

NANOTECNOLOGÍA

Un nuevo reto para la higiene industrial

NÉLIDA M. BUSTO SERRANO

Ingeniera de Minas

Técnico de Nivel Superior en P.R.L.

Sociedad de Prevención de Asepeyo S.L.U.

E. JOAQUÍN FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Ingeniero Técnico Industrial, Técnico de Nivel Superior en P.R.L.

Director Territorial para Asturias y Cantabria.

Sociedad de Prevención de Asepeyo S.L.U.

ÍNDICE

- 1.- Introducción
- 2.- Seguridad y salud aplicada a la nanotecnología: estado actual de la técnica
- 3.- Alternativas actuales para el control del riesgo por exposición a nanopartículas
- 4.- Conclusiones
- 5.- Agradecimientos
- 6.- Bibliografía



1.- INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es una ciencia emergente que puede sentar la base de la revolución industrial y tecnológica de mayor trascendencia del siglo XXI. Es probable que un alto porcentaje de los nuevos procesos industriales, materiales y productos desarrollados durante las siguientes décadas guarden relación con esta tecnología.

En la Comunicación "Hacia una estrategia europea para las tecnologías" de la Comisión Europea, se define el término de la siguiente manera: *"La nanotecnología es una ciencia multidisciplinar que se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, así como a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala"*.

En realidad, muchas de sus aplicaciones ya están en el mercado, y son la razón del descubrimiento de pelotas de tenis que rebotan con más intensidad, cremas solares que mantienen un alto factor de protección sin presentar aspecto blanquecino, lentes solares que son totalmente antirreflejantes, prendas de tela que resisten a las manchas, etc.

La nanotecnología tiene y tendrá una mayor influencia en los campos y disciplinas relacionadas con la medicina, la energía y la electrónica. Encontrándose ya en fase de desarrollo e implantación proyectos como el marcador fluorescente para células enfermas que permite reconocer de forma selectiva proteínas asociadas a enfermedades como el cáncer, u otros ligados a sectores relacionados con la energía como las cé-

lulas solares que presentan mayor eficiencia como captadores; o los equipos electrónicos portátiles, que no requieren pilas ni baterías para su funcionamiento y que generan agua pura como residuo de la obtención de energía eléctrica.

► **El desconocimiento existente de gran parte de los aspectos que rodean a esta nueva ciencia hace que tenga que ser vista con cautela desde el punto de vista de la seguridad y salud en el trabajo.** ►

Comúnmente llamamos nanopartículas a aquellas de dimensiones comprendidas entre 1 nm y 100 nm (1 nanómetro = 10^{-9} metros). Para hacernos una idea del rango de tamaño dentro del cual se mueve la nanotecnología podríamos comparar este dato con algunas medidas de referencia como las indicadas en la figura 1.

Aunque las posibilidades tecnológicas de la escala molecular y atómica son conocidas por la

comunidad científica desde 1959, año el que Richard Feynman dictó la ponencia "There is Plenty of Room at the Bottom", estamos hablando de un campo de investigación que, si bien ya se encuentra en uso de forma habitual en algunos contextos industriales, es aún desconocido por el público en general e, incluso, por algunos de los trabajadores que pueden entrar en contacto con nanopartículas en su lugar de trabajo.

A pesar de que desde una perspectiva científica y tecnológica, basada en la intención de desarrollo de nuevos productos y aplicaciones, se prevé que la nanotecnología revierta positivamente sobre la sociedad, el desconocimiento existente de gran parte de los aspectos que rodean a esta nueva ciencia hace que tenga que ser vista con cautela desde el punto de vista de la seguridad y salud en el trabajo e, incluso, como bien de consumo.

2.- SEGURIDAD Y SALUD APLICADA A LA NANOTECNOLOGÍA: ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

A día de hoy no disponemos de datos epidemiológicos ni toxicológicos concluyentes acerca de las posibles consecuencias que

Tamaño medio en nanómetros	
Grosor de una uña	500.000
Diámetro de un cabello	70.000
Bacterias	Entre 500 y 5.000
Virus de la gripe	Entre 80 y 120

Figura 1.- Comparativa de tamaño en nanómetros.

puede generar una exposición prolongada a nanopartículas por parte de trabajadores o público en general. De hecho, la mayor parte de los estudios existentes hasta el momento apuntan a la imposibilidad de obtener una metodología única de gestión del riesgo derivado de la exposición a nanopartículas, teniendo que actuar caso por caso, en función de la naturaleza, composición química, tamaño, forma de partícula y otras características de cada nanomaterial.



En el control del riesgo por exposición a nanopartículas la capacidad que éstas tienen para penetrar en el organismo a través de los tejidos requiere un cambio de mentalidad para abordar el problema.



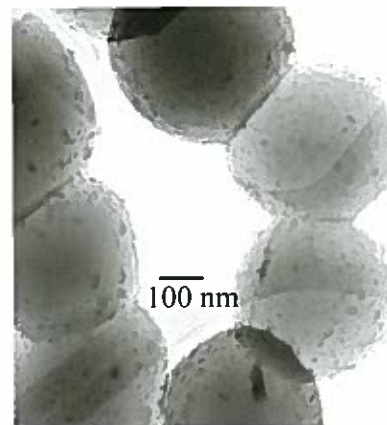
Aunque sí parece existir consenso en uno de los aspectos relacionados con la gestión del riesgo por exposición a nanopartículas, y es que su alta superficie específica aumenta la reactividad de la sustancia, lo que acarrea diversas implicaciones desde el punto de vista industrial y, lo que es más preocupante, biológico. Por lo tanto, una nanopartícula reaccionará más fácilmente con el organismo que la sustancia de igual composición química y mayor dimensión. De ahí que sea de esperar, a priori, que la toxicidad de una nanopartícula sea superior, aunque también pudiera ocurrir que una sustancia química

a tamaño macro pudiera presentar una toxicidad mayor que en su versión nano.

Además, los estudios sobre toxicidad de sustancias en relación a las vías de penetración, el transporte a través del organismo y su depósito final o metabolización utilizados en higiene industrial y en toxicología tradicional ya no son igualmente aplicables cuando abordamos la problemática de la exposición a nanopartículas.

Si hasta ahora la vía de entrada a la que más importancia se le daba era la respiratoria, en el control del riesgo por exposición a nanopartículas la capacidad que éstas tienen para penetrar en el organismo a través de los tejidos requiere un cambio de mentalidad para abordar el problema. Hasta hoy se han publicado diferentes estudios que lo corroboran, por ejemplo, se ha demostrado que distintas nanopartículas inhaladas por ratas, tras depositarse en la región nasal, en lugar de ser introducidas al organismo por la vía respiratoria, se trasladaban directamente al cerebro a través del nervio olfativo. Asimismo, otra investigación apunta a la capacidad que tienen las nanopartículas para atravesar las paredes celulares para luego dañar su ADN.

Todo ello hace que estemos ante el nacimiento de una nueva disciplina: la nanotoxicología, que desarrolle y estudie las vías de penetración, el transporte a través del cuerpo y el destino final para estas nuevas partículas en las que su tamaño les confiere unas propiedades distintas y únicas, y finalmente poder determinar una evaluación de riesgos en lo que se refiere a una potencial severidad de los daños derivados de la exposición.



Microestructura de Nanocomposite Alúmina-Circona. Corteía del Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias (FUNDACION ITMA).

Como primeras conclusiones obtenidas dentro del marco de la nanotoxicología, un grupo de científicos convocados por el gobierno de EE.UU. publicó en 2005 un estudio dentro del cual se desarrolla una lista con la información necesaria para caracterizar toxicológicamente las nanopartículas, basada en los siguientes principios:

- Es necesario realizar una caracterización físico-química de la nanopartícula, esto ha de incluir:

- Tamaño de partícula.
- Forma de partícula.
- Superficie específica.
- Actividad catalítica y potencial redox.

- Información acerca de cómo actúan las nanopartículas sobre otros tóxicos: nanopartículas que en sí son inocuas pueden aumentar la toxicidad de otras sustancias o, por el contrario, servir como mecanismos de limpieza.

- Relación entre la forma y tamaño de las nanopartículas y los



macrófagos del sistema inmunológico: puede ocurrir que, debido a su tamaño, no sean detectadas por éstos y pasen directamente al sistema circulatorio, lo cual aumenta su toxicidad.

- Capacidad de las nanopartículas de formar aglomerados y características toxicológicas de los mismos: ¿los aglomerados son menos o más tóxicos que las nanopartículas en solitario?

- Homogeneidad química de la superficie de las nanopartículas: ¿se modifica la reactividad en función de la zona de la superficie de la nanopartícula que es atacada químicamente?

- Características y número de interacciones que una nanopartícula puede llevar a cabo con diferentes biomoléculas: ADN, colágeno, estructuras de membrana, etc.

En su artículo, "Cuestiones éticas y científicas de la nanotecnología en el lugar de trabajo", Paul A. Schulte y Fabio Salamanca-Buentello destacan una clasificación de los conocimientos y lagunas existentes sobre la gestión de la seguridad y salud relacionada con la exposición a nanopartículas basada en cuatro categorías (Figura 2).

A la hora de realizar una evaluación de riesgos por el método tradicional, en base a la probabilidad y tiempo de exposición y a la severidad del daño, la situación actual de desconocimiento científico de la toxicología de estas sustancias hace imposible la cuantificación de la severidad, lo que supone que todos los esfuerzos preventivos deberán ir encaminados a reducir, en la medida de lo posible, la probabilidad y el tiempo de exposición, a través de la introducción de barreras y controles de ingeniería.

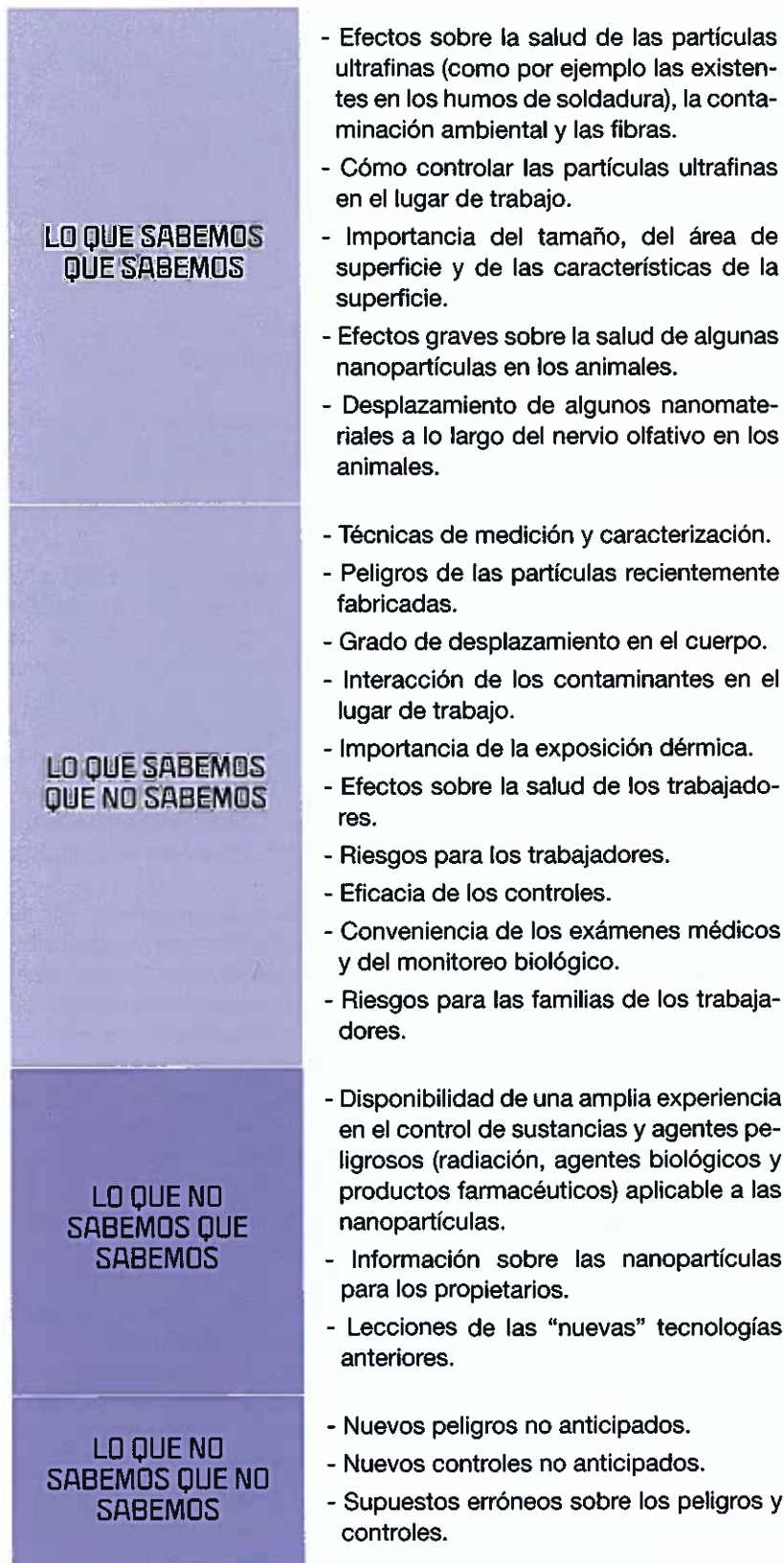


Figura 2.- Adaptación de Paul A. Schulte y Fabio Salamanca-Buentello.

En la actualidad, existe un sinfín de bibliografía sobre el control del riesgo por exposición a nanopartículas que se centra en técnicas de control de la exposición, ya sea mediante sistemas de captación y aislamiento o la utilización de protección personal, si bien es difícil cuantificar su eficacia.



La situación actual de desconocimiento científico de la toxicología de las nanopartículas hace imposible la cuantificación de la severidad, lo que supone que todos los esfuerzos preventivos deberán ir encaminados a la introducción de barreras y controles de ingeniería que reduzcan la probabilidad y el tiempo de exposición.



La mayor parte de los sistemas de gestión del riesgo propuestos en nanotecnología son adaptaciones de metodologías utilizadas en higiene industrial tradicional, remitiéndonos a la categoría de "lo que sabemos que sabemos". Algunos ejemplos son:

- Encuestas higiénicas.
- Eliminación o sustitución de sustancias de alta toxicidad, los controles de ingeniería: diseño de procesos teniendo en cuenta aspectos relacionados con la

seguridad y salud laboral, extracción localizada o confinamiento de sustancias, etc.

- Controles ambientales.
- Controles administrativos: reducción del número de trabajadores expuestos, rotación, etc.
- Utilización de equipos de protección individual.
- Monitorización biológica de sustancias y vigilancia de la salud.

En base al estado de la técnica, parece adecuada la aplicación de los anteriores sistemas para el control del riesgo. De todas formas, es importante recordar las limitaciones existentes en materia de nanotecnología debido a la gran cantidad de aspectos que "no sabemos". Atendiendo someramente a los ejemplos apuntados con anterioridad nos encontramos las siguientes dificultades:

- **Encuesta higiénica:** no es posible realizar una encuesta higiénica completa en lo referente a datos de toxicidad de la sustancia, debido a que muchos de ellos no son conocidos. Por lo tanto, esta metodología podrá ser utilizada para ahondar en el conocimiento de la sistemática de utilización de la sustancia en un lugar de trabajo concreto (número de trabajadores, características del proceso, duración del mismo, formas de manipulación, medidas técnicas existentes y protección personal utilizada), pero nunca se recogerán datos del tipo valores límites admisibles o peligrosidad de las sustancias manipuladas, dado el estado actual de la técnica.

- **Controles de ingeniería:** podrán ser aplicados en base a las recomendaciones que prestigio-

sas instituciones, como la NIOSH, han apuntado en diversas publicaciones. De todas formas, la efectividad de dichos controles queda supeditada a los conocimientos existentes y estudios desarrollados. Por lo tanto, no será posible afirmar su eficacia o determinar la inversión adecuada o suficiente en esta materia en la mayor parte de los casos. Es importante señalar que la incapacidad de demostrar la suficiencia y eficacia de los controles a implementar no justifica la no aplicación de los mismos.

- **Controles ambientales:** si bien es cierto que ya se han desarrollado equipos que permiten realizar una evaluación cuantitativa de ciertas nanopartículas en distintos medios, no se está en capacidad de aplicarlos a las tradicionales metodologías de higiene industrial. La capacidad de cuantificar el número de partículas a las que un trabajador se vería expuesto durante su jornada laboral (compuesta probablemente de distintas tareas realizadas en distintos lugares de trabajo) es dudosa. Aún así, si obtuviéramos ese dato no tendríamos ningún valor con el cual compararlo (VLA, TLV, o similares) al carecer de información toxicológica de la sustancia y, por lo tanto, no sería posible aplicar la metodología tradicional. Aunque, como veremos a continuación, existen medios alternativos para la realización de evaluaciones semicuantitativas de la exposición a sustancias químicas en la higiene tradicional que pueden ser aplicadas y se están aplicando, tras pequeñas adaptaciones, al caso de la nanotecnología.

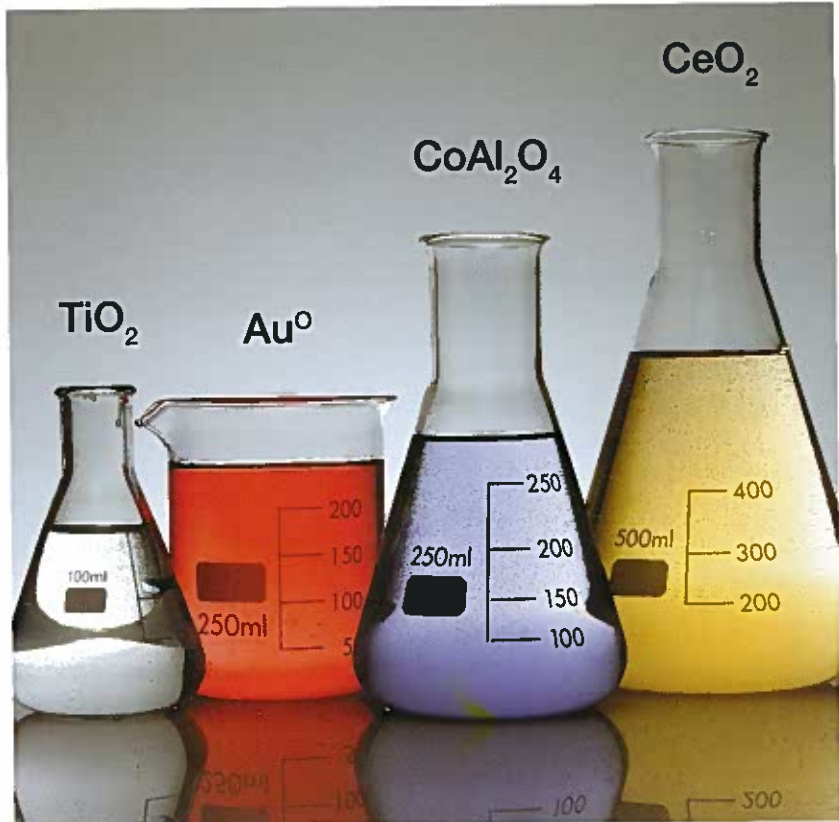
- **Controles administrativos:** los controles administrativos pueden complementar el resto de medidas y acciones tomadas para la gestión de la exposición



al riesgo, pero no debemos basar exclusivamente en éstos el plan de acción a seguir. Aunque es fundamental conocer datos relacionados con el número de trabajadores expuestos, los tiempos de exposición, etc., con el fin de obtener información que nos permita priorizar dentro de la planificación de medidas a adoptar, no podemos descartar la implantación de controles ambientales y técnicos, ya que estamos hablando de sustancias cuya exposición puede acarrear consecuencias severas (en aquellas para las cuales se desconocen las posibles consecuencias de su exposición, el principio de cautela indica que su tratamiento ha de ser equivalente al de una sustancia de alta toxicidad).

- **Utilización de E.P.I.:** la utilización de protección individual, con los conocimientos actuales sobre control del riesgo derivado de la exposición a nanopartículas, es una medida preventiva de aplicación ineludible. Si bien es cierto que no estamos en capacidad de afirmar la eficacia de los equipos de protección individuales, algunos estudios apuntan a la reducción de la probabilidad, nunca la eliminación total, de la aparición de patologías relacionadas con nanomateriales en las cuales el riesgo derivado de la exposición es estocástico. En la actualidad se están realizando estudios, basados en los mismos principios de la nanotecnología, cuyo objetivo es el desarrollo de tejidos y materiales que frenen el avance de las nanopartículas, una de las primeras aplicaciones de los mismos será la producción de equipos de protección individual.

- **Monitorización biológica y vigilancia de la salud:** pueden establecerse indicadores y llevar



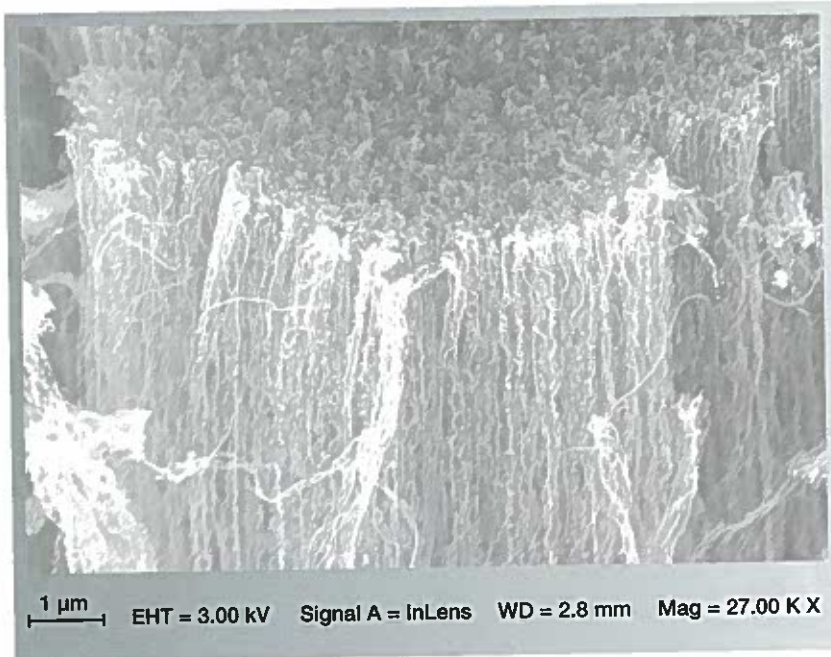
Nanosuspensiones.

a cabo su seguimiento dentro de una población de trabajadores expuestos a nanopartículas con el fin de buscar posibles efectos adversos sobre la salud. Desgraciadamente, se considera que los largos periodos de latencia harán imposible la localización de estos efectos hasta dentro de varios años, por lo tanto, esta no es una solución viable a corto plazo. Además, el principal inconveniente es el desconocimiento de unos marcadores biológicos adecuados. Mientras se espera a que algunos estudios que se están desarrollando con este fin obtengan conclusiones firmes y aplicables, una de las posibles vías es la utilización de los biomarcadores de referencia utilizados para la misma sustancia en granulometría habitual, en caso de que existan. Asimismo,

no se debe perder de vista la necesidad de determinar protocolos de vigilancia de la salud que detecten y eviten posibles daños producidos por las nanopartículas a corto plazo.

3.- ALTERNATIVAS ACTUALES PARA EL CONTROL DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A NANOPARTÍCULAS

A la espera de que los distintos estudios sobre gestión de la seguridad y salud relacionada con la nanotecnología lleguen a su fin, o se obtengan conclusiones parciales validadas y aplicables, es necesario definir un marco de actuación en aquellos lugares de trabajo donde la exposición a nanopartículas existe y puede afectar a los trabajadores implicados.



Nanotubos de Carbono. Cortesía del Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias (FUNDACIÓN ITMA).

Se presenta, entonces, un dilema relacionado con la selección de medidas preventivas a aplicar existiendo dos opciones:

- Acudir a métodos tradicionales, como los descritos en el apartado anterior, sin tener la certeza de que sean suficientes y adecuados para el control de la exposición.

- Aplicar nuevas metodologías, algunas de ellas aún no validadas.

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, la aplicación de métodos tradicionales, para el control de la exposición a nanopartículas, aunque no sean suficientes por sí solos, es necesaria mientras no se encuentre y valide un sistema alternativo. De todas formas, con el fin de completar el plan de acción y aumentar el nivel de seguridad, existen otra serie de metodologías, pendientes de valoración final, pero cuyos reportes parciales han sido

positivos y pueden ser aplicadas con sencillez en un entorno de trabajo relacionado con la nanotecnología.



La incapacidad de demostrar la suficiencia y eficacia de los controles de ingeniería a implementar, no justifica la no aplicación de los mismos como sistemas de control del riesgo.



Este es el caso del "Control Banding", metodología simplificada de higiene industrial conocida y recomendada por entidades de prestigio, que aplicado

a la evaluación de la exposición por nanopartículas provee a la empresa de un sistema de estimación del riesgo cualitativo o semicuantitativo.

Los métodos simplificados de higiene industrial en sus distintas vertientes, han sido utilizados y avalados por expertos higienistas desde la década de los 80 para su aplicación en el control del riesgo por exposición a sustancias químicas. Se basan en la caracterización de la sustancia utilizada y proceso a seguir, con el fin de realizar una estimación del nivel de riesgo existente y una validación de los medios técnicos utilizados para su prevención, o propuesta y planificación de medidas adicionales, sin necesidad de acudir, a priori, a la realización de mediciones y muestreos. Por lo tanto, cuando se propone el *Control Banding* como criterio de evaluación de la exposición a nanopartículas estamos adentrándonos, según la clasificación descrita anteriormente, en el apartado de "lo que no sabemos que sabemos".

Aunque existen argumentaciones que tachan de simplista la metodología de higiene simplificada, en contraposición con los sistemas tradicionales que implican la realización de muestreos y mediciones, dado el estado actual de la técnica en lo que se refiere a nanotecnología, desde el punto de vista de la higiene industrial, se puede justificar que la metodología de *Control Banding* es, actualmente, superior a los métodos tradicionales, pudiendo obtener con ella resultados que se aproximen más a la realidad.

Otra gran ventaja es el formato de resultados que ofrece esta metodología y es que, además



de clasificar la exposición a las nanopartículas en base a distintos grados de riesgo, brinda información sobre la probabilidad de que se produzca la exposición y la severidad de sus consecuencias, todo ello a partir de una encuesta higiénica cuya cumplimentación es relativamente sencilla para un técnico conocedor del proceso de manipulación del nanomaterial. De esta manera es posible priorizar en las acciones a aplicar para el control del riesgo, actuando primero sobre aquellas sustancias de severidad alta.



La capacidad de cuantificar el número de partículas a las que un trabajador se vería expuesto durante su jornada laboral es dudosa y, aún obteniendo ese dato, no tendríamos ningún valor VLA, TLV, o similares, con el cual compararlo al carecer de información toxicológica de la sustancia.



La metodología se basaría en la recogida de información referente a los aspectos que aparecen en la figura 3, para luego asignar a cada sustancia y a la forma de utilización una puntuación que permita clasificarla dentro de unos rangos de severidad y probabilidad que, aplicados a la matriz de la figura 4, permiten identificarla dentro de unos rangos de clasificación del nivel de riesgo.





CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA SUSTANCIA	TOXICIDAD EL NANOMATERIAL	TOXICIDAD DE LA SUSTANCIA QUE DARÍA ORIGEN AL NANOMATERIAL	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DONDE SE UTILIZA EL NANOMATERIAL
Composición química	¿Es carcinogénico?	¿Es carcinogénica?	Cantidad utilizada
Superficie específica	¿Es tóxico para la reproducción?	¿Es tóxica para la reproducción?	Facilidad para formar polvo en suspensión o aerosoles
Tamaño de partícula	¿Es mutágeno?	¿Es mutagénica?	Número de trabajadores expuestos
Forma de partícula	¿Es tóxico para la piel?	¿Es tóxica para la piel?	Frecuencia de la operación
Solubilidad	-	-	Duración de la operación

Figura 3.- Información necesaria para aplicación de la metodología de Control Banding.

	PROBABILIDAD MUY BAJA	PROBABILIDAD BAJA	PROBABILIDAD MEDIA	PROBABILIDAD ALTA
SEVERIDAD MUY ALTA	N.R. 3	N.R. 3	N.R. 4	N.R. 4
SEVERIDAD ALTA	N.R. 2	N.R. 2	N.R. 3	N.R. 4
SEVERIDAD MEDIA	N.R. 1	N.R. 1	N.R. 2	N.R. 3
SEVERIDAD BAJA	N.R. 1	N.R. 1	N.R. 1	N.R. 2

Figura 4.- Matriz de clasificación del Nivel de Riesgo por Control Banding.


El Control Banding es una metodología simplificada de higiene industrial que aplicada a la evaluación de la exposición por nanopartículas provee a la empresa de un sistema de estimación del riesgo cualitativo o semicuantitativo.


La aplicación del *Control Banding*, dadas las circunstancias existentes y el estado de la técnica, estaría justificada en la legislación española por el Artículo 5 del Reglamento de los Servicios de Prevención, dentro del cual se señala como procedimiento válido para la realización de una evaluación de riesgos, en caso de ausencia de normas de referencia, la aplicación de metodologías validadas por entidades de reconocido prestigio o que puedan ser justificadas documentalmente.

4.- CONCLUSIONES

La nanotecnología es una ciencia emergente que transformará los procesos industriales en un futuro próximo. Por lo tanto, cabe esperar que dentro de unos años exista una amplia población laboral expuesta a nanopartículas en su lugar de trabajo.

En cambio, el estado actual de desarrollo de la tecnología no brinda conocimientos sobre la gestión de la seguridad y salud ante la exposición a nanopartículas

las a la misma velocidad que se proponen nuevas aplicaciones industriales y se sintetizan nuevos materiales.

Es imposible, a día de hoy, cuantificar la severidad del daño por exposición a nanopartículas de distinta naturaleza. Por lo tanto, en la aplicación del método tradicional de evaluación de riesgos se han de encaminar las medidas preventivas propuestas a la reducción de la probabilidad y tiempo de exposición.

Uno de los sistemas de evaluación desarrollados que ha recibido más reportes positivos es el *Control Banding*, que se basa en la aplicación de los principios de las metodologías de higiene simplificada, para la clasificación por niveles de riesgo de la exposición a nanopartículas de forma cualitativa o semicuantitativa. Como novedad, esta metodología permite realizar una aproximación de la probabilidad de exposición y, lo que es más importante, severidad del daño, salvando uno de los mayores escollos relacionados con la evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas y permitiendo priorizar en las medidas preventivas sobre aquellos materiales más dañinos.

Finalmente, es necesario incidir en otro de los problemas relacionados con la exposición a nanopartículas: la falta de información existente por parte de trabajadores y gestores de la seguridad y salud en la empresa.

Ante la imposibilidad de aplicar los métodos tradicionales de higiene industrial para enfrentarse al riesgo derivado de la exposición a una sustancia, la cual se encuentra sin clasificar y no se

dispone de la información fundamental necesaria sobre su potencial peligrosidad, se está optando por la aplicación de las medidas de control que se proponen habitualmente cuando el trabajador se encuentra expuesto a un producto químico "tradicional". Esto implica una minusvaloración del riesgo, así como una carencia de información por parte de los trabajadores expuestos que puede aumentar las posibilidades de que sufran alguna patología relacionada con la exposición a nanopartículas en el futuro a medio y largo plazo. Por ello, no podemos quedarnos en el análisis técnico de la situación y obviar la dimensión moral y ética de este problema.

Aplicando al caso de la nanotecnología el principio de acción preventiva, que aparece en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y es empresarialmente exigible, debido al desconocimiento existente sobre este riesgo emergente, se debe atender al principio de cautela, de manera que:

- Es necesario realizar un control sobre la exposición de los trabajadores a nanopartículas, evitando caer en el uso indiscriminado de esta tecnología sin antes reflexionar sobre las posibles medidas preventivas a aplicar en el entorno de trabajo.

- Es fundamental brindar a los trabajadores toda la información existente sobre las posibles medidas a aplicar para el control de la exposición a nanopartículas, así como los posibles efectos adversos, algunos aún sin descubrir, que puede acarrear.

- Las metodologías y distintas medidas aplicadas para el control del riesgo han de ir parejas,



tal como se señala en el Artículo 15 de la LPRL, a la evolución de la técnica.

Para finalizar, queremos abrir una reflexión sobre las consecuencias que la evolución técnica no acompañada de un estudio exhaustivo sobre la prevención de riesgos asociados, tanto para los trabajadores como para la población general, pueden acarrear. Siguiendo el consejo de Confucio (551-479 a.C): *"Estudia el pasado si quieres pronosticar el futuro"*.

Recordaremos un caso ejemplarizante: a finales del siglo XIX los descubrimientos relacionados con la aplicación de los Rayos X y la radioactividad realizados por Marie Curie, entre otros investigadores, abrieron un sinfín de

posibilidades en distintos campos de la ciencia y la tecnología, especialmente de la medicina. En 1934, Marie Curie moriría víctima de una enfermedad causada por los cuerpos radioactivos a cuyo estudio había entregado su vida.

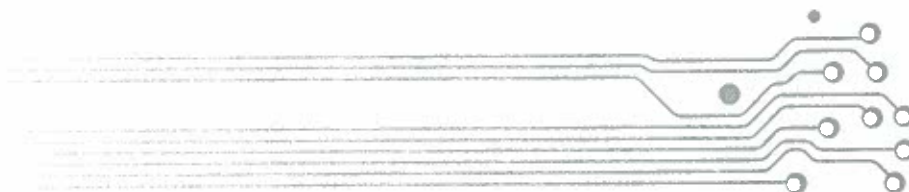
Durante el siglo XX, la utilización sin control de los Rayos X por los profesionales de la medicina derivó en un aumento de la incidencia de los casos de cáncer hasta que comenzaron a establecerse medidas preventivas de control de la exposición y se aprobó normativa aplicable al respecto.

Otro ejemplo más reciente fue la utilización y exposición indiscriminada al asbesto que sufrieron miles de trabajadores, cuyas consecuencias son de sobra conocidas.

Estamos ahora ante un nuevo caso de tecnología emergente, cuyo riesgo potencial desconocemos, el cual se espera tenga repercusión en un alto número de procesos industriales y, por consiguiente, un importante aumento de la población laboral expuesta. Por ello, se hace necesario que las inversiones no se focalicen en la única dirección del desarrollo tecnológico y se logre garantizar la seguridad y salud de los trabajadores y usuarios.

5.- AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración y ayuda prestada por el Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias (FUNDACIÓN ITMA).



6.- BIBLIOGRAFÍA

- Feynman, R.P. (1959). "There is Plenty of Room at the Bottom". American Physical Society.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 797: Riesgos asociados a la nanotecnología.
- Schulte, P.A. y Salamanca-Buentello F. Cuestiones éticas y científicas de la nanotecnología en el lugar de trabajo.
- Shulte, P.A., Geraci, P., Zumwalde, R, Hoover, M. y Kuempei, E. (2008). "Occupational Risk Management of Engineered Nanoparticles". Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 5:239-249.
- Zalk, M.D., Paik, S.Y. y Swuste, P. (2009). Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposure. Journal of Nanoparticle Research, 11:1685-1704.