

TRATANDO CON UN NUEVO RIESGO EMERGENTE: LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A NANOMATERIALES

JESÚS M. LÓPEZ DE IPIÑA
 TECNALIA RESEARCH AND INNOVATION
 UNIDAD DE SISTEMAS INDUSTRIALES
 PARQUE TECNOLÓGICO DE ÁLAVA

NANOTECNOLOGÍA Y NANOMATERIALES

LA NANOTECNOLOGÍA CONSTITUYE UN CONJUNTO DE MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA CONTROLAR Y MANIPULAR LA MATERIA A NANOESCALA (1 – 100 NM). SU APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS COMO PARA LA MEJORA DE PRODUCTOS EXISTENTES SIGUE CRECIENDO DE FORMA EXPONENCIAL Y LOS NANOMATERIALES (NMs) SON UTILIZADOS EN UN AMPLIO NÚMERO DE PRODUCTOS DE CONSUMO DESDE COSMÉTICOS Y PINTURAS HASTA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y PRODUCTOS ELECTRÓNICOS. SE ESPERA QUE PARA EL 2015 SE INCORPORARÁ LA NANOTECNOLOGÍA EN EL 15 % DE LA FABRICACIÓN GLOBAL, REPRESENTANDO UNA CIFRA DE NEGOCIOS EN TORNO A LOS 2,6 TRILLONES DE DÓLARES.

En cuanto al origen de los nanomateriales (NMs) se pueden distinguir los NMs “naturales”, como los aerosoles de los incendios forestales y los aerosoles volcánico; los NMs producidos como subproductos de la actividad humana tales como las emisiones de motores de combustión y humos de soldadura y los NMs denominados de ingeniería (MNMs = *Manufactured Nanomaterials*) que se diseñan y fabrican intencionalmente con una morfología, geometría y propiedades específicas. El auge de su uso industrial presenta nuevos riesgos e incertidumbres para un número creciente de trabajadores y consumidores expuestos.

TOXICOLOGÍA

Hay muchas incertidumbres sobre los potenciales efectos sobre la salud a causa de las lagunas de conocimiento existentes sobre las rutas de exposición a los MNMs, la interacción entre estos y los sistemas biológicos o la migración de los MNMs en el interior del cuerpo humano. Los riesgos toxicológicos de los MNMs están ligados a tres vías potenciales de exposición en el lugar de trabajo: inhalación, contacto dérmico e ingestión, aunque esta última vía resulta poco significativa.

La inhalación es la ruta más común de exposición a partículas en el lugar de trabajo. Estudios experimentales con animales han mostrado que los MNMs pueden entrar en el torrente sanguíneo desde los pulmones y migrar a otros órganos, que pueden atravesar las membranas celulares e incluso llegar al núcleo de la propia célula. Son biológicamente más activos debido a su mayor área superficial específica y que los MNMs insolubles tienen mayor poder de causar inflamación pulmonar, daño tisular y tumores de pulmón que las partículas grandes de similar composición química. Otros estudios sugieren que los MNMs también pueden entrar en el cuerpo a través de la piel durante las exposiciones ocupacionales.

Los estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos a aerosoles que incluyen partículas finas y ultrafinas han mostrado decrementos en la función pulmonar, síntomas respiratorios adversos, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y fibrosis.

Las hipótesis toxicológicas actuales consideran que la exposición a MNMs es probable que cause efectos adversos para la

“NANOMATERIALES: OBJETOS CON DIMENSIONES EXTERNAS NANOMÉTRICAS O QUE CONTIENEN PATRONES SUPERFICIALES O ZONAS EN ESE RANGO.”



Los nanomateriales también están presentes en algunos productos de cosmética

salud similares a las partículas ultrafinas que tienen características físicas y químicas similares; que el área superficial, la actividad y el número de partículas pueden ser mejores estimadores del riesgo potencial de los MNMs que la masa y que en cualquier caso, se requiere mayor investigación sobre las propiedades toxicológicas específicas de los MNMs.

En relación a los aspectos de seguridad de los MNMs, también existe información insuficiente para predecir los riesgos de incendio y explosión asociados con los mismos. El material combustible a nanoescala puede presentar un mayor riesgo que una cantidad similar de material grueso y también al decrecer el tamaño de partícula, puede incrementarse la velocidad de combustión en los materiales combustibles, provocando que materiales relativamente inertes se conviertan en altamente reactivos en el rango de tamaño nanométrico.

ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN LABORAL

Hay una creciente preocupación sobre su uso seguro y su posible impacto sobre la salud humana y el medio ambiente. Hasta el momento la información es insuficiente para predecir todas las situaciones y escenarios de trabajo que pueden conducir a exposiciones a MNMs. Los escenarios más factibles son los relacionados con la fabricación de MNMs, la incorporación de MNMs en otros productos y las actividades de I+D en laboratorios. En este sentido, algunas tareas de los procesos industriales pueden incrementar el riesgo de exposición a MNMs como por ejemplo la producción de MNMs en fase gas o en sistemas no cerrados; la manipulación activa de MNMs (p.e. pesado, mezclado, pulverizado) en sistemas no cerrados; el mecanizado, desbastado, perforado o cualquier otra operación mecánica sobre fabricados que contienen MNMs; la manipulación de MNMs en solución durante operaciones de vertido o mezcla con alto grado de agitación; el mantenimiento de equipos y procesos utilizados en la producción o fabricación de MNMs o la limpieza de derrames de residuos que contienen MNMs y de sistemas de control ambiental utilizados para la captura de MNMs.

EVALUACIÓN DEL RIESGO

Recientes revisiones bibliográficas han concluido que existen muy pocos datos sobre la exposición ocupacional a MNMs y que los datos existentes presentan una alta variabilidad debida a que no existen métodos normalizados para la medida de la exposición ocupacional a MNMs. Los diferentes métodos y procedimientos de medida utilizados en cada caso no facilita su intercomparación.

Los equipos de medición son complejos y voluminosos que no permite realizar muestreos personales sino estáticos. Por otro lado la necesidad de diferenciar las partículas procedentes del fondo ubicuo ("background") de las partículas producidas por el proceso/tarea que se desea evaluar, lo que conlleva una alta incertidumbre en las medidas. Y por último, las características de aerosol polidisperso que presentan las exposiciones a MNMs donde el tamaño medido por los equipos no revela el estado de aglomeración y por tanto los resultados de tales mediciones no pueden relacionarse directamente con el riesgo, si el número de partículas se considera como una medida relevante del mismo.

En cuanto a la exposición cutánea, la mayoría de los estudios se han centrado en el TiO_2 debido a su amplio uso en protectores solares cutánea. Fuera de este dominio hay una ausencia prácticamente absoluta de datos relacionados con la caracterización de la expo-

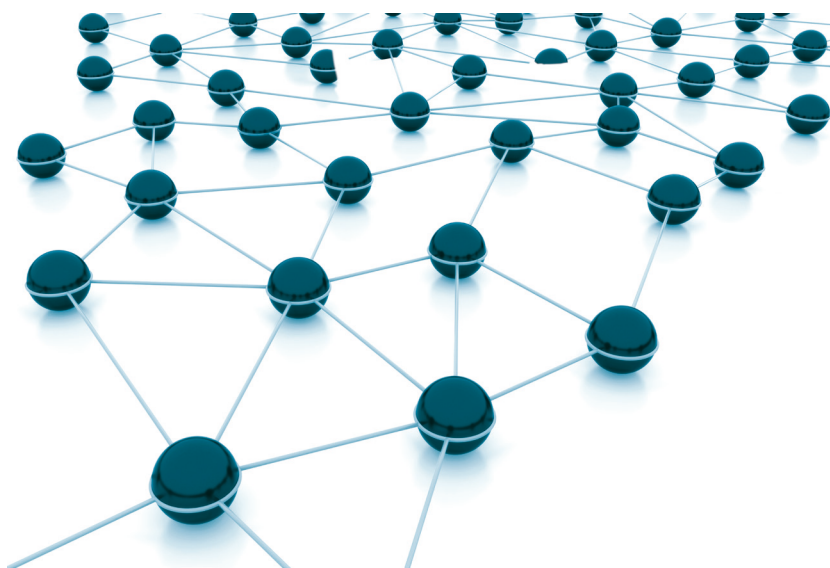
sición cutánea de los trabajadores a los MNMs.

Dada la falta de datos toxicológicos sistemáticos y validados, no se han producido muchos intentos para diseñar límites de exposición profesional (OEL) para los MNMs. NIOSH ha sugerido límites de exposición de 7 mg/m^3 para los nanotubos y nanofibras de carbono y de $0,1 \text{ mg/m}^3$ para el TiO_2 . Otras estrategias que pueden seguirse para el establecimiento de OEL son: la utilización de las *MSDS - Material Safety Data Sheet* que suministra el proveedor de MNMs (p.e. *Bayer Schering Pharmaceuticals* sugiere un OEL de $0,05 \text{ mg/m}^3$ para los nanotubos de carbono de pared múltiple); el uso como valores de referencia de los "Benchmark Levels", propuestos por la *British Standards Institution* a partir de la información disponible y del juicio de expertos o la utilización de un enfoque alternativo a la evaluación de riesgos cuantitativa, el "Control Banding approach", con objeto de definir medidas realistas de control del riesgo en escenarios de incertidumbre.

PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y CONTROL DEL RIESGO

Teniendo en cuenta el contexto de incertidumbre y la limitada cantidad de información sobre los riesgos para la salud que pueden asociarse con los MNMs resulta prudente tomar medidas para minimizar al máximo la exposición de los trabajadores. Un diseño seguro, en base a la mejor evaluación de riesgos posible, debería ser el pun-





que existe aún una alta incertidumbre derivada fundamentalmente de problemas de ajuste de las máscaras a la cara, por donde los MNMs podrían alcanzar el sistema respiratorio de los trabajadores.

También existen muy pocos datos sobre la eficacia de los guantes y la ropa de protección frente a los MNMs. Los resultados preliminares publicados indican que los tejidos de polietileno de alta densidad (tipo Tyvek) proporcionan un mejor comportamiento que los de algodón y papel a la penetración de MNMs en ropa de protección y guantes (proyecto *Nanosafe2*). Sin embargo, aún existen muchas lagunas en cuanto a los tipos de ensayos a realizar, incluidos los relacionados con las juntas y el sellado de los tejidos, y la cuestión de la protección cutánea está todavía en gran parte inexplorada.

to de partida para cualquier actividad constructiva o modificación de proceso orientada a la fabricación y manipulación de MNMs. Si todos los requisitos de seguridad frente a los MNMs no son abordables desde el diseño, se deberán implantar los controles de ingeniería, gestión y EPIs necesarios para reducir los riesgos.

La mejor forma de prevenir exposiciones a MNMs es siempre el confinamiento de las fuentes de emisión. No obstante, por inviabilidad tecnológica o económica, pueden producirse emisiones esporádicas o accidentales de MNMs en ciertas operaciones de proceso (apertura de big-bags, transferencias, mezclas, limpieza, recuperación de derrames, etc). La captura de estas emisiones mediante extracción localizada, tan cerca como sea posible de la fuente de emisión, es la opción más eficaz para minimizar la exposición. La ventilación general no se considera como un sistema efectivo para eliminar los MNMs, aunque en ciertas situaciones puede combinarse con los sistemas de extracción localizada. En la actualidad existen pocos estudios sobre la eficacia de estos sistemas de protección colectiva, pero los resultados hasta la fecha señalan que si los sistemas de ventilación están bien diseñados, instalados y mantenidos, parecen ser eficaces para eliminar los MNMs.

Con respecto a los EPIs, recientemente se han publicado varios trabajos que muestran que el material filtrante, los sistemas de respiración certificados por NIOSH (N95 y P100) y los filtros de alta eficacia FFP3 (según EN 143 o EN 149) parecen ser eficaces para la protección frente a los MNMs. Sin embargo, estos y otros estudios señalan

Respecto a la vigilancia de la salud de los trabajadores, aunque se han realizado algunos esfuerzos en este campo, no existen actualmente protocolos específicos validados para los MNMs. Tampoco están disponibles datos epidemiológicos sobre trabajadores expuestos, bien porque no se han identificado los propios trabajadores, porque no está disponible un método validado para la evaluación de la exposición, o porque no existen grupos importantes de trabajadores expuestos durante un largo período de tiempo.

LEGISLACIÓN Y NORMATIVA

La Estrategia Europea de SST 2007-2012 señala a la nanotecnología como una temática importante en el contexto de los nuevos riesgos, pero actualmente no existe en Europa una reglamentación ocupacional específica sobre MNMs. Su tratamiento se basa por tanto en la legislación existente aplicable a los productos químicos, p.e. el REACH (*Registration, evaluation and authorization of Chemicals*) y específicamente en España, en la Ley 31/95 de Prevención de Riesgos Laborales y su reglamentación específica de desarrollo, como por ejemplo la referente a riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo, exposición a cancerígenos o mutágenos, utilización de equipos de trabajo, uso de los EPIs y atmósferas explosivas (ATEX) entre otras.