFIC, según sus siglas en inglés) y la Unión Europea del Amueblamiento (UEA) acordaron encargar al Instituto IVAM UvA BV la realización de un estudio sobre el conocimiento actual de los agentes implicados en cuanto a la utilización de nanoproducidos en el mercado europeo del mueble y la elaboración de un panorama general sobre este asunto. En la presente sinopsis se resumen las conclusiones de dicho trabajo, que se detallan más pormenorizadamente en el informe titulado *Nano in Furniture, state of the art 2012* [en español, «Los nanomateriales en el sector del mueble. Situación en el año 2012»]. Las cuestiones más relevantes que se abordan son las siguientes:

- ¿Qué clases de nanomateriales se utilizan en la fabricación de productos de mobiliario?
- ¿Cuáles son las perspectivas a corto plazo en cuanto a la utilización de nanomateriales en la fabricación de muebles?
- ¿Qué asuntos relativos a la seguridad y la salud pueden ser importantes para los trabajadores en sus lugares de trabajo?
- ¿Cómo debería ser un lugar de trabajo preventivamente seguro?

El término «nano» hace referencia a una magnitud. Así, por nanotecnología se entiende simplemente la capacidad para observar, supervisar e influir en materiales (y en su comportamiento) desde la magnitud correspondiente al nanómetro (nm) [es decir, un conjunto de tamaños alrededor de diez mil veces inferiores al grosor de un cabello

humano]. Esto exige la utilización de métodos avanzados de formación de imágenes que permitan estudiar y mejorar el comportamiento de los materiales, además de la creación y producción de polvos, líquidos o sólidos muy finos que contengan partículas de un tamaño comprendido entre 1 y 100 nm, que se denominan nanopartículas. Por lo tanto, un nanomaterial es un material formado por un 50% de nanopartículas¹ como mínimo. Las empresas recurren a los nanomateriales para dar a sus productos propiedades nuevas o mejoradas (nanoproducidos). El sector del mueble no es un usuario demasiado importante de nanomateriales sin tratar, aunque sí utiliza nanoproducidos, entre los que cabría señalar los barnices o lacas altamente resistentes a los arañazos, los revestimientos antibacterianos, autolimpiables o fáciles de limpiar y los materiales de hormigón ultrafuertes para cocinas y aplicaciones de mobiliario urbano.

Asimismo, existe una gran preocupación sobre los posibles aspectos de seguridad y salud de los nanomateriales fabricados, ya que éstos podrían resultar más peligrosos para las personas que sus homólogos tradicionales a microescala, porque:

- son tan pequeños que pueden penetrar el cuerpo humano con mayor facilidad (p. ej. a través del sistema nervioso nasal, los pulmones o la piel);
- son tan pequeños que su polvo puede actuar como gases;
- pueden provocar respuestas concretas de toxicidad debido a su forma y su gran superficie específica;
- pueden presentar distintas propiedades físicas y químicas, como la conductividad.

Ahora empiezan a entenderse los mecanismos de toxicidad de los nanomateriales fabricados. Por otro lado, los mecanismos exactos en juego pueden variar en función de cada nanomaterial fabricado y, a día de hoy, aún quedan incógnitas por resolver. Sin embargo, es de esperar que la característica de toxicidad esté, al menos, parcialmente relacionada con el comportamiento único que los hace interesantes sobre todo para la innovación de productos. Los efectos adversos típicos observados oscilan entre la inflamación, las enfermedades cardiovasculares, la destrucción celular, la formación de tejido cicatrizal (por ejemplo en los pulmones), las disfunciones en embriones y el desarrollo de células cancerígenas en el tejido afectado. No obstante, los efectos perjudiciales observados como consecuencia de los nanomateriales fabricados dependen mayoritariamente de la dosis y del tiempo de exposición. Los efectos adversos también dependen del modo de exposición a los nanomateriales fabricados. Los primeros resultados, por ejemplo, indican que los nanomateriales fabricados pueden ser altamente tóxicos en su estado puro, aunque no siempre presentan dicha toxicidad cuando se produce la exposición, cuando el nanomaterial fabricado se integra en una matriz.

En la presente sinopsis se hace un resumen del estado actual de la utilización de nanomateriales en el sector del mueble en el año 2012, de su potencial a corto plazo, de las cuestiones relativas a la seguridad y la salud y de las buenas prácticas existentes para organizar un lugar de trabajo seguro en el sector europeo del mueble.

¹ El 18 de octubre de 2011 la Comisión Europea adoptó una definición de este concepto. Para más información, véase la siguiente página web [en inglés y francés]: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/704&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

MERCADO Y PERSPECTIVAS

LA NANOTECNOLOGÍA puede tener grandes implicaciones en el futuro del sector del mueble y la variedad de sus aplicaciones; tanto en cuanto a la calidad y funcionalidades, como a sus consecuencias con respecto al medio ambiente y a la salud pública y laboral. No obstante, al examinar el mercado existente en 2012 comprobamos que la utilización de nanomateriales en la fabricación de muebles y de productos se encuentra aún en una fase inicial de desarrollo. Las primeras experiencias sobre el terreno revelan los principales ámbitos de aplicación en el campo de los revestimientos (nanorevestimientos), con un tamaño del mercado probablemente inferior al 1% del resto de revestimientos aplicados «no nanos». El mercado de los nanomateriales fabricados del sector del mueble se caracteriza por la falta de trazabilidad, la ignorancia sobre la disponibilidad o el uso, la confidencialidad en torno a las actividades de investigación y desarrollo (I+D) y la reticencia por parte de los fabricantes de muebles a exponerse como usuarios de nanomateriales fabricados, como consecuencia del debate social mundial en materia de salud y seguridad y de las incertidumbres relacionadas.

OPORTUNIDADES DE MERCADO

A principios de este milenio, los nanomateriales fabricados se promovían como la mayor innovación que cambiaría el futuro de la I+D aplicada al mueble. Se crearon grandes expectativas, pero hasta ahora tan sólo una pequeña parte de esa I+D ha derivado en productos de éxito en el mercado. En los últimos años, y como consecuencia de la crisis económica mundial, se han paralizado las inversiones en I+D y se han reducido los nuevos avances.

Un ámbito en el que el uso de nanomateriales fabricados en productos está teniendo buenos resultados es en la mejora de la calidad del mobiliario para reducir las necesidades de servicio y mantenimiento. Los hospitales y las oficinas (residenciales) son ejemplos de lugares donde estos productos pueden aportar un gran valor añadido. El nano-SiO₂ (cristal líquido) constituye uno de los nanomateriales fabricados más mencionados en este contexto. El cristal líquido se utiliza en revestimientos fáciles de limpiar, impermeables, repelentes al aceite y antigraffiti. El cristal líquido se aplica también en lacas altamente resistentes a los arañazos o en revestimientos para proteger el metal, la madera o la piedra contra los procesos de erosión y desgaste. También puede proteger la madera contra la formación de algas y el ataque de otros organismos como la carcoma o las termitas. Asimismo, el nano-SiO₂ se emplea en la obtención de hormigón de ultraelevada resistencia y gran densidad, y es excelente para mobiliario de cocina y mobiliario exterior urbano. El contacto directo con los fabricantes de muebles y sus proveedores es un indicador de que el mercado de estas aplicaciones está aumentando de manera gradual.

Otro ámbito de éxito del nanomaterial fabricado es el de los revestimientos bactericidas o autolimpiables. La nano-plata y el nano-TiO₂ son los dos

nanomateriales fabricados más observados para esta función. Ambos resultan relativamente caros y se aplican en el tratamiento de superficies de mobiliario en centros médicos y otros lugares donde es necesario prevenir infecciones, por ejemplo, el sector alimentario, piscinas o saunas e incluso el transporte público.

El último ámbito de aplicación de los nanomateriales fabricados es el relativo a la prevención de la decoloración y la degradación ultravioleta de materiales. Las nanoarcillas son nanomateriales fabricados que se utilizan para estabilizar pigmentos. El nano-TiO₂, el nano-ZnO y el nano-CeO₂ son nanomateriales fabricados usados como agentes bloqueadores de rayos ultravioleta, por ejemplo en revestimientos que protegen la madera.

Aun así, existen muchas otras aplicaciones importantes que se han descrito en publicaciones o que están disponibles en el mercado, como el vidrio inteligente, los textiles de nanocelulosa y los adhesivos (véase también el informe completo «Los nanomateriales en el sector del mueble. Situación en el año 2012» en el que se incluye información exhaustiva sobre los diferentes nanomateriales disponibles en el sector del mueble, los cuales, hasta cierto punto, están todavía sin explotar en 2012). En un futuro próximo, los nanomateriales fabricados podrían



Tejido de nailon con un revestimiento impermeable y fácil de limpiar basado en cristal líquido.

TABLA 1 Panorama general de grupos de productos mejorados con nanomateriales que están disponibles para su uso en el sector del mueble en el año 2012

GRUPO DE PRODUCTOS	DESCRIPCIÓN	USO RELATIVO EN EL SECTOR DEL MUEBLE ²
Vidrio	Durante los últimos años la nanotecnología se ha aplicado con el fin de desarrollar y producir distintas clases de vidrio, a saber, vidrio no reflectante, vidrio para mantener la privacidad, vidrio de aislamiento térmico (basado en reflexión o absorción de luces infrarrojas) y vidrio biocidal. Muchas aplicaciones podrían hacer uso de estas modalidades. Pensemos, por ejemplo, en los armarios de vidrio, en las aplicaciones para museos, las lámparas, las mesas y los muebles de oficina o médicos. No obstante, según las grandes empresas del mercado, su penetración comercial en el sector del mueble es baja.	Bajo, no detectable
Material compuesto	En lo que respecta a I+D, existen muchas iniciativas en el campo de los nanomateriales compuestos, tanto para los materiales compuestos de plástico como para los de madera. En cuanto a los materiales compuestos de madera, se han descrito aplicaciones potenciales que hacen uso de nanofibras de madera para optimizar la resistencia y las prestaciones de los materiales compuestos. Sin embargo, los primeros contactos habidos con la industria de materiales compuestos indican claramente que esta aplicación no ha sido aún lanzada al mercado. Entre los posibles ejemplos, cabe destacar los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Nuevos sistemas resistentes al fuego. • Nanocelulosa como fibra de reforzamiento. • Nanosílice para aumentar la resistencia. 	Bajo, no detectable
Madera	En la silvicultura (la fase de producción de la madera) la nanotecnología se utiliza para optimizar sistemas biocidas de preservación de la madera y lograr una producción de madera más sostenible. Antes de que la madera se utilice en un producto, la nanotecnología puede emplearse para estudiar las prestaciones de la madera con más detalle y así hacer un mejor uso de sus posibilidades. En la fase de utilización de la madera, se están desarrollando nuevas técnicas para la modificación de la superficie de la madera a fin de ampliar la duración de la madera en sus funciones y en la resistencia a los rayos ultravioleta.	Bajo, no detectable
Metal	Las mejoras en los metales por medio del empleo de la nanotecnología se producen en la fase de modificación de las estructuras metálicas y en la fase de modificación de las superficies. El electrochapado es un ejemplo de una técnica que utiliza nanomateriales. Otro ejemplo sería el endurecimiento del acero.	Bajo, no detectable
Textil	Son muchas las diferentes aplicaciones potenciales de nanomateriales en el sector textil que se describen y encuentran en algunos productos. No obstante, en el sector del mueble sólo son utilizados los materiales textiles resistentes a las manchas, fáciles de limpiar y antibacterianos. Los textiles de alta absorción hechos de nanocelulosa constituyen una aplicación adicional que está ganando cada vez más mercado.	Reducido pero creciente
Hormigón	El hormigón se utiliza fundamentalmente en espacios públicos exteriores. El humo de sílice (nanosílice), utilizado en la producción de hormigón de prestaciones ultraelevadas, y el nano-TiO ₂ , utilizado para proporcionar al hormigón una superficie «autolimpiante», constituyen dos posibles aplicaciones de nanomateriales que pueden ser fuente de valor añadido en este sector. Prima-Marina, de Escofet®, es un ejemplo de gama de productos de bancos y mesas para exteriores que utilizan hormigón de prestaciones ultraelevadas, también conocido como piedra líquida. Los nanotubos de carbono son nanomateriales que se están investigando en la actualidad debido a su función de mejora de la resistencia de materiales compuestos de hormigón, por lo que su aplicación puede ser próxima.	Medio, pero cada vez más frecuente
Adhesivo	Los nanomateriales adhesivos que se indican para el sector del mueble se basan en la sílice o en compuestos de silano que actúan como agentes de reticulación en la estructura de polímeros adhesivos o como estabilizadores de adhesivos basados en agua con objeto de ajustar la viscosidad del producto. La dispersión aditiva Dermocoll®S de Bayer constituye un ejemplo de lo anterior, y está formada por una dispersión de sílice y poliuretano. Otra clase de agentes actúa en el campo del cepillado de superficies. La superficie nanocepillada mejora la resistencia adhesiva y reduce la cantidad de adhesivos necesitada.	Bajo, no detectable
Revestimiento resistente al agua o al aceite	La resistencia al agua o al aceite puede lograrse utilizando diversas nanotécnicas. Puede emplearse en textiles, madera o metales a fin de reducir la erosión y el desgaste y proteger contra manchas, huellas, etc. No obstante, también puede utilizarse en materiales compuestos de madera para impedir la dilatación por medio de la absorción de agua. Por ejemplo, la tecnología de vidrio líquido aplica un revestimiento impermeable y poroso que permite que el material subyacente pueda seguir respirando.	Relativamente alto y en aumento

² Debido al carácter pionero y a la reducida penetración en el mercado de los nanomateriales utilizados en el sector del mueble, no ha sido posible determinar cuantitativamente la utilización de nanomateriales en los diferentes grupos de productos. Por consiguiente, la incidencia y las perspectivas de mercado de los nanomateriales en los productos para el sector del mueble se indican de manera relativa. Así, «alto» debe interpretarse como «relativamente alto con respecto a todos los grupos observados de productos mejorados con nanomateriales disponibles en el mercado»; «bajo» debe interpretarse como «no detectable», aunque es imaginable que se utilice sin comunicar su uso como nano; y «reducido» debe interpretarse como «reducido pero observado».

Revestimiento resistente a los arañazos	Uno de los próximos mercados para nanoprodutos es el correspondiente a las pinturas o los barnices o lacas muy resistentes a los arañazos. Pueden ser para elementos de madera como mesas, sillas, puertas o suelos, pero también pueden utilizarse en cualquier otro material «blando» para muebles que se utilice intensivamente, como los plásticos o las planchas laminadas. Son varios los tipos de sistemas de revestimiento que cuentan con estas características, que pueden estar basados en materiales acuosos o no acuosos.	Relativamente alto y en aumento
Revestimiento antigraffiti	Los revestimientos antigraffiti están ideados para aplicaciones en exteriores, como el mobiliario urbano. No obstante, también pueden emplearse en muebles para niños o en cocinas para múltiples fines de mobiliario y tableros murales.	Medio y cada vez más frecuente
Revestimiento fácil de limpiar	La resistencia a la suciedad es una de las aplicaciones descritas en la que los nanomateriales se utilizan para mejorar las superficies de los materiales de los muebles. A menudo esta técnica se basa en el principio de la «hoja de loto», que está formada por hilos minúsculos que reducen la tensión de la superficie e impiden que se absorban el aceite y el agua. Como consecuencia de ello, la «suciedad» se elimina fácilmente. Cuando se aplica este principio a los materiales de muebles, su superficie se hace «fácil de limpiar», lo cual implica, por ejemplo, que se necesiten menos detergentes para las actividades de limpieza, incluso cuando están implicados materiales textiles.	Relativamente alto y en aumento
Revestimiento con protección frente a los rayos ultravioleta	Los muebles utilizados en exteriores están constantemente expuestos a toda clase de condiciones meteorológicas, incluida la radiación de rayos ultravioleta, la cual intensifica el deterioro de los materiales y revestimientos, por lo que un modo de retrasar este proceso es mediante la adición de agentes absorbentes de los rayos ultravioleta. En especial, se han descrito las ventajas para las superficies de madera de los nanoaditivos, ya que facilitan dicha absorción. Los aditivos que absorben rayos ultravioleta también se utilizan para ampliar la vida útil y la permanencia del color de pinturas o revestimientos que se deterioran a consecuencia de la exposición a los rayos ultravioleta.	Reducido pero creciente
Revestimiento autolimpiable	Los revestimientos autolimpiadores eliminan eficazmente los materiales orgánicos (contaminantes y organismos). Puede que sean interesantes para muebles de cocina en los que se forman diariamente depósitos de capas muy finas de aceites para alimentación y de otros contaminantes asociados a los alimentos (proteínas, carbohidratos). Asimismo, en medios como hospitales, saunas, piscinas, etc., también podrían ser de interés, pese a que no existe alternativa a las operaciones de limpieza habituales.	Bajo, pero creciente en campos específicos
Revestimiento bactericida	Los revestimientos bactericidas matan las bacterias y otros microorganismos como, por ejemplo, las algas o los hongos que tratan de sobrevivir en dichas superficies revestidas. Esto podría constituir una importante funcionalidad para el mobiliario de grandes espacios públicos, como el metro, el ferrocarril, las oficinas, los centros asistenciales, los hospitales o la bioindustria, donde los revestimientos pueden ayudar a reducir los riesgos de infección de una persona o un animal a otros congéneres y de ese modo impedir el desarrollo de plagas.	Bajo, pero creciente en campos específicos

TABLA 2 Nanomateriales predominantes en los nanoprodutos utilizados en el sector del mueble en 2012

Aportación al producto →	Resistencia a los arañazos	Fácil de limpiar	Antigraffiti	Estabilidad frente a rayos ultravioleta	Propiedades de autolimpieza	Anti-microbiano
Nanomaterial						
SiO ₂	X	X	X			
TiO ₂ /ZnO				X	X	X
CeO ₂				X		
Ag						X
CuO						X

desempeñar un papel relevante en el desarrollo adicional de las prestaciones de los muebles y en la configuración de un sector del mueble más sostenible. Los nanomateriales fabricados podrían facilitar:

- la producción de materiales más ligeros, resistentes y duraderos;
- la introducción de nuevas funcionalidades de relevancia;
- la sustitución de materiales

ignífugos peligrosos por sistemas nuevos basados en nanomateriales fabricados;

- el uso de técnicas de adhesión nuevas y la creación de adhesivos basados en nanomateriales fabricados;
- el diseño de muebles inteligentes, como armarios de cocina que avisan si se está acabando la pasta, o una silla que cambia de color según el deseo diario del consumidor.

En la tabla 1 se ofrece un panorama general de los diferentes grupos de productos disponibles y utilizados en los artículos del sector del mueble.

En el año 2012, en los nanomateriales utilizados en diversos grupos de productos asociados al sector del mueble predominan los nano-SiO₂ (dióxido de silicio), los nano-TiO₂ (dióxido de titanio) y los nano-Ag



Superficie pulida de un tablero de fibra de densidad media con una capa superior de bambú, tratada con una laca altamente resistente a los arañazos y basada en nano-SiO₂.

(plata). En la Tabla 2 se muestran los seis nanomateriales más frecuentemente utilizados en los nanoprodutos destinados a la industria del mueble, y se ofrece un panorama general de las principales funcionalidades que añaden al producto. En principio, estos nanomateriales podrían incorporarse a casi todos los productos de base. Por ejemplo, sólo es necesaria una modificación relativamente pequeña del nanomaterial para que pase de ser un revestimiento basado en solventes a un revestimiento basado en agua, o bien que pase de ser un revestimiento de madera a un revestimiento metálico. Además, sólo depende de la concentración el hecho de transformar un revestimiento impermeable en un revestimiento fácil de limpiar.

Pueden hallarse ejemplos de nanomateriales o nanoprodutos en varias bases de datos de productos que contienen nanomateriales y están disponibles en el mercado. La mayor parte de dichas bases de datos está ideada para los consumidores (por ejemplo, las del Instituto Woodrow Wilson³, de Nanowerk⁴, de Nanodaten⁵, de Bund⁶ y la Nanodatabasen⁷). Ahora bien, ninguna de ellas se ocupa de materiales o de productos destinados específicamente al sector del mueble, por lo que parece que todavía quedan muchas barreras que superar antes de que el mercado pueda hacer un uso a gran escala de los nanomateriales fabricados.

FACTORES QUE LIMITAN EL USO DE LOS NANOMATERIALES EN EL SECTOR DEL MUEBLE

Aunque las posibilidades de los nanomateriales para el mueble puedan resultar prometedoras, la introducción a gran escala de nanomateriales en productos de

mobiliario se está viendo afectada por varios impedimentos. A continuación se resumen los principales factores que limitan actualmente su aplicación.

COSTES FRENTE A BENEFICIOS

La mayoría de los nanomateriales fabricados son sustancias relativamente nuevas. Su volumen de producción anual sigue siendo bajo y, por consiguiente, sus costes elevados. Por este motivo, los nanomateriales fabricados resultan a menudo demasiado caros como sustitutivos de las alternativas existentes. Sin embargo, esta situación está cambiando con el aumento gradual del volumen de producción. El nano-TiO₂ es un ejemplo de nanomaterial fabricado que ha comenzado recientemente a ser rentable como bloqueador de rayos ultravioleta en revestimientos.

RESULTADOS A LARGO PLAZO

Debido a su novedad, muchos nanomateriales fabricados siguen teniendo que demostrar su sostenibilidad a largo plazo. Es posible que los procesos de producción tradicionales tengan que ser adaptados y que los fabricantes y consumidores tengan que confiar en sus prestaciones para que los fabricantes realicen inversiones en esta nueva técnica. Por ello, los nanomateriales fabricados se utilizan mayoritariamente en revestimientos. No obstante, puede que con mayor experiencia y confianza, los nanomateriales fabricados se abran camino entre los materiales más complejos y exigentes. Las fibras de nanocelulosa son un ejemplo de nanomaterial fabricado que podría emplearse en un futuro próximo para reforzar los revestimientos y los materiales compuestos.

PREOCUPACIONES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD

Poco se conoce aún sobre los aspectos de seguridad y salud de los distintos nanomateriales fabricados. Existen, sin embargo, suficientes razones para pensar en efectos adversos más graves en comparación con materiales más gruesos, debido al reducido tamaño y a la reactividad específica de los nanomateriales fabricados. La incertidumbre sobre los aspectos de seguridad y salud de los nanomateriales fabricados limita su uso por parte de los productores en la fabricación de muebles. Esa incertidumbre genera preocupación sobre la salud y la seguridad de los trabajadores, los consumidores y el medio ambiente. También genera preocupación sobre los riesgos de exposición a nanomateriales fabricados y las medidas de control adecuadas durante su aplicación y uso, y al final de su vida útil. Por lo tanto, es necesario que la información sobre la aplicación y el uso seguro de los nanomateriales fabricados se difunda a través de la cadena de valor del mueble: desde el productor de materias primas y el fabricante de muebles hasta el usuario final del producto. La información exhaustiva y fiable proveniente del proveedor capacita al empleador del sector del mueble para cumplir sus obligaciones de proteger a los trabajadores contra los riesgos asociados a los nanomateriales fabricados. Cuando la información relativa a su aplicación y uso se comunique adecuadamente entre todos los agentes implicados en la cadena de valor del mueble, este sector podrá utilizar los nanomateriales fabricados de manera segura y beneficiarse de las ventajas que aportarían.

³ <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

⁴ www.nanowerk.com

⁵ www.nanodaten.de

⁶ <http://bund.net/nanodatenbank>

⁷ www.nano.taenk.dk

CONSIDERACIONES EN EL CAMPO DE LA SEGURIDAD Y LA SALUD

INTRODUCCIÓN

Los nanomateriales pueden ser más peligrosos para las personas que sus equivalentes a microescala debido a las razones siguientes:

- Porque pueden penetrar en el tejido humano más fácilmente.
- Porque el polvo que de ellos se desprende puede comportarse como si fuera un gas, lo cual influye en sus propiedades de transmisión y exposición.
- Porque pueden ser transportados a través del sistema nervioso, pasar a la placenta o penetrar en la piel.
- Porque su forma puede provocar respuestas de toxicidad específicas como la inflamación o la tensión oxidativa.
- Porque poseen un coeficiente mayor de superficie con respecto a volumen [o de superficie con respecto a masa], lo cual incrementa su reactividad química.
- Porque pueden poseer diferentes propiedades químicas, como por ejemplo hacerse activos de manera catalítica.
- Porque pueden poseer diferentes propiedades físicas, como por ejemplo conductividad eléctrica o mayor solubilidad.

Pese a que los conocimientos actuales siguen siendo insuficientes para prever la toxicidad basada en la composición y la morfología de los nanomateriales, podría pensarse que las características de toxicidad están al menos relacionadas con el específico comportamiento químico y físico que les hace ser de interés, sobre todo para la innovación de productos. No obstante, con independencia de sus peligros intrínsecos, uno de los factores clave de cualquier riesgo para la salud provocado por los nanomateriales o los

nanoproductos es la probabilidad de exposición, de modo que cuando ésta se reduce eficazmente, no existe riesgo para la salud.

EFFECTOS NOCIVOS PARA LA SALUD DE LOS NANOMATERIALES

No existe lo que podría denominarse «un efecto para la salud de los nanomateriales» de carácter general, debido a que cada nanomaterial tiene sus propios y específicos efectos nocivos para la salud. De los nanomateriales fabricados que actualmente tienen un uso predominante en la industria del mueble, sólo se conoce relativamente bien la toxicidad de los nanomateriales de dióxido de titanio (nano-TiO₂). Por el contrario, la toxicidad de los nanomateriales de dióxido de silicio (nano-SiO₂) y de los nanomateriales de plata (nano-Ag), los otros dos nanomateriales más frecuentemente utilizados, es mucho menos conocida, y en lo que atañe a los demás nanomateriales fabricados, los datos relativos a su toxicidad son muy reducidos o inexistentes.

A causa del gran desconocimiento habido en cuanto a los efectos nocivos para la salud de cada nanomaterial en concreto, lo más sensato es recopilar lo que se sabe de ellos y determinar si existen pautas comunes. Los efectos de los nanomateriales en la salud observados más frecuentemente son la inflamación y la tensión oxidativa. En determinadas dosis, la inflamación y la tensión oxidativa pueden provocar la muerte de células o la formación de marcas en los tejidos, por ejemplo en los pulmones. Otros efectos derivados de los anteriores podrían ser el crecimiento extraordinario de las

células, los daños al ADN o la disfunción hormonal. En un estudio publicado por A. Aschberger y otros autores en el año 2011⁸ se hace un análisis exhaustivo del conocimiento existente acerca de los nanomateriales y su incidencia en la seguridad y la salud. Estos efectos generales sobre la salud pueden, en última instancia, manifestarse en forma de inflamación de las vías respiratorias, bronquitis, asma, enfermedades cardiovasculares, cáncer o efectos sobre el desarrollo de los niños. La sensibilización de la piel expuesta también se considera un posible efecto adverso; por ejemplo, en el caso de nanomateriales biocidas y reactivos de superficie, como los nano-TiO₂, los nano-Ag o los nano-SiO₂ (véanse más adelante). Ahora bien, los datos actuales son insuficientes para confirmar los efectos de sensibilización causados por los nanomateriales fabricados.

EFFECTOS NOCIVOS DE LOS NANOMATERIALES DE DIÓXIDO DE TITANIO (NANO-TiO₂)

En el año 2011 el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH, según sus siglas en inglés) revisó todos los datos científicos disponibles sobre la incidencia en la seguridad y la salud de los nano-TiO₂. De ese modo, el NIOSH⁹ llegó a la conclusión de que existen pruebas suficientes que permiten afirmar que los nano-TiO₂ son posibles sustancias carcinógenas en el trabajo. No obstante, lo más interesante es que el NIOSH sostiene que el efecto cancerígeno observado en los nano-TiO₂ es inducido a través de un mecanismo secundario, lo cual significa que dicho efecto no es «específico de sustancias químicas», sino «específico de

⁸ Aschberger A., Micheletti C., Sokull-Kluttgen B. y Christensen F. M. (año 2011), *Analysis of currently available data for characterizing the risks of engineered nanomaterials to the environment and human health – Lessons learned from four case studies*, publicado en *Environment International*, núm. 37, pág. 1143 – 1156.

⁹ Artículo del NIOSH titulado *Occupational Exposure to Titanium Dioxide*, publicado en *Current Intelligence*, boletín núm. 63, de abril de 2011.

partículas», provocado por el hecho de que los nano-TiO₂ no son solubles y tienen un tamaño nano (milmillonésimo). Por lo tanto, podría esperarse un efecto semejante en otros nanomateriales no solubles. Además, el NIOSH llegó a la conclusión de que la aplicación de un fino revestimiento alrededor de cada partícula de nano-TiO₂ parece incrementar su potencial carcinogénico y que su morfología (ya sea amorfa o cristalina) no parecía tener un efecto significativo en su cualidad cancerígena.

EFFECTOS NOCIVOS DE LOS NANOMATERIALES DE DIÓXIDO DE SILICIO (NANO-SiO₂)

Si se compara con la toxicidad de los nano-TiO₂, el grado de toxicidad del segundo nanomaterial, el nano-SiO₂, es aún mucho menos conocido. Los nano-SiO₂ pueden producirse en forma amorfa o cristalina y en gran variedad de configuraciones y morfologías. En función de cada estructura en concreto, su reactividad física y química es diferente y su grado de toxicidad puede también ser distinto. En un estudio publicado por D. Napiersky y otros autores en el año 2010¹⁰ se analizaban las diversas formas y vías de síntesis y se describían los conocimientos disponibles sobre los mecanismos de toxicidad en el trabajo. Así, llegaron a la conclusión de que la toxicidad de los nano-SiO₂ parece estar más estrechamente vinculada a su estructura cristalina. Se ha descubierto que los nano-SiO₂ cristalinos causan tensión oxidativa, y por consiguiente daños en el ADN y en las membranas. Por el contrario, la forma amorfa de los nano-SiO₂ se utiliza más frecuentemente en la industria para

mejorar las prestaciones de los productos; su empleo en barnices resistentes a los arañazos constituye un ejemplo de ello. La toxicidad de los nano-SiO₂ amorfos se considera muy inferior a la de los nano-SiO₂ cristalinos y, por lo tanto, sólo en un reducido número de estudios se han analizado a fondo sus características exactas. Ahora bien, los escasos estudios disponibles sí sostienen que los nano-SiO₂ no influyen en la fibrosis progresiva de los pulmones, sino que pueden provocar una inflamación pulmonar aguda cuando se inhalan en dosis elevadas. Aún así, podría ocurrir que este panorama debiera matizarse en función de la exacta configuración de los nano-SiO₂ amorfos. En muchos otros nuevos estudios se hace hincapié en la importante interrelación existente entre los nano-SiO₂ y los péptidos, en el gran efecto de la zona de superficie sobre la reactividad de este nanomaterial y en la dependencia de la toxicidad de cualquier modificación de la superficie. Así, por ejemplo, la interacción con los péptidos puede inducir a pensar en una potencia alérgica (similar a la de los productos epóxicos), y lo que también es importante es que algunos estudios han descubierto toxicidades diferentes como consecuencia de la realización de ensayos diferentes.

Sin embargo, en la antedicha obra de Napiersky y otros autores se afirma que los riesgos más comunes para la seguridad y la salud de los trabajadores derivados de los nanomateriales tienen lugar fundamentalmente cuando se produce o manipula el polvo de los nanomateriales sin tratar. Ahora bien, cuando se encuentran en suspensión o en una matriz sólida, estos autores afirman que los nano-

SiO₂ están fijos, por lo que puede considerarse que la exposición a través de inhalación es muy baja.

EFFECTOS NOCIVOS DE LOS NANOMATERIALES DE PLATA (NANO-AG)

La toxicidad de la plata se ha estudiado intensivamente en el pasado y se ha demostrado que la plata es relativamente no tóxica para las personas, pero que puede ser extremadamente tóxica para los organismos medioambientales. Al contrario de este tipo de plata macroscópica, el grado de toxicidad de los nanomateriales de plata es mucho menos conocido. En ambos casos, la toxicidad es fruto de la emisión de iones de plata (Ag⁺). No obstante, en el caso de los nano-Ag, las propias nanopartículas pueden provocar un aumento de la toxicidad, ya que a través de la exposición puede producirse una distribución diferente en el cuerpo humano (o en el medio ambiente) si se compara con las partículas de plata de tamaño superior. Así, por ejemplo, en los estudios sobre toxicidad medioambiental se ha observado que los nano-Ag actúan como una bomba de iones de plata en los microorganismos. En un reciente estudio hecho por la Organización Holandesa de Investigación Científica Aplicada TNO (año 2011)¹¹ se analizaban los datos disponibles que determinan el grado de toxicidad de los nanomateriales de plata.

Ahora bien, a pesar del actual desconocimiento en cuanto al grado exacto de toxicidad de los nano-Ag, existen claros indicios de que es preciso ser prudentes a la hora de aplicar nanomateriales de plata a los

¹⁰ Napiersky D, Thomassen L. C. J., Lison D., Martens J. A. y Hoet P. H. (año 2010), *The Nanosilica Hazard: another variable entity*, publicado en *Particle and Fibre Toxicology*, núm. 7, pág. 39.

¹¹ van Manen - Vernooij B., le Feber M., van Broekhuizen F. A. y van Broekhuizen P. (año 2011), *Pilot "Kennisdelen Nano in de verketen"*, informe de la TNO núm. V20123 | 1.

TABLA 3 Propuestas de LEP, LER y GNED para nanopartículas específicas

SUBSTANCIA		LEP ó LER mg/m ³	GNED mg/m ³	Referencia
MWCNT (Baytubes) *	8 horas de TWA**	0,05		Pauluhn, 2010
MWCNT (Nanocyl)	8 horas de TWA	0,0025		Nanocyl, 2009
CNT (SWCNT y MWCNT) *	8 horas de TWA	0,007		NIOSH, 2010
Fullerene		0,8		NEDO-2, 2009
Plata (18-19 nm)	GNED		0,098	Stone y otros autores, 2009
TiO ₂ (10 -100 nm) (LER) **	10 horas/día, 40 horas/semana	0,3		NIOSH, 2011

* CNT = nanotubo de carbono; SWCNT = CNT de una sola pared; MWCNT = CNT de múltiples paredes.

** LER = Límite de exposición recomendado; TWA = Media temporal ponderada.

TABLA 4 Sistema holandés de valores de referencia provisionales de los nanomateriales (NRV) conforme a la recomendación formulada por el SER en marzo de 2012

CLASE	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	NRV (TWA = 8 h)	EJEMPLOS
1	Nanotubos, nanofibras y nanovarillas rígidos y biopersistentes, para los que no se excluyen efectos similares a los del amianto	-	0,01 fibras/cm ³ (= 10.000 fibras/m ³)	SWCNT, MWCNT o fibras de óxido de metal para los que el fabricante no excluye efectos similares a los del amianto
2	Nanomateriales granulares y biopersistentes en un abanico de 1 a 100 nm	> 6 000	20.000 partículas/cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe, Fe _x O _y , La, Pb, Sb ₂ O ₅ , SnO ₂
3	Nanomateriales granulares y biopersistentes en un abanico de 1 a 100 nm	< 6 000	40.000 partículas/cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, nanoarcilla Negro de humo, C ₆₀ , dendrímeros, poliestireno Nanotubos, nanofibras y nanovarillas para los que están expresamente excluidos efectos similares a los del amianto
4	Nanomateriales granulares y no biopersistentes en un abanico de 1 a 100 nm	-	LEP aplicable	Por ejemplo: grasas, siloxanos, sal (= NaCl)

productos del sector del mueble. Una de las aplicaciones esenciales de los nano-Ag es para el tratamiento médico de heridas muy sensibles, de infecciones bacterianas o como desinfectante para cepas bacterianas muy persistentes o que se han hecho resistentes a otros antibióticos. Sin embargo, el uso inapropiado puede contribuir al desarrollo de resistencia bacteriana a la plata (véanse el estudio de la TNO de 2011 y la bibliografía allí mencionada), por lo que cuando esto ocurre los efectos en la salud humana pueden ser muy relevantes.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL

Con el fin de evaluar la seguridad en el trabajo, frecuentemente se utilizan límites de exposición profesional (LEP). El conocimiento científico actual es bastante reducido como para proponer la aplicación de LEP basados en la salud a la mayor parte de los nanomateriales. Sólo en un número limitado de nanomateriales los centros de investigación o las empresas han propuesto límites de exposición profesional (LEP), límites de exposición recomendados (LER) o grados de no efecto derivado (GNED) para sus nanomateriales fabricados. En la Tabla 3 se hace un resumen de las propuestas seleccionadas.

Como alternativa hasta que se obtengan valores de nanomateriales sólidos basados en la salud, pueden emplearse valores provisionales de referencia de nanomateriales para efectuar comparaciones de carácter práctico. Así, varias iniciativas han estudiado las posibilidades de crear un sistema que permita establecer valores genéricos de referencia para los nanomateriales fabricados, como por ejemplo las del Instituto alemán IFA (*Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung*) y las del Instituto británico BSI (*British Standard Institute*). En los Países Bajos las asociaciones patronales y de trabajadores acordaron mutuamente utilizar dichos índices comparativos para el análisis de la

exposición en el trabajo o profesional, mediante los denominados valores de referencia provisionales de los nanomateriales (NRV, según sus siglas en inglés). En marzo de 2012 el Consejo Económico Holandés (SER, según sus siglas en neerlandés)¹² publicó un sistema para dichos valores en concepto de recomendación especial para el Ministerio holandés de Asuntos Sociales y Empleo, tal como se pone de manifiesto en la Tabla 4.

Los valores de referencia de nanomateriales se utilizan como índices comparativos de carácter pragmático, mas no garantizan que una exposición por debajo de esos valores sea necesariamente segura. Este tipo de valores puede utilizarse en la medida en que la Unión Europea o los Estados miembros individuales no hayan presentado formalmente nanolímites de exposición profesional basados en la salud, o siempre y cuando no estén disponibles límites específicos de exposición profesional recomendados y basados en la salud o grados de no efecto derivado provenientes de la normativa europea REACH sobre productos químicos. La cooperación entre los interlocutores sociales holandeses que permitió el establecimiento del sistema de valores de referencia de nanomateriales, así como su carácter oficial por haber sido recomendados por el Consejo Económico Holandés, hacen que este planteamiento sea único en su género. También es único el indicador así definido, a saber, el número de nanopartículas por cm^3 , que expresa el convencimiento actual de que la reactividad de los nanomateriales está relacionada con el tamaño de la zona de superficie y no con la masa. La

aplicación del sistema de valores de referencia de nanomateriales en la UE cuenta con el apoyo de la Confederación Europea de Sindicatos (CES), por lo que actualmente se está estudiando la conveniencia de su aplicación en la Unión Europea.

No obstante lo anterior, cuando se utiliza un nanomaterial en un producto, aquél no constituye necesariamente una partícula «invariable». En muchos productos el nanomaterial reaccionará con la matriz del producto o bien se unirá a ella. Como ejemplos de lo anterior cabría citar a la nanosílice en barnices resistentes a los arañazos, la nanoplata en textiles de alta calidad o un nanomaterial que se utiliza en el electrochapado. En otros productos, el nanomaterial se mantiene menos integrado en la matriz del producto, como el dióxido de nanotitanio en revestimientos autolimpiables. La suerte corrida por un nanomaterial en un producto influye en sus efectos nocivos para la salud y en la probabilidad de exposición. Por consiguiente, es importante saber que su toxicidad puede variar durante sus fases de vida útil, desde ser potencialmente peligroso como material sin tratar, pasando por ser un producto de consumo no tóxico durante su fase de utilización, hasta ser un residuo peligroso de nuevo en la fase final o cuando se vierte al medio ambiente. Un aspecto fundamental en el debate sobre los efectos de los nanomateriales en la seguridad y la salud es, por lo tanto, la cuestión de la suerte corrida por el nanomaterial, es decir:

¿Qué sucede al nanomaterial una vez que se aplica y qué sucede a su carácter nanoespecífico?

VÍAS DE EXPOSICIÓN

En el sector del mueble los trabajadores estarán expuestos (casi sin excepción) a nanoproducidos en la forma en que se adquieren o bien en nuevas formas debido a su uso o transformación), pero no a nanomateriales puros, lo cual significa que la exposición tiene lugar predominantemente con respecto a:

Productos en los cuales las nanopartículas (o los nanomateriales) están integradas (en una matriz sólida, en polvo, en líquido o en un compuesto acuoso), y al polvo o los aerosoles derivados de dichos productos elaborados cuando se trabajan a máquina, se pulverizan o se aplican de cualquier otro modo en el lugar de trabajo.

Lo anterior tiene un efecto muy relevante en la exposición efectiva del trabajador al nanomaterial que se encuentra en el producto. En los estudios hechos por Saber y otros autores (año 2011 a¹³ y b¹⁴) se pone de relieve que podría haber una diferencia significativa entre la exposición a nanomateriales puros y la exposición a nanomateriales incorporados a un revestimiento. En ambos se analizan varios revestimientos (recubrimientos acrílicos y un barniz protegido contra los rayos ultravioleta) a los que se han añadido distintos nanomateriales (nano-TiO₂, nano-SiO₂, nano-arcilla y negro de humo) y se comprueba que los nanomateriales puros sí provocan efectos nocivos para el ADN y otros efectos de tipo inflamatorio específicos de nanoelementos una vez que se han incorporado al revestimiento o al barniz, de forma que el grado de toxicidad del polvo de lijado de tales

¹² SER Advies 12/01, marzo de 2012, *Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen*, Anexo 1.

¹³ Saber A. T., Jensen K. A., Jacobsen N. R., Birkedal R., Mikkelsen L., Moller P., Loft S., Wallin H. y Vogel U. (año 2011 a) *Inflammatory and genotoxic effects of nanoparticles designed for inclusion in paints and lacquers*, estudio publicado en *Nanotoxicology, Early Online*, pág. 1 – 9.

¹⁴ Saber A. T., Koponen I. K., Jensen K. A., Jacobsen N. R., Mikkelsen L., Moller P., Loft S., Vogel U. y Wallin H. (año 2011 b) *Inflammatory and genotoxic effects of sanding dust generated from nanoparticle-containing paints and lacquers*, estudio publicado en *Nanotoxicology, Early Online*, pág. 1 – 13.

nanoproductos era semejante al de los mismos productos sin nanomateriales. Dicho de otra manera, el primer y preliminar estudio científico hecho sobre este asunto pone claramente de manifiesto que los nanomateriales que están incorporados a una matriz no tienen necesariamente que poseer el mismo grado de toxicidad específico de los nanomateriales que tienen en su forma pura. Se trata, por lo tanto, de una primera conclusión muy prometedora y de gran importancia para la evaluación del riesgo de trabajar con nanomateriales y productos en el sector del mueble, que además anima a seguir en esa línea de investigación a fin de determinar si se observa un efecto análogo con otros materiales y productos.

Si generalizamos el modo en que un nanomaterial fabricado puede formar parte del nanoproducto, hallamos las tres posibilidades siguientes:

1. Un nanomaterial puede ser químicamente inerte pero capaz de interactuar físicamente. Esto tiene como consecuencia la creación de una matriz en la que el nanomaterial está integrado, aunque no reacciona químicamente con la matriz del producto. De esta manera, el nanomaterial sigue estando «libre» y, en principio, podría liberarse.
2. Un nanomaterial puede ser químicamente reactivo. Esto provoca una unión química entre el nanomaterial y la matriz, lo cual imposibilita la liberación del nanomaterial.
3. Un nanomaterial puede ser química y físicamente reactivo y, así, unirse químicamente en la superficie de la matriz. De este modo, el nanomaterial está imposibilitado para liberarse, pero la exposición puede ocurrir a través del contacto directo con la superficie. Las superficies bactericidas son un ejemplo de lo anterior.

En las tres subsecciones siguientes se explican los distintos modos a través de los cuales los trabajadores del sector del mueble pueden exponerse a nanomateriales incorporados a los productos con los que trabajan. Debido a la propia naturaleza de sus actividades diarias y de los productos con los que habitualmente trabajan, la exposición a través de la inhalación de polvo de nanomateriales (proveniente de cortar, lijar, perforar, coser o fabricar a máquina) o de aerosoles provenientes de pintura o pulverización de cola es la que tiene más probabilidades de plantear riesgos para la salud. La penetración en la piel también puede ser relevante (aunque en mucha menor medida); por ejemplo, en lo que atañe a las sustancias reactivas en la superficie, como los bactericidas, podría esperarse que provocaran problemas para la salud en el trabajo. La exposición a través de la ingestión también es otra de las posibilidades a tener en cuenta. Los nanomateriales que se liberan de los pulmones o la zona nasal se ingerirán con la mucosidad y existe la posibilidad de que, por ejemplo, se ingieran nanomateriales que contienen polvo o pintura durante el almuerzo o al tomar un café si las manos o la cara no están bien lavadas.

Por otro lado, se considera que la exposición a nanopartículas, debido al transporte de elementos sólidos de mobiliario mejorados con nanomateriales, como cerámicas, vidrios, aceros, plásticos, materiales compuestos, materiales de aislamiento, hormigones, maderas o superficies tratadas con revestimientos endurecidos, sea muy reducida, ya que en tales casos se supone que los nanomateriales están contenidos en la matriz sólida. Ahora bien, es recomendable que, siempre que existan dudas, en estas situaciones también se evite el contacto con la piel mediante el uso de guantes.

EXPOSICIÓN A TRAVÉS DE LA INHALACIÓN Y CONSIDERACIONES HABITUALES EN EL ÁMBITO DE LA SALUD

La exposición a los nanomateriales a través de la inhalación sucede cuando flotan partículas en el aire del lugar de trabajo debido a que determinados procesos generan polvo o aerosoles, o bien porque se manipula polvo de nanomateriales. En el sector del mueble la mayor parte de los nanomateriales se introduce en el lugar de trabajo al formar parte (como ingrediente) de nanoproductos como los revestimientos o los textiles tratados. La manipulación de nanomateriales sin tratar no ha sido tomada en consideración en el proyecto que nos ocupa. Entre los ejemplos existentes en este sector podemos citar el añadido de agentes de acabado mate basados en nanosílice a revestimientos o barnices y algunos pigmentos (utilizados en forma de suspensión).

Algunos estudios han puesto de relieve que las nanopartículas pueden penetrar en el tejido pulmonar y llegar al torrente sanguíneo. Asimismo, las nanopartículas pueden llegar al cerebro a través del sistema nervioso nasal, desde donde pueden cruzar la barrera de sangre del cerebro o ser transportadas por medio del sistema nervioso. Estos dos mecanismos pueden llegar a ser muy importantes en el desarrollo de ciertas enfermedades cardíacas o del sistema nervioso central.

Un grupo de nanomateriales que merece una atención especial es el formado por los nanomateriales tubulares. Hace algunos años, los nanotubos de carbono se hicieron muy populares en todo el mundo debido a su pretendido efecto mesotelial (cáncer de una parte específica del pulmón y el peritoneo). Sin embargo,

los nuevos estudios realizados en este campo ponen de manifiesto que la toxicidad de los nanotubos de carbono (así como de otros nanotubos) depende enormemente de la configuración y la funcionalidad exactas del nanomaterial. En la obra de Zhao y Liu (año 2012)¹⁵ se hace un análisis exhaustivo de los conocimientos actuales sobre dicho asunto. Ahora bien, en un primer enfoque preventivo es aconsejable evitar la exposición a nanotubos, nanovarillas y nanofibras, a no ser que estén expresamente excluidos los efectos similares a los del amianto por el fabricante del nanomaterial.

Los nanomateriales tubulares (o en forma de varilla) merecen una atención muy especial a la hora de evaluar la seguridad y la salud de los trabajadores, los consumidores y el medio ambiente. En la actualidad no existen pruebas de la utilización de nanotubos de carbono en la industria del mueble; ahora bien, debido a sus propiedades eléctricas únicas y a su potencial para actuar como fibra de refuerzo, agente alternativo de resistencia al fuego o repelente contra el crecimiento de algas, es posible considerar que surjan nuevas aplicaciones en el futuro.

EXPOSICIÓN A TRAVÉS DE LA PIEL

Tradicionalmente se considera que la piel es una buena barrera contra las partículas. Sin embargo, cuando la piel se pone en peligro (esto es, se deteriora o daña) o bien a consecuencia de la tensión (como en las articulaciones), las nanopartículas pueden penetrar en la piel. Además, los folículos pilosos y los poros son zonas de la piel donde puede producirse la penetración de

nanopartículas. Desde el momento en que una nanopartícula cruza la barrera de la piel, es evidente que el tejido subyacente de la piel y el torrente sanguíneo se convierten en sus dos primeros objetivos. A través de la sangre la nanopartícula podría seguir siendo transportada hacia otros órganos. La propia piel puede ser también uno de los órganos objetivo. Hasta el momento actual el desarrollo de la sensibilización de la piel a consecuencia de su exposición a nanomateriales fabricados no ha sido demasiado estudiado. A causa de la funcionalidad de algunos nanomateriales, creados por ejemplo para descomponer materiales orgánicos o para actuar como biocidas, el potencial de sensibilización no puede ser excluido sin que se analice más a fondo. En lo que incumbe a los nanomateriales de dióxido de silicio, su reacción con los péptidos puede hacernos pensar en un posible potencial de sensibilización que debería ser estudiado en el futuro. Por lo tanto, la piel como vía de exposición merece una atención especial en el sector del mueble; por ejemplo, cuando el trabajo requiere la generación de nanomateriales que contienen polvo, o bien cuando el nanomaterial que contiene residuos de polvo permanece en el lugar de trabajo.

EXPOSICIÓN A TRAVÉS DE LA INGESTIÓN

La ingestión no sólo afecta a los nanomateriales tragados directamente por la boca, sino que también puede tener que ver con nanopartículas que se inhalan y después se eliminaron del sistema pulmonar con la mucosidad y posteriormente se tragan (lo que se denomina la ingestión secundaria). Así, las nanopartículas

pueden ser absorbidas en el intestino y entrar en el aparato circulatorio al igual que hacen habitualmente los nutrientes.

EXPOSICIÓN DEL USUARIO FINAL

A pesar de que lo más probable es que los usuarios finales de un producto de mobiliario no participen en la transformación (fabricación) del producto, es posible prever una cierta exposición de aquéllos a los nanomateriales, en particular debido a que puede haber contactos (de la piel) muy intensos con la capa superior del producto (silla, mesa, etc.). No obstante, la exposición sólo tendrá lugar si el nanomaterial es relativamente «móvil», como ocurre, por ejemplo, con los plastificantes, o bien si el nanomaterial está situado en la parte superior de la matriz, como sucede con los bactericidas. Aún así, a la hora de evaluar los riesgos de la exposición a estos nanomateriales, debemos tener en cuenta que a menudo se pretende que los nanomateriales estén asociados a la matriz de los materiales o bien integrados en ella. Por este motivo, en muchas aplicaciones la exposición del usuario final será reducida. Sin embargo, la posible exposición de los usuarios finales debe ser una cuestión a tomar muy en consideración en el momento de crear un producto de mobiliario.

¹⁵ Zhao X y Liu R (año 2012), *Recent progress and perspectives on the toxicity of carbon nanotubes at organism, organ, cell, and biomacromolecule levels*, publicado en *Environment International*, núm. 40, pág. 244 – 256.

LA ORGANIZACIÓN DE UN LUGAR DE TRABAJO SEGURO

TRABAJAR CON NANOMATERIALES

de manera responsable es uno de los principios de prevención defendidos por la Comisión Europea y los interlocutores sociales del sector del mueble. Este principio no se basa en una nueva reglamentación, sino en un modo de trabajar formado por los cinco componentes básicos que exponemos a continuación.

laboral para la salud durante la manipulación de nanomateriales fabricados, y establecer medidas preventivas para evitar o reducir al mínimo la exposición. Las directrices para el trabajo seguro con nanomateriales y nanoproducidos (*Guidance on Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts*), elaboradas por los interlocutores sociales holandeses, es

miembros de la Unión Europea y en Estados Unidos se están poniendo en marcha iniciativas similares.

HIPÓTESIS SOBRE LA EXPOSICIÓN LABORAL EN EL SECTOR DEL MUEBLE

Durante los últimos años se han publicado muchos estudios sobre la posible exposición de los trabajadores a los nanomateriales en situaciones reales. El objeto principal de tales estudios es la posible exposición durante las actividades de lijado o pulverización y durante el trabajo con polvo de nanomateriales. En sus conclusiones preliminares, todos estos estudios coinciden en que la exposición a nanomateriales en libertad sólo se observa cuando se trabaja con nanomateriales puros o con polvo de nanomateriales. Una vez que el nanomaterial está integrado en una matriz, la exposición al nanomaterial puro deja ya de observarse. Por el contrario, la exposición observada durante las actividades de lijado o pulverización se considera comúnmente que está formada por la matriz del producto, con el nanomaterial ya integrado en ella. Las mediciones de la exposición laboral llevadas a cabo en el contexto del presente estudio están en línea con esas conclusiones preliminares.

En un primer planteamiento, la manipulación de nanomateriales fabricados en muebles podría clasificarse en tres «zonas» de riesgo:

DE MAYOR RIESGO son aquellas actividades en las que se manipulan polvos de nanomateriales fabricados puros. Las primeras medidas orientadas a disminuir cualquier riesgo de exposición deben incluir las siguientes:

- (1) investigar si es posible la sustitución por un producto

TABLA 5 Componentes básicos de un enfoque preventivo para trabajar con nanomateriales fabricados en el sector del mueble

1. Cuando no hay suficiente información para determinar los riesgos de salud y seguridad de los nanomateriales fabricados, debe prevenirse la exposición de los trabajadores en el sector del mueble:
 - Evitar la exposición a nanomateriales fabricados de acuerdo con la estrategia de prevención.
2. Dada la incertidumbre sobre los riesgos de salud y seguridad de los nanomateriales fabricados, los fabricantes y proveedores deberán informar a los usuarios finales del sector del mueble acerca de los nanomateriales fabricados presentes en sus materiales o productos.
 - Declaración del contenido de nanomateriales fabricados y de su posible liberación de un producto o material a través de la cadena de producción.
 - Notificación del contenido de nanomateriales fabricados y de su posible liberación de un producto o material en un registro central.
3. El registro de la exposición en el lugar de trabajo favorece el control temprano y el análisis retrospectivo de los efectos adversos en la salud de los trabajadores producidos por los nanomateriales fabricados en el sector del mueble:
 - Equivalente al registro de carcinógenos: nanofibras y nanomateriales fabricados carcinogénicos, mutagénicos, reprotóxicos y sensibilizantes.
 - Equivalente al registro de sustancias reprotóxicas: todos los demás nanomateriales fabricados no solubles.
4. La comunicación transparente sobre el riesgo es esencial para los trabajadores y empleadores a fin de organizar un lugar de trabajo seguro a la hora de trabajar con nanomateriales fabricados en el sector del mueble:
 - Información en la ficha de datos de seguridad de materiales sobre los nanorriesgos conocidos, la gestión y las lagunas de conocimiento.
 - Información sobre la aplicación y el uso seguros, por ejemplo, en forma de un manual de instrucciones.
 - Exigir un informe sobre la seguridad química (REACH) de las sustancias > 1 tonelada/año/empresa.
5. Se requiere la derivación de los límites de exposición profesional (LEP) o de los valores de referencia de nanomateriales a fin de evaluar la seguridad en el trabajo:
 - De nanopartículas que podrían liberarse en el lugar de trabajo.

La ejecución del enfoque preventivo resulta compleja. A fin de apoyar a los empleadores y a los trabajadores en este proceso, se han creado diversas herramientas. El objetivo de una de ellas consiste en ayudar a los trabajadores y empleadores en la valoración y evaluación del riesgo

un ejemplo de dicha herramienta. Otras se centran en la derivación de los límites de exposición profesional (LEP). Las directrices y el sistema de NRV pueden considerarse conjuntamente una buena práctica para la organización de un lugar de trabajo preventivo. En otros Estados

- alternativo con riesgos para la seguridad y la salud ya conocidos;
- (2) pedir al proveedor que suministre los nanomateriales fabricados en formatos líquidos o pastosos;
 - (3) evitar toda exposición (protegiendo al trabajador mediante ventilación, preferiblemente con una campana extractora de humos o con brazos robóticos en un proceso completamente cerrado y automatizado, o bien con medidas de protección personal).

DE RIESGO MEDIO son aquellas actividades desempeñadas con materiales que contienen nanomateriales fabricados (líquidos o sólidos) como pinturas, lacas, adhesivos, compuestos o textiles. Pulverizar, lijar, pulir, cortar, o bien mecanizar materiales que contienen nanomateriales fabricados son ejemplos de actividades con un alto riesgo de exposición, que ocurren fácilmente en el sector del mueble. En estos casos, la exposición al polvo o a aerosoles que contienen nanomateriales fabricados es probable y debe evitarse. Las primeras acciones para controlar cualquier riesgo de exposición deben incluir:

- (1) evitar, en la medida de lo posible, la producción de polvo o aerosoles mediante la técnica de aplicación,
- (2) aplicar un sistema de ventilación eficaz y
- (3) adoptar medidas de protección personal contra la inhalación o el contacto con la piel.

DE BAJO RIESGO son aquellas actividades como la manipulación de materiales sólidos o líquidos que contienen nanomateriales fabricados, que no producen ningún tipo de polvo o aerosol. Un ejemplo de esta actividad consiste en transportar un tablero recubierto de nanomaterial fabricado o

un cubo de pintura de nanomaterial fabricado de un punto A a un punto B. El nanomaterial fabricado se encuentra en la matriz, por lo que no migra a la superficie de contacto fácilmente. No obstante lo anterior, es recomendable evitar el contacto con la piel utilizando guantes; por ejemplo, cuando se transportan productos de mobiliario tratados con revestimientos bactericidas que son reactivos en la superficie.

En el caso de las actividades de riesgo medio y alto con nanomateriales fabricados o con materiales en los que éstos están incluidos, es también aconsejable supervisar la exposición real a nanopartículas de los trabajadores implicados, lo cual debe hacerse preferentemente antes y después de adoptar las medidas adicionales de reducción de la exposición, a fin de comprobar la eficacia de dichas medidas y la necesidad de nuevas medidas de control de la exposición.

A continuación se exponen las principales conclusiones derivadas de las medidas de exposición en el trabajo llevadas a cabo en el contexto del presente estudio. Estas mediciones se efectuaron utilizando dos medidores de nanopartículas de resolución temporal (*NanoTracer* y *Philips Aerasense*) que calculaban el volumen de nanopartículas existentes en el aire y el diámetro medio por partícula. La composición de las partículas presentes en el aire se analizó utilizando un microscopio electrónico de escaneo (SEM, según sus siglas en inglés) y un espectroscopio de análisis dispersivo de energía por rayos X (EDX, según sus siglas en inglés)¹⁶. En el mercado existen varias técnicas distintas de análisis para evaluar la exposición a

los nanomateriales en el trabajo. Ahora bien, para lograr una evaluación rigurosa es importante cumplir, como mínimo, las dos condiciones siguientes:

1. Cuantificar la exposición en cuanto al volumen de nanopartículas derivadas de la actividad laboral.
2. Determinar la composición química de esas nanopartículas.

Los siguientes casos prácticos están basados en observaciones a corto plazo. Estos sirven únicamente de inspiración para establecer las medidas preventivas a adoptar en el lugar de trabajo concreto.

La pulverización de pinturas, lacas o adhesivos

Cuando se pulveriza un nanoproducto, la inhalación de aerosoles es potencialmente el riesgo de exposición más importante y, por ese motivo, la pulverización y el trabajo con materiales polvorientos debe evitarse en la medida de lo posible. Los riesgos de exposición son menores cuando se utiliza un cepillo o un rodillo que cuando se emplea una pistola de pulverización. Las exposiciones laborales también son inferiores cuando el proceso de pulverizado se efectúa automáticamente en un medio cerrado mediante un brazo robótico que cuando la pulverización se realiza manualmente.

OBSERVACIONES DEL CASO 1 – LA PULVERIZACIÓN A ALTA PRESIÓN de una laca que contiene nanomaterial fabricado sobre paneles de madera se realizó en una cabina de rociado como se muestra en la Figura 1. No se adoptaron medidas especiales para evitar la exposición al nanomaterial fabricado, salvo la

¹⁶ Los análisis SEM y EDX se llevaron a cabo en la Universidad de Utrecht (Países Bajos), en el Departamento de Microscopía Electrónica, con la colaboración de J. A. Post y J. W. Geus.



FIGURA 1. Pulverización a alta presión en la cabina de rociado. El flujo de aire del sistema de ventilación está representado por la flecha: el color verde indica un reducido número de nanopartículas y el rojo indica un elevado número de nanopartículas.

protección habitual contra la laca altamente solvente. Se observó un amplio gradiente de exposición al nanomaterial fabricado, representado por la flecha de la Figura 1. La exposición del trabajador al nanomaterial fabricado era muy baja. Las concentraciones medidas eran mucho mayores cerca de la pared de vacío. Esta observación demuestra la eficacia de un sistema de ventilación bien diseñado para eliminar el nanomaterial fabricado de la zona de respiración del trabajador. Aun así, no se ha establecido ningún LEP basado en la salud para este nanomaterial a fin de evaluar la exposición de los trabajadores. Por lo tanto, al comparar esta actividad laboral con el sistema NVR como ejemplo de buena práctica, se concluye que no hubieran sido requeridas medidas adicionales de control de la exposición. No obstante, se recomienda utilizar las prendas de protección personal adecuadas. Todavía existen dudas sobre los efectos adversos a largo plazo de repentinas altas exposiciones o de bajas dosis que motivan la prevención de la exposición a nanomaterial fabricado siempre que sea posible.

Cuando existe un riesgo de exposición a aerosoles o polvo que contienen nanomateriales fabricados, es importante dotar al sistema de ventilación de un filtro HEPA, usar una máscara de respiración equipada con filtro FFP3, gafas, guantes de nitrilo (preferiblemente dos pares) y un traje Tyvek© (o similar no tejido) para proteger la piel.

OBSERVACIONES DEL CASO 2 – LA PULVERIZACIÓN A BAJA PRESIÓN DE UN REVESTIMIENTO DE NANOMATERIAL FABRICADO se realizó con un pulverizador manual. La actividad se muestra en la Figura 2. El pulverizador se usó para humedecer un paño de limpieza con el que se trató

la superficie de un cojín. La sala no tenía ventilación. El rociado se aplicó a la altura de la cadera. No se detectó exposición alguna a nanomaterial fabricado. Este caso demuestra que una pulverización cuidadosa a baja presión puede derivar en una baja e indetectable exposición y que, por consiguiente, no se requieren medidas adicionales de control de la exposición para evitar la inhalación de nanomaterial fabricado. Debe utilizarse protección para la piel.

La exposición a nanomateriales fabricados depende, entre otros factores, del comportamiento efectivo del trabajador durante la manipulación de nanomateriales fabricados y de la intensidad y duración de la actividad. Se recomienda evaluar siempre la eficacia de las medidas de control de la exposición, preferiblemente mediante un análisis cuantitativo y cualitativo.

El lijado y el pulido de pinturas y lacas

OBSERVACIONES DEL CASO 3 – EL LIJADO DE TABLEROS DE MADERA TRATADOS CON LACA ALTAMENTE RESISTENTE A LOS ARAÑAZOS.

Durante el proceso de lijado se producen nanopartículas como una fracción del polvo total de lijado generado. También se forman partículas debido al motor de la máquina de lijado. Los datos disponibles ponen de manifiesto que un lijado de baja energía produce pocas nanopartículas, mientras que un lijado de alta energía produce más nanopartículas. La experiencia también nos permite comprobar que se genera una emisión semejante de nanopartículas a partir de los revestimientos que contienen aditivos de nanomateriales y de los revestimientos que no contienen

FIGURA 2. Revestimiento de un cojín para el sillón de un dentista con un pulverizador de bomba y un paño suave de limpieza.





dichos aditivos. En la obra de Saber y otros autores (año 2011) también se pone de relieve que el polvo de lijado proveniente de pinturas que contienen nanomateriales puede ser igual de tóxico que el polvo de lijado de la misma pintura sin nanomateriales. A tenor de los conocimientos existentes en la actualidad, no es de esperar por lo tanto un riesgo *adicional* de exposición a las nanopartículas causado por la fracturación o abrasión de superficies tratadas con nanorevestimientos. No obstante, dependiendo de la matriz y del tiempo que las partículas ultrafinas inhaladas permanezcan en los pulmones, se mantiene la posibilidad de que la matriz se disuelva en el fluido pulmonar, exponiendo así los nanomateriales incorporados a dicha matriz.

Cuando se manipulan nanoproducidos sólidos (no polvorientos) la probabilidad de exposición a los ingredientes de nanomateriales depende de su interacción con la matriz en la que están contenidos. Cuando el nanomaterial fabricado es inerte, pero capaz de interactuar físicamente, da como resultado una matriz en la que el nanomaterial está integrado, aunque no está químicamente ligado a la matriz. De ese modo, el nanomaterial fabricado sigue estando «libre» y podría además liberarse, lo cual incrementa el riesgo de exposición al tocarlo. También podríamos suponer que el nanomaterial fabricado estuviera químicamente ligado a la superficie y fuera reactivo, por ejemplo, en el caso de una superficie bactericida. Además, en este caso la exposición al nanomaterial podría provocar efectos adversos. Sólo cuando el nanomaterial fabricado está integrado y fijo dentro de la matriz, la exposición es muy improbable.

El lijado de tableros de madera que se expone en el caso práctico 3 se realizó sobre una mesa de trabajo sin ventilación. La lijadora estaba equipada con ventilación local de escape. Durante el lijado y pulido en seco se observó una exposición a nanomaterial fabricado. La exposición se redujo rápidamente al finalizar dichas actividades. Durante las actividades de lijado en húmedo no se detectó exposición a nanomateriales fabricados. Esta medición indica que el lijado y el pulido en seco dan lugar a una exposición a nanomateriales fabricados posiblemente superior a la recomendada por el sistema holandés NRV, especialmente cuando el lijado requiere un día laboral completo. En este caso, trabajar en un entorno sin ventilación resulta inefectivo para controlar la exposición, por lo que deben aplicarse medidas adicionales de control de la exposición. La Figura 3 muestra ejemplos de una mesa o pared de trabajo ventilada al vacío y medidas de protección personal.

Una vez finalizado el trabajo, también es importante evitar el contacto de la piel con pulverizados, líquidos o polvo que contengan nanomaterial fabricado. Por ejemplo, cuando el polvo que contiene nanomaterial fabricado sigue estando presente en el panel lijado. No utilizar nunca aire a presión para limpiar este polvo. Limpiar el área de trabajo con una aspiradora industrial con filtro HEPA y paños húmedos de limpieza para evitar la propagación de nanopartículas. Evitar el uso de una escoba, cepillo o aspirador para uso doméstico. Los vertidos, envoltorios vacíos o restos deberán retirarse y etiquetarse como residuos químicos tóxicos.

El corte de productos textiles

OBSERVACIONES DEL CASO 4 – PARA CORTAR UN TEXTIL DE NAILON tratado con nanorevestimiento impermeable se utilizaron tijeras normales. No se detectó exposición a nanopartículas. Debe prestarse especial atención para evitar una posible exposición a nanofibras. Aunque no se detectó exposición alguna a fibras con nanomaterial fabricado, se recomienda trabajar frente a una pared de vacío o sobre una mesa ventilada al vacío cuando exista riesgo de exposición a fibras que contienen nanomateriales fabricados.

Las exposiciones varían considerablemente en función de determinados factores como el tipo específico de producto, las condiciones ambientales exactas y la situación laboral concreta del trabajador o los trabajadores implicados.

LOS CUATRO EJEMPLOS

de actividades en el sector del mueble aquí presentados no deben generalizarse a otras prácticas laborales similares. Cada caso requiere una evaluación de riesgo a fin de determinar la eficacia de las medidas de control de la exposición *in situ* e identificar qué medidas preventivas se deben adoptar para proteger la salud de los trabajadores. No obstante, estos cuatro casos prácticos de observación indican claramente que las actuales medidas de control de la exposición prescritas para el sector del mueble podrían resultar eficaces para proteger a los trabajadores contra la exposición a los nanomateriales fabricados presentes en los productos que manipulan.



FIGURA 3. Dos ejemplos de medidas de control que previenen la exposición a nanomaterial fabricados durante el lijado o pulido de materiales que contienen nanomaterial fabricados. Izquierda: una mesa de trabajo con ventilación de vacío; derecha: máxima protección con guantes de nitrilo, traje Tyvek y máscara de respiración con filtro FFP3.

COMUNICACIÓN TRANSPARENTE DEL RIESGO Y TRAZABILIDAD

Es un grave problema con el llamado «intercambio de información sobre nanomateriales» a través de la cadena de valor del producto en el que se utilizan, tanto en el sector del mueble como en muchos otros sectores. En 2012, existe poca transparencia acerca de la presencia de nanomateriales fabricados en materiales y productos disponibles para utilizar en muebles. Esto se debe, principalmente, a que la legislación Europea (todavía) no exige ninguna comunicación específica sobre la presencia de nanomateriales fabricados en materiales o productos, más allá de los requisitos establecidos para toda sustancia por el Reglamento REACH y la Directiva CLP. La posibilidad y el modo en que debe organizarse este asunto a corto plazo son actualmente objeto de debate en el ámbito europeo.

La comunicación voluntaria acerca de los nanomateriales incorporados a materiales o productos no es muy eficaz en la práctica. En este informe se resumen las razones más importantes de la falta de comunicación aducidas por las distintas partes implicadas del sector del mueble. La cadena de comunicación comienza normalmente en el fabricante de nanomateriales, quien informa al fabricante de materiales, quien, a su vez, informa al proveedor, quien, a su vez, informa al fabricante de muebles. Éste último informa a sus trabajadores sobre el nanomaterial fabricado empleado y a los usuarios finales sobre los muebles producidos. La cadena de suministro de los fabricantes de materiales puede ser larga. La cadena de textiles, por ejemplo, puede estar formada por un fabricante de fibras que abastece a un productor de hilo, quien, a su vez, vende el hilo a un

tejedor. Asimismo, la producción de muebles también puede implicar a distintos subcontratistas que participan en el ensamblaje de un mueble. Según descendemos escalones en la cadena, suele perderse una cantidad mayor de valiosa información sobre los nanomateriales fabricados.

En la comunicación entre el proveedor y el fabricante de muebles, existen cuatro factores que condicionan la falta de trazabilidad de nanomateriales fabricados en los materiales. La competencia y los derechos de propiedad intelectual son uno de ellos, y provocan que se mantengan en secreto. El marketing viene después. En el caso de ciertos materiales, la «nanotecnología» se vende. Aparentemente, éstos contienen nanomateriales fabricados, aunque en ocasiones no sea así. En el caso de otros materiales, este argumento resulta menos convincente. Es por ello que, a menudo, éstos no son «etiquetados» como nanos. Tan solo un número determinado de materiales o productos se etiquetan correctamente y contienen información específica sobre los nanomateriales fabricados. Un tercer motivo importante que limita la trazabilidad de nanomateriales fabricados en los materiales es el debate social sobre los aspectos inciertos de los nanomateriales fabricados en materia de salud y seguridad. En lugar de informar sobre dicha incertidumbre, ésta se ha convertido en un motivo de confidencialidad a fin de «no suscitar dudas innecesarias». El cuarto factor limitador de la comunicación es la ignorancia. A menudo, los proveedores de materiales no están bien informados y, como consecuencia, sólo pueden aportar poca o nada de información al fabricante de muebles.

El fabricante de muebles es responsable de la salud y seguridad de sus trabajadores. Además, éste debe

garantizar que los productos puedan usarse de forma segura. La comunicación sobre nanomateriales fabricados implica:

1. estar informado (p. ej. por medio del proveedor o subcontratista);
2. organizar un lugar de trabajo seguro y preventivo e informar/instruir a los trabajadores implicados;
3. informar a los usuarios finales de forma adecuada.

Los fabricantes de muebles señalan que la incertidumbre relativa a la salud y la seguridad les impide a menudo usar nanomateriales fabricados en sus productos. Asimismo, la pregunta de *cómo actuar ante la información recibida sobre nanomateriales fabricados* influye en su deseo de conocer y estar informados sobre los nanomateriales fabricados que pueden estar ya utilizando. Algunos fabricantes de muebles prefieren no saber, ante la duda de qué hacer. Otros ya han tomado medidas, simplemente solicitando a sus proveedores y contratistas que les mantengan informados sobre la posible presencia de nanomateriales fabricados en sus productos.

Esta situación merece especial atención. Se recomienda a los fabricantes de muebles que pregunten a sus proveedores si sus materiales contienen o no nanomateriales fabricados y se informen sobre cómo aplicarlos de manera responsable. Asimismo, los fabricantes de muebles deben asegurarse de que, cuando trabajen con nanomateriales fabricados, sean capaces de organizar un lugar de trabajo seguro y preventivo. Existen diversas medidas para controlar la exposición, como los sistemas de ventilación específicos y los equipos de protección personal, que han demostrado ser eficaces en prevenir la exposición a nanomateriales fabricados. También hay disponibles algunas herramientas

que ayudan a los empresarios y trabajadores a llevar a cabo un análisis del riesgo, una evaluación del riesgo, incluido un plan de acción para trabajar de forma segura con los nanomateriales fabricados. Los empresarios y los trabajadores deben, además, estar informados de que la toxicidad asociada a nanomateriales fabricados depende del riesgo de exposición. Por ejemplo, los nanomateriales fabricados integrados y fijados en una matriz pueden usarse de forma segura. No obstante, cuando los nanomateriales fabricados son fijos, la exposición mediante el contacto directo con la superficie del material también puede provocar efectos nocivos cuando el nanomaterial posee propiedades reactivas en la superficie, como por ejemplo ocurre en algunos revestimientos biocidas. En el sector del mueble debe fomentarse el estudio de las condiciones que les permitan aprovechar el potencial de los nanomateriales fabricados para la innovación responsable del mueble.

INICIATIVAS DE REGLAMENTACIÓN EN MATERIA DE NANOMATERIALES Y DE NANOPRODUCTOS

Al igual que ocurre con cualquier otra sustancia química, el registro, la evaluación, la autorización y la restricción de nanomateriales están, en principio, regulados por el Reglamento europeo denominado REACH según sus siglas en inglés¹⁷. En el informe de la Comisión Europea titulado *Nanomaterials in REACH*

(2008) se ofrece un panorama general de cómo la normativa REACH influye en la reglamentación de los nanomateriales¹⁸. La otra importante legislación vigente en materia de sustancias habituales y mezclas es el Reglamento sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias químicas (CLP, según sus siglas en inglés)¹⁹. Los nanomateriales que satisfacen los criterios de calificación de peligrosos a tenor del Reglamento CLP deben ser clasificados y etiquetados. En el informe de la Comisión Europea denominado *Regulation, Classification, Labelling and Packaging of nanomaterials under REACH and CLP* (2009) se ofrece un resumen de los efectos de las reglamentaciones REACH y CLP en los nanomateriales²⁰. En la actualidad se reconoce la necesidad de elaborar una especificación adicional de estas reglamentaciones en el ámbito de los nanomateriales, así como nuevas directrices en este sentido.

Una primera iniciativa concreta a dicho respecto ha sido llevada a cabo por Francia al hacer obligatoria la información sobre el uso de nanomateriales en productos, en virtud de su ley medioambiental denominada *Loi Grenelle*²¹, que se pretende que entre en vigor el 1 de enero de 2013, de modo que obligará a informar acerca de todas las sustancias producidas, importadas o distribuidas desde el año 2012. Esta normativa será aplicable a los productos químicos, los biocidas y las sustancias con categoría de nanopartículas (artículo 1), siempre que se produzcan, importen o distribuyan en Francia en un volumen

igual o superior a 100 gramos al año. En otros países, como Italia, Alemania o Bélgica, también se está estudiando la creación de algún sistema de notificación de nanomateriales que permita tener un mejor conocimiento de sus mercados nacionales.

¹⁷ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_en.htm

¹⁸ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanomaterials_en.pdf

¹⁹ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/classification/index_en.htm

²⁰ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanos_in_reach_and_clp_en.pdf

²¹ <http://www.nanonorma.org/>

OBSERVACIONES FINALES

ESTE MINUCIOSO ESTUDIO sobre el sector europeo del mueble, en el que se incluyen entrevistas a responsables de empresas de mobiliario y de suministro de materiales, pone de relieve que el mercado de nanomateriales utilizados en productos del mueble en el año 2012 está aún en una fase inicial de desarrollo. La nanotecnología puede tener enormes repercusiones en el futuro de la fabricación de muebles, tanto en cuanto a la calidad y las funcionalidades del mobiliario como a sus implicaciones en el medio ambiente y la salud pública y de los trabajadores derivadas de la fabricación y los productos finales que contengan nanomateriales. Algunos ejemplos de esto serían los revestimientos bactericidas, impermeables, altamente resistentes a los arañazos y protectores contra los rayos ultravioleta. A pesar de su gran potencial para la innovación en el mueble, sigue habiendo importantes barreras en materia de costes o de prestaciones de calidad (a largo plazo), así como dudas sobre su repercusión en la seguridad y la salud y la aceptación por parte de los consumidores. No obstante, también se han observado algunas aplicaciones en el mercado de nanomateriales muy eficaces, como por ejemplo, los revestimientos a base de vidrio líquido que permiten obtener alta resistencia contra los arañazos, impermeabilidad y efectos antimicrobianos o de limpieza fácil, así como los revestimientos protectores contra los rayos ultravioleta, los textiles bactericidas y fáciles de limpiar y los hormigones de máximas prestaciones.

Por otro lado, en el estudio sobre el sector europeo del mueble también se subraya la enorme ignorancia existente en esta materia. Por lo habitual, los fabricantes de mobiliario no están bien informados sobre los nanomateriales que podrían utilizar y la información que a veces reciben frecuentemente es difícil de interpretar. Esta situación exige que se le preste una atención especial. Por ello, es recomendable que los fabricantes de muebles pregunten a sus proveedores si sus artículos contienen o no nanomateriales y que se informen sobre cómo aplicarlos de manera responsable.

Los nanomateriales pueden ser más tóxicos que sus equivalentes micrométricos y provocar efectos nocivos no esperados en la salud debido a su carácter nanoespecífico, entre los que se incluyen enfermedades cardiovasculares, inflamación pulmonar, dolencias en el sistema central nervioso, muerte de células, formación de marcas en los tejidos (por ejemplo, en los pulmones), malformaciones en los embriones y desarrollo de células cancerígenas en los tejidos afectados. Al mismo tiempo, los fabricantes de muebles deben organizar un lugar de trabajo preventivo y seguro para los trabajadores que manipulan nanomateriales. Existen algunas herramientas que ayudan a los empleadores y los trabajadores a llevar a cabo la evaluación del riesgo, entre las que se incluye un plan de acción para el trabajo seguro con nanomateriales. Por lo común, podría esperarse que los riesgos de exposición

surgieran cuando se producen aerosoles o polvo que contengan nanomateriales. La pulverización de pinturas y adhesivos, el lijado de superficies con revestimiento y el pulido o el serrado de materiales sólidos también constituyen ejemplos de actividades laborales en las que podrían darse tales efectos. Algunos mecanismos prácticos de control de la exposición, como los sistemas específicos de ventilación y los equipamientos de protección personal, han demostrado ser eficaces para prevenir la exposición a los nanomateriales. La automatización de procesos productivos por medio de brazos robóticos en un medio cerrado es otro método válido para evitar la exposición de los trabajadores. Además, las conclusiones preliminares nos indican que los nanomateriales integrados en polvo pueden dejar de poseer su toxicidad nanoespecífica, y se espera que el riesgo de exposición a los nanomateriales sea bajo cuando los materiales que manipulan los trabajadores están integrados en una matriz y fijados a ella.

Por último, a la hora de estudiar la capacidad potencial de los nanomateriales, los fabricantes de muebles deben adoptar medidas preventivas de precaución destinadas a proteger la salud de los trabajadores, basándose para ello en la información dada por el suministrador de nanomateriales, en métodos de evaluación del riesgo y en los principios generales de prevención asociados a las sustancias químicas.