

Nanotecnología y sus Retos para la Salud Ocupacional

Alejandro Sanín Bernal

Médico Especialista Salud Ocupacional, Ms. Environmental Epidemiology and Policy

Colpatria Seguros de Vida S.A.

Cra 15 No. 106 – 57 Tel 57-1-5230010

asaber@une.net.co

Abstract

La Nanotecnología impone nuevos horizontes a la tecnología, permitiendo nuevas formas de resolver los problemas y ofreciendo posibilidades hasta ahora inimaginadas en su aplicación. De reciente aparición, genera situaciones nuevas de riesgos que aún no se entienden completamente. El control de riesgos sólo se obtiene cuando se comprenden sus fuentes y los mecanismos de generación, y estos aspectos aún no están desarrollados en el campo de la nanotecnología, hasta ahora sólo comenzamos a comprenderlos y documentarlos. Se impone por lo tanto, la aplicación del principio de precaución para evitar posibles consecuencias devastadoras en la salud humana.

Palabras clave

Nanotecnología, salud humana, riesgos para la salud

Introducción

La definición de nanotecnología ya estará incluida en la vigésima tercera edición del Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua con la siguiente definición: "1. f. Tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología."

Este hecho nos deja referidas dos realidades llamativas sobre el tema. En primer lugar la novedad, y no es que el diccionario tenga una velocidad de rayo para incluir los temas o palabras que van apareciendo. Lo hace a medida que la frecuencia o necesidad de uso requiere la incorporación de un término en las palabras de la lengua, y en este caso ha habido una necesidad que se inició hace menos de un siglo, y que en las últimas tres décadas ha sometido a la Academia a una presión muy grande por el incremento inusitado en su uso. En segundo lugar incluye la referencia de su aplicación a varias ramas de la ciencia, bueno la definición refiere tres, bueno, pero esas tres son casi todas las ramas de las ciencias naturales! Lo sorprendente es que en su aplicación en cada una de ellas, la nanotecnología parece hablar lenguas diferentes, así de diferentes son las formas de usarse.

La magnitud nano hace referencia al orden de 10^9 a la menos. Para los americanos esto se denomina una billonésima parte, en la lengua española la denominación es de una milésima de millón, pues el término billón hace referencia al millón de millones. De cualquier forma, la magnitud es tan pequeña que puede referirse como la comparación entre una canica y la dimensión de la tierra. Suficientemente gráfico, pero se hace irresistible presentar otra comparación: La distancia que ocupa un vagón del Metro en Medellín y la vuelta al mundo alrededor del ecuador.

No se trata de miniaturizar, sino de crear nuevas formas de funcionamiento mediante la manipulación en la estructura misma de lo que existe.

Si consideramos que todas las cosas que existen tienen una composición física, podemos ir adentrándonos en sistemas diferentes que nos explican su forma. El ojo humano es capaz de diferenciar las formas visibles, y en ellas consideramos su color, forma, superficie, etc. A medida que vamos ampliando esas características debemos comenzar a utilizar instrumentos que permitan adentrarnos en estructuras cada vez más pequeñas: El microscopio desarrollado por Robert Hooke permitió a Leewenhoek en el siglo XXVII amplificar los objetos hasta 500 veces y ver por primera vez estructuras como los vasos sanguíneos, los microorganismos, los espermatozoides y las fibras musculares. Pero cada una de esas estructuras tienen una composición más pequeña, y sólo fue hasta bien entrado el siglo XX que se desarrollaron los instrumentos que permitieron verlas. El microscopio electrónico puede magnificar las imágenes hasta dos millones de veces. Todavía estamos aumentando lo que el ojo puede ver, pero más allá de esa dimensión existen formas que componen la materia. Para suponer como están dispuestas se requirió de equipos más sofisticados que permitieran entrar hasta la dimensión del nonometro, todavía muy lejos de lo alcanzado (aún faltaban magnificaciones de hasta 500 veces para llegar a ese nivel).

Para lograr esta exploración de niveles mucho más pequeños se desarrollaron técnicas diferentes a las ópticas o electrónicas, buscando comprender la disposición de las partículas subatómicas en un mundo de soluciones: la litografía ultravioleta profunda, la litografía de rayos de electrones, la deposición atómica en capas, la deposición molecular en vapor, y otras que permitieron ingresar al nivel de las nanopartículas, y posteriormente, las instrumentaciones que permitieron, además del reconocimiento de las estructuras, su modificación. Tales como el

microscopio de fuerzas atómicas (AFM por sus siglas en inglés), el microscopio de escaneo en túnel (STM) y posteriormente, hacia la década de los 70 en el siglo pasado, el microscopio de escaneo acústico (SAM).

Con estas tecnologías se pudo llevar a cabo la modificación de las estructuras a nivel nanométrico, permitiendo dos aproximaciones diferentes:

La primera, llamada de arriba hacia abajo, requiere la construcción de nanoinstrumentos ensamblando sus componentes, por ejemplo moviendo átomos en la superficie de una estructura. Hasta ahora esta aproximación es muy costosa y se usa principalmente en investigación.

La segunda se denomina de abajo hacia arriba. En estas tecnologías las nanoestructuras se construyen añadiendo de a uno los átomos o las moléculas que lo componen. Son reconocidas ya las técnicas llamadas síntesis química, autoensamblaje, ensamblaje posicionado y molecular beam epitaxy (MBE), esta última con aplicaciones para la construcción de semiconductores, así como para construir estructuras y mecanismos usados en el campo innovador de la magnetoelectrónica.

Qué tanto ha ingresado la nanotecnología en la vida moderna? Aún cuando su aparición es muy reciente en la historia del hombre, podríamos decir que desde los primeros imaginarios no ha transcurrido más de un siglo, y desde su aplicación práctica apenas han pasado unos treinta años. El entusiasmo en su aplicación hace que cada semana entren al uso práctico unos tres o cuatro nanoproducidos, y que se encuentran disponibles para uso unos 600 aproximadamente. Esto es más de lo que podemos imaginar en cualquier campo innovador, pues muchos de ellos son tan diferentes unos de otros que no se puede comparar, por ejemplo, con el número de modelos de telefonía celular que se agregan al mercado permanentemente, donde casi todos son lo mismo con diferente presentación.

Las modificaciones a nivel nanométrico implican diferencias importantes en la forma y en el resultado si se llevan a cabo en la biología, en la física o en la química.

Cuando se logra la modificación en las estructuras atómicas de cualquier objeto se generan nuevas características, y por consiguiente nuevos riesgos potenciales en su interacción con el cuerpo humano. Esto abre todo un nuevo universo de posibilidades que deben ser estudiadas para comprenderlas.

Podría hacerse una analogía con el descubrimiento de América por Cristóbal Colón. Los mismos individuos que ya existían, las mismas tierras que ya existían, interactuando en forma física, cultural y económica de nuevas formas, formas insospechadas y con un impacto muy grande tanto en los europeos como en los americanos: aparición de la colonización, introducción de enfermedades no conocidas, realce de conductas, y un sinnúmero de situaciones que cambiaron de forma dramática la forma de vivir y de morir de europeos y americanos.

Cada uno de los campos que aplican la nanotecnología (biología, física, química) ofrece posibilidades diferentes en los resultados que puede obtener, y procedimientos bien diferentes para lograrlo. Por eso debemos pensar en tres campos diferentes compartiendo una idea, pero no aplicándola de la misma manera. Si esto ocurre, el origen de los riesgos para la salud que pueden crear en su aplicación también pueden ser completamente diferente.

Cómo saber si nuevas tecnologías como éstas imponen nuevos riesgos para la Salud? En la respuesta a esta pregunta se podrían plantear dos mecanismos bien diferentes:

El primero parte de la suposición de que similares sustancias producen similares efectos: "Los riesgos para la salud que tenga el carbono deben ser comunes para todas las estructuras que tengan carbón". Esta aproximación no parece ser muy útil para identificar los riesgos que para la salud puede tener la nanotecnología. En primer lugar porque la modificación de la estructura molecular de una sustancia puede modificar su interacción con el organismo, o con organismos vivos diferentes al humano que crean nuevos riesgos, antes inexistentes. Puede citarse como ejemplo el uso de nanopartículas de plata usadas en la fabricación de telas para medias con el fin de reducir los olores de los pies (pecueca, en lenguaje coloquial colombiano), usando su virtud bactericida. Las nanopartículas se liberan durante el lavado de las prendas e imponen riesgos ambientales potenciales al actuar sobre microorganismos necesarios en los procesos de purificación del agua en los sistemas de tratamiento residuales del agua. En segundo lugar, porque las interacciones que estructuras nuevas tengan con los procesos metabólicos al interior del organismo, podrían crear nuevas rutas metabólicas con generación de subproductos antes inexistentes.

El segundo mecanismo para encontrar efectos para la salud es la razón de ser de la epidemiología: La investigación deberá, mediante la aplicación de sus metodologías evidenciar la aparición de nuevos efectos, o el incremento de la aparición de efectos existentes en

poblaciones expuestas a productos de la nanotecnología. La incidencia del cáncer, por ejemplo, como efecto potencial de exposición a nanotubos de carbón está planteada como un efecto potencial en humanos debido a experimentos en ratas que mostraron este efecto. Sin embargo la realización de estudios que permitan aceptar este postulado en humanos plantea dificultades metodológicas y logísticas que requieren años en ser resueltas, y mientras tanto, si continúa la exposición, se expone a la especie humana a un riesgo con efectos devastadores potenciales. Ya la historia nos ha documentado múltiples ejemplos de esta situación con situaciones como la Talidomida, el Dietilestilbestrol, y hasta podría mencionarse el del uso del asbesto.

La preocupación que ha predominado en las primeras fases de investigación y conocimiento de los riesgos de la nanotecnología tiene que ver con su capacidad de penetración a través de las barreras fisiológicas del cuerpo. Por su pequeño tamaño, se supone la posibilidad de puedan llegar, cuando son inhaladas, hasta los sacos alveolares en mayor número, a medida que la exposición se aumenta por su uso. Una vez en el saco alveolar deberán interactuar con los macrófagos alveolares, los cuales se verían copados en su capacidad defensora por el gran número de partículas, permitiendo el ingreso de algunas de ellas al torrente sanguíneo, e incrementando los procesos inflamatorios locales. La explicación replica el mecanismo fisiopatológico de la creación de fibrosis por las fibras de asbesto o las partículas de sílice, y de hecho ya se ha encontrado evidencia empírica de que esta situación ocurre. Existe también el peligro de que obren como agentes carcinogénicos, como se ha visto en experimentos con animales al exponerlos a nanotubos de carbón, encontrando incremento en la aparición de cáncer de pulmón.

Pero el tamaño no es la única preocupación en términos de riesgos. Los nanoproductos o nanosustancias, denominadas por el hecho de haber sido manipuladas en su composición molecular para modificar sus características de reactividad, superficie, etc. Ofrecen la posibilidad de servir como vehículos para un sinnúmero de sustancias existentes en el ambiente, que adsorbidas en la superficie del nanoproducto lo contaminan imprimiendo riesgos adicionales. Se ha acuñado el término de "nanovectores" para denominar esta situación mediante la cual, por ejemplo, productos de combustión, metales pesados, moléculas biológicas derivadas de bacterias, entre otros, podrían entrar en contacto con células del sistema inmunitario desencadenando reacciones inflamatorias, o incluso ingresar al organismo produciendo efectos tóxicos. Ante este riesgo potencial, en los sitios de trabajo se imponen ambientes libres de contaminantes aéreos como medida para impedir la

adsorción de sustancias o materiales a los nanoproductos que se fabrican, así como el uso de equipos de protección personal respiratorio y de piel que deben considerar materiales de muy baja porosidad para impedir el contacto con la piel o con el tracto respiratorio.

Sin embargo, considerar los nanoproductos como material particulado ultra fino puede no ser suficiente frente a los riesgos potenciales que pueden presentarse: los nanomateriales tienen la propiedad de agregarse y desagregarse en el ambiente de acuerdo con aspectos cambiantes como la concentración de partículas y aspectos ambientales, haciendo que las mediciones de contaminantes en un sitio de trabajo realizadas en un momento específico no garanticen que corresponden a las que puedan encontrarse bajo condiciones ambientales diferentes.

El ingreso de nanopartículas al sistema nervioso central a través de la nariz vía el bulbo olfatorio, tal como se ha demostrado con partículas virales del poliovirus desde la década de los 40 en el siglo pasado, es una posibilidad real con otros nanomateriales. Aún cuando el riesgo de lesión no está claramente definida, su potencialidad de daño puede ser tan grande, que es una situación que debe tenerse siempre presente.

Aún cuando el ingreso a través de la vía aérea es el de mayor evidencia, no es el único de interés para la exposición ocupacional. Algunas partículas atrapadas por el sistema mucociliar respiratorio podrían ser deglutidas y absorbidas a través del tracto digestivo. La toxicidad de esos nanomateriales puede ser muy variable una vez alcanzan diferentes órganos blanco, y la preocupación incluye desde el funcionamiento adecuado hepático y renal, hasta la deposición en las paredes de los vasos sanguíneos con formación de placas, semejantes a los ateromas producidos por el colesterol sanguíneo.

La inclusión de nanopartículas en protectores solares crean el peligro potencial de absorción cutánea, e incluso se sospecha la generación de radicales libres que pueden interactuar con el DNA incrementando el riesgo de cáncer. Mecanismos similares pueden considerarse de riesgo para las personas que los fabrican, haciendo necesario que en los sitios de trabajo se utilice protección cutánea completa mediante el uso de materiales de baja porosidad.

Existe siempre la preocupación por la acumulación en el organismo de nanomateriales. Si alguno de ellos persiste en células de tejidos específicos podrá persistir en su efecto por periodos prolongados imprimiendo nuevos riesgos para la salud, incluyendo la interacción con mecanismos enzimáticos que tienen papel importante en la

detoxificación del organismo, como el de la enzima Citocromo P450 que se ha visto podría ser inhibido por algunos nanomateriales como los fulerenes.

Identificar y documentar efectos que ocurren luego de exposiciones de baja concentración con largos periodos de latencia requieren de esfuerzos adicionales en la investigación, así como de largos periodos de tiempo.

Dado que las ventajas tecnológicas para el desarrollo de la especie humana con el uso de la nanotecnología se presenta como evidente, los riesgos potenciales en su uso para la salud o para el medio ambiente son el mayor freno que se plantea para su uso. Es por lo tanto racional la prudencia en la exposición hasta que no se tenga información adicional, con el fin de evitar la aparición de daños debido al entusiasmo desmedido en su uso.

El principio de precaución, incluido en la Ley 99 de 1993 de Medio ambiente de Colombia, es la base sobre la cual debe manejarse la incertidumbre frente al riesgo para la salud humana. Su texto, contenido en la mencionada ley como: "cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente" es perfectamente aplicable a los ambientes de trabajo que al ser degradados imponen riesgos a quienes realizan sus labores allí.

El considerar a los nanomateriales como partículas ultrafinas en todo su manejo y evitamiento de ingreso al cuerpo humano puede ser insuficiente para proteger la salud de los trabajadores, y mientras esa incertidumbre prevalezca, deba aplicarse la sabia recomendación de la higiene industrial de minimizar al máximo la exposición que pueda presentarse.