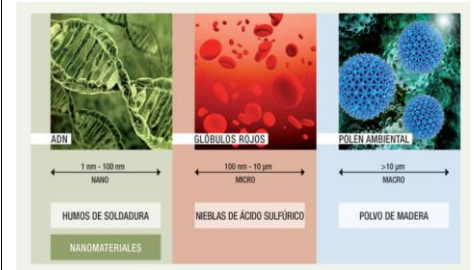




QUÉ SON LOS NANOMATERIALES

Se entiende por nanomaterial (NM) un material natural, accidental o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un agregado o aglomerado, y en la que el 50% o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más de las dimensiones externas en el intervalo de dimensiones comprendidas entre 1 nanómetro y 100 nanómetros. En casos específicos y cuando se justifique por preocupaciones del medio ambiente, salud, seguridad o competitividad, el límite de la granulometría numérica del 50% puede ser substituido por un límite comprendido entre el 1% y el 50%.

En función de sus características de peligrosidad les son de aplicación la siguiente normativa específica: el Real Decreto 374/2001 (de agentes químicos); el Real Decreto 665/1997 (de agentes cancerígenos) y su modificación por el Real Decreto 349/2003 (que amplía su ámbito de aplicación a los agentes mutágenos); el Real Decreto 681/2003 (atmósferas explosivas si el material presenta estas propiedades).



EN QUÉ LUGARES DE TRABAJO SE PUEDE PRODUCIR RIESGO POR EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES

En cualquier lugar de trabajo en el que se lleven a cabo tareas que impliquen la manipulación de NM, aunque no se estén desarrollando personalmente: la exposición a NM se puede presentar en cada una de las etapas del ciclo de vida del NM, como son la fabricación del NM, la incorporación del NM al material intermedio o final, en la utilización profesional de estos productos, en la eliminación de residuos contaminados con NM (Equipos de Protección Individual, filtros de sistemas de extracción, material de limpieza, etc.), y en las operaciones de mantenimiento de los equipos utilizados que contengan NM, de los equipos para producir y procesar NM; de limpieza de sistemas de recogida de polvos de NM; de limpieza de vertidos de NM; de transporte y eliminación del material que contiene el NM; en el mecanizado de materiales; en operaciones en las que se utilicen líquidos que contienen NM (lubricantes, pinturas, recubrimientos, adhesivos); etc.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD

Algunos NM son solubles en fluidos biológicos, y sus efectos tóxicos están relacionados con las entidades químicas (su naturaleza toxicológica) de las que proceden, de manera independiente de la dimensión inicial de la partícula original de la que proceden. Estos efectos tóxicos son bien conocidos, dependen de la composición química, y no están relacionados con la dimensión nanométrica de los NM.

La situación cambia por completo cuando los NM no son solubles (incluso si son muy poco solubles) en fluidos biológicos; la información y datos actualmente disponibles sobre la toxicidad de los mismos, que se comportan de esta manera, es extremadamente limitada y normalmente no permite extraer conclusiones extrapolables a la salud humana (de la entidad química que más información es dispone es el TiO₂). No obstante de lo limitado y fragmentado de la información, se concluye que los NM han de ser manipulados con precaución, atendiendo a que una masa "X" de una entidad química en forma NM presenta mayor nivel de toxicidad que si no se encuentra en dimensión de nano-escala.

ABSORCIÓN DE NANOMATERIALES SINTETIZADOS ARTIFICIALMENTE

La **vía respiratoria** es la principal en incorporar al organismo un contaminante químico que se encuentre en la atmósfera de trabajo. En la mayor parte de las situaciones de exposición laboral a un contaminante químico aerotransportado, la absorción del mismo al organismo a través de la vía respiratoria tiene como mínimo un orden de magnitud superior al de absorción cutánea (siendo ésta la segunda vía de absorción más importante). La principal particularidad de los NM es la manera en que se depositan en el aparato respiratorio; de hecho, dependiendo de su dimensión, se depositarán en unas zonas o en otras de este aparato.



ABSORCIÓN DE NANOMATERIALES SINTETIZADOS ARTIFICIALMENTE

Atendiendo a su dimensión extremadamente pequeña, algunos NM pueden atravesar diferentes capas de tejido epitelial pulmonar, pasando de esta manera al torrente sanguíneo y al sistema linfático, incluso a través de las terminaciones del nervio olfativo, recorriendo los axones neuronales, hasta el cerebro. Los NM que llegan al torrente sanguíneo recorren de esta manera el cuerpo, y existe una clara evidencia de que pueden quedar retenidos en diferentes órganos (dependiendo de la naturaleza del NM). Diferentes tipos de efectos tóxicos han sido documentados (por diferentes órganos y dependiendo de la naturaleza de los NM).

La **absorción cutánea** puede ser la principal vía de exposición para aquellos trabajadores que se encuentren manipulando NM preparados o utilizados en soluciones (fase líquida), atendiendo a que estos NM pueden pasar al torrente sanguíneo después de atravesar todas las capas de la piel. Adicionalmente, la absorción cutánea puede ser facilitada cuando la piel está dañada o cuando las condiciones de exposición al medio ambiente (por ejemplo, la humedad) sean proclives a aumentar la capacidad de penetración de las mismas. En el caso de NM débilmente absorbidos por la piel, se pueden observar alergias o dermatitis de contacto.

Teniendo en cuenta que unos deficientes hábitos higiénicos pueden redundar a la **ingestión** de NM, estos también pueden pasar al aparato digestivo después de haber sido incorporados previamente vía respiratoria al aparato respiratorio, debido a su vez a la intervención del sistema mucociliar. También son añadidas deliberadamente como aditivos a la industria alimentaria, medicamentos y productos relacionados con ellos (p.ej., cosmética), por lo que su incorporación al organismo está prácticamente consolidada. De esta manera, la translocación de algunos NM desde el intestino hacia el torrente sanguíneo o al sistema linfático, constituye un hecho probado.

Es a través de estos mecanismos por los que los NM pueden acabar en el torrente sanguíneo después de atravesar las diferentes barreras protectoras presentes en el sistema respiratorio, cutáneo, o gastrointestinal, y de esta manera ser distribuidos a los diferentes órganos (incluyendo el cerebro). Es más, los NM muestran una propensión a traspasar barreras celulares: una vez han penetrado en las células, interactúan con las estructuras subcelulares, siendo el principal mecanismo de acción de los NM en la inducción de efectos oxidantes. No obstante estas mismas propiedades de translocación son las que están siendo estudiadas en farmacología con la finalidad intencional de utilizar NM a modo de vectores a la hora de dirigir de manera selectiva determinadas medicaciones hasta órganos-diana concretos del organismo.

Ya se ha documentado diferentes efectos tóxicos a nivel de sistemas: pulmonar, cardíaco, reproductivo, renal, cutáneo y celular: bio-acumulaciones significativas de NM se han detectado en pulmones, cerebro, hígado, médula y huesos.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN ESPECÍFICAS

Siguiendo la siguiente jerarquía de control, lo más conveniente es aplicar una combinación adecuada de diferentes medidas de control sugeridas a continuación para garantizar una manipulación segura de los NM:

1- Eliminar/substituir: Los potenciales riesgos de los NM se pueden eliminar bien evitando su uso, o bien reemplazando el NM por otro menos peligroso, teniendo en cuenta sus condiciones de uso.

2- Modificación del proceso para minimizar la exposición:

- Substituir el producto en forma de polvo por otra forma de presentación en el que el mismo esté en un medio líquido o dentro a una matriz.
- Reducir la cantidad de producto manipulado en determinadas actividades o
- Cambiar los procedimientos de trabajo para minimizar la exposición.

3- Aislamiento /confinamiento: Si no es técnicamente posible la substitución del NM, se garantizará que la utilización del mismo se lleve a cabo en un sistema cerrado, especialmente las operaciones que impliquen una potencial liberación de NM en el puesto de trabajo.

4- Medidas técnicas de control: Todos los procesos en los que haya posibilidades de emisión de NM en polvo o aerosoles, se han de llevar a cabo en áreas con sistema de extracción localizada, para reducir la emisión del NM evacuándolo en origen. Considerar los siguientes aspectos en los sistemas de control:



MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN ESPECÍFICAS

- Utilizar campanas que recojan al máximo el foco, y situadas lo más cerca posible del mismo.
- Utilizar sistemas de recolección por filtración con filtros de alta eficacia HEPA de clase H14 o ULPA.
- Los conductos del sistema de extracción han de ser resistentes a los NM manipulados, ya que estos pueden ser más reactivos que sus pares a escala no nano, prestando especial atención a las juntas para evitar posibles fugas.

Entre otras medidas, para evitar la dispersión de los NM fuera de las áreas de uso se pueden utilizar alfombrillas adherentes.

Todas las medidas técnicas de control han de estar sometidas a un plan de mantenimiento, limpieza y conservación para garantizar el correcto funcionamiento.

5- Medidas organizativas: Desarrollar procedimientos de trabajo para la manipulación segura de NM e implementar programas de rotación de tareas para minimizar la exposición individual.

- Limitar la exposición reduciendo al mínimo el número de trabajadores expuestos.
- Informar de cualquier defecto o deficiencia de las medidas de control.
- Mantener el espacio en correctas condiciones de orden y limpieza. Limpiar regularmente suelos, equipos, herramientas y superficies de trabajo utilizando paños húmedos o aspiradora equipada con filtro "absoluto" de aire de muy alta eficacia H (HEPA) de clase H14 o superior (ULPA). No se ha de utilizar aire a presión, escobas o cepillos ni chorros de agua potentes. Utilizar los EPI adecuados y seguir los procedimientos establecidos.
- Establecer medidas y protocolos en caso de derrames accidentales.
- Establecer pautas específicas para el almacenamiento de NM, tanto si están en disolución como en forma de polvos. Almacenar los productos en contenedores, preferiblemente rígidos, impermeables, cerrados y etiquetados (indicando la presencia de NM y los peligros potencialmente asociados). El almacenamiento se ha de realizar en espacios frescos, bien ventilados y lejos de fuentes de calor, ignición o productos inflamables.
- Seguir unas medias de higiene adecuadas. Separar las zonas de trabajo y organizar el flujo de personas y servicios, guardar la ropa de calle separadamente de la ropa de trabajo, el trabajador no se la llevará al domicilio. Prohibir comer y beber excepto en las zonas reservadas para ello, siguiendo unas estrictas medidas de higiene personal.

6- Otras medidas de seguridad: Para reducir el riesgo de incendio y explosión, se deberán adoptar medidas técnicas de protección adecuadas como: disponer de instalaciones eléctricas antiexplosivas y equipos eléctricos protegidos del polvo y, en caso necesario, estancos a vapores; utilizar equipos intrínsecamente seguros; evitar situaciones en las que se pueda generar electricidad estática; evitar las fuentes de ignición; utilizar ropa, y en especial calzado, antiestática; manipular y almacenar los NM en atmósferas controladas, así como otras medidas encaminadas a atenuar los efectos de una potencial explosión.

7- Gestión de residuos: La gestión de residuos generados en actividades que impliquen el uso de NM ha de ser adecuada. Se han de gestionar como peligrosos los restos de NM puros, las suspensiones líquidas o las matrices con NM, los objetos o envases contaminados, los filtros de ventilación, las bolsas de aspiradora, los equipos de un solo uso de protección respiratoria y de la piel, etc., a no ser que se conozca que no presentan peligros potenciales. Los residuos químicos es someten a gestión por parte del responsable del departamento y la UPRL. Si desconoce o duda sobre lo que ha de hacer para someter los residuos a gestión contacte con la UPRL.

8- Equipos de protección individual (EPI): El EPI es el último recurso como método de control y solamente se han de utilizar cuando las medidas de control técnico y organizativo adoptadas no aseguren un nivel adecuado de protección. Los EPI han de ser apropiados, correctamente ajustados y usados, y mantenidos adecuadamente. Actualmente no existen normas armonizadas elaboradas específicamente para verificar los niveles de protección de los guantes, la ropa de protección o los equipos de protección respiratoria y ocular ante los NM.



MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PREVENCIÓN ESPECÍFICAS

Sí se pueden hacer recomendaciones razonadas sobre la base de las características de protección conocidas de determinados EPI y su aplicabilidad a la exposición ante NM:

- Equipos de protección respiratoria: se recomienda de forma general, el uso de equipos filtrantes de partículas clase 3, bien filtros P3 acoplados a máscara completa o a mascarilla o bien mascarilla autofiltrante FFP3. Para reducir al máximo posible la fuga hacia el interior, es aconsejable el uso de máscaras completas que ofrecen una mayor hermeticidad, además de proporcionar cierta protección ocular. Por otro lado, dependiendo del tipo de trabajo, se puede optar por equipos filtrantes de partículas que garanticen presión positiva en el interior de la pieza facial.
- Protección ocular: Cuando se manipulen sólidos y no se lleven a cabo operaciones que generen polvo, se recomienda el uso de gafas de montura universal para evitar el riesgo de contacto accidental mano-ojo. Si se manipulan líquidos que contengan NM (soluciones, partículas en suspensión en un líquido), se recomienda el uso de pantallas faciales para la protección frente salpicaduras, para evitar principalmente exposiciones frontales a estos líquidos. Cuando haya exposición a NM en forma de aerosoles, es aconsejable el uso de una máscara completa, ya que ofrece protección tanto de los ojos como de las vías respiratorias o bien el uso de gafas de montura integral que no dispongan de sistemas de ventilación junto con la media máscara.

Se deberá prestar especial atención a la compatibilidad en el uso simultáneo de protección ocular y respiratoria, para que la utilización de uno no interfiera con el ajuste del otro, disminuyendo su capacidad de protección.

- Ropa de protección: Los materiales "no tejidos" de la ropa de protección (por ejemplo, polietileno de alta densidad) parecen ser más efectivos en la retención de NM que los tejidos convencionales, como es el caso del algodón o las mezclas de algodón-poliéster. Si una vez tenidas en cuenta todas las medidas de control, éstas no garantizan un nivel de protección adecuado y se hace necesario el uso de ropa de protección, se seleccionará en función del estado y tipo de NM y de la tarea que se realiza. Si el NM está en forma de polvo, se recomienda en función de la exposición esperable, la utilización de trajes de un solo uso contra riesgos químicos de Tipo 5, con capucha, cubre-calzado, sujeción en el cuello y puños y sin solapas o bolsillos. Si el NM se encuentra en disolución coloidal y pudiera existir contacto con los medios líquidos por salpicaduras, se ha de valorar el uso de ropa de protección química Tipo 6 o 4. Cuando la exposición química se limita nada más a una parte del cuerpo, por ejemplo, el torso, se pueden usar prendas de protección de un solo uso (ropa Tipo 5 [PB] e incluye prendas como las batas.
- Guantes de protección: Se recomienda seleccionar guantes de protección contra productos químicos y microorganismos, de elastómeros como nitrilo, látex, neopreno, butilo. En el caso de que se utilicen guantes de un solo uso, normalmente muy finos, se recomienda la utilización de dos pares de guantes superpuestos, ya que acostumbran a tener muy poca resistencia mecánica. También se recomienda, como buena práctica preventiva, el cambio regular de guantes para minimizar la presencia de imperfecciones que pueden producirse durante su uso. Si además de NM se manipulan simultáneamente otros compuestos químicos, como disolventes, o si los NM se encuentran en una disolución coloidal donde el medio líquido no sea agua, sino por ejemplo un alcohol, se deberá exigir al guante una protección química específica.

Fuente bibliográfica:

- Seguridad y Salud en el trabajo con Nanomateriales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene. Abril 2015.
- Studies and Research Projects – Report R-599: "Best Practices Guide to Synthetic Nanoparticle Risk Management". Institut de recherche Robert_Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).