



Exposición ocupacional a Nanomateriales – Metodologías de valoración cualitativas

Ana Marcela Muñoz Díaz

Ingeniera Química, Magíster en Salud Ocupacional
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Calle 27 sur 27B-12, Apto 115, 311 293 47 61
anamunoz@elpoli.edu.co

Resumen

El objetivo principal del estudio fue determinar el nivel de exposición laboral a nanomateriales en laboratorios de síntesis de muestras que están al servicio de la investigación o apoyo académico en instituciones de educación superior ubicados en la ciudad de Medellín. **Métodos:** Para determinar el nivel de exposición se utilizaron dos metodologías simplificadas o de control por bandas, como son: la norma técnica de prevención NTP 877 del año 2010 y el método Stoffenmanager Nano del año 2011, que ofrecen soluciones simplificadas para controlar la exposición de los trabajadores en un entorno de trabajo de investigación, teniendo en cuenta las condiciones presentes en el lugar de trabajo, los controles existentes; así como también, las variables fisicoquímicas y toxicológicas de los nanomateriales a través de la revisión de las hojas de seguridad y las características del material padre. **Resultados:** En el estudio participaron cuatro laboratorios en los cuales se identificaron catorce nanomateriales, de los cuales el Óxido de Aluminio Al_2O_3 , el Dióxido de Titanio TiO_2 y los Nanotubos de Carbono, resultaron ser de común uso entre al menos dos de los cuatro laboratorios estudiados. La valoración por ambos métodos, indicaron que los Nanotubos de Carbono son los nanomateriales más peligrosos para la salud debido a su tamaño y severidad del efecto en el organismo; este nanomaterial es utilizado para fines química de los materiales de la construcción, energía,





ingeniería y medio ambiente. Se identificó el proceso de síntesis de nanomateriales como una de las principales fuentes potenciales de riesgo; así mismo, se determinó que, aunque los laboratorios en general tuviesen sistemas de extracción localizada requerían una mejora en los controles de ingeniería. **Conclusiones:** La metodología Stoffenmanager Nano contempla además de las características del nanomaterial y las del material padre, las condiciones de operación, duración de la tarea, frecuencia, solubilidad del material, tamaño de partícula; mientras que la metodología NTP 877 evalúa teniendo en cuenta las propiedades físicas, químicas y toxicológicas del nanomaterial.

Palabras clave: Control por bandas, Nanomateriales, Nanotubos de carbono, Stoffenmanager Nano, Toxicológicas

Abstract

The main objective of the study was to determine the level of occupational exposure to nanomaterials in sample synthesis laboratories that are at the service of research or academic support in higher education institutions located in the city of Medellín. Methods: To determine the level of exposure, two simplified methodologies or control by bands were used, such as: the technical prevention standard NTP 877 of 2010 and the Stoffenmanager Nano method of 2011, which offer simplified solutions to control the exposure of workers in a research work environment, taking into account the conditions present in the workplace, existing controls; as well as the physicochemical and toxicological variables of the nanomaterials through the review of the safety data sheets and the characteristics of the parent material. Results: Four laboratories participated in the study in which fourteen nanomaterials were identified, of which Aluminum Oxide Al₂O₃, Titanium Dioxide TiO₂ and Carbon





Nanotubes, turned out to be of common use between at least two of the four laboratories studied. . The assessment by both methods indicated that Carbon Nanotubes are the most dangerous nanomaterials for health due to their size and severity of the effect on the body; This nanomaterial is used for chemical purposes in construction materials, energy, engineering and the environment. The nanomaterial synthesis process was identified as one of the main potential sources of risk; Likewise, it was determined that, although laboratories in general had localized extraction systems, they required an improvement in engineering controls. Conclusions: The Stoffenmanager Nano methodology includes, in addition to the characteristics of the nanomaterial and those of the parent material, the operating conditions, duration of the task, frequency, solubility of the material, particle size; while the NTP 877 methodology evaluates taking into account the physical, chemical and toxicological properties of the nanomaterial.

Keywords: Band control, Nanomaterials, Carbon Nanotubes, Stoffenmanager Nano, Toxicological.

Introducción

La exposición ocupacional a nanomateriales representa un peligro potencial para la salud del personal que lo manipula, debido a que encontrar partículas entre 1 y 100 nm, cuya superficie específica área/volumen cuando supera los $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$, ofrece propiedades físicas y químicas singulares y diferentes a las del material existente a escala mayor, como lo indica Dirk Lehmkus, et al 2015 (1), desde la mejora de la resistencia mecánica hasta la optimización de las propiedades de detección y conversión, recolección de energía, conductividad, rendimiento catalítico, etc., hasta mejorar los materiales de almacenamiento de energía e incluso mejorar la eficacia antimicrobiana.

La revisión de la bibliografía muestra que se vienen realizando estudios recientes sobre los efectos biológicos de las nanopartículas, algunas





fabricadas presentan una toxicidad inesperada para los organismos vivos, y en este contexto en un estudio financiado por el Instituto de Investigación Robert-Sauvé (2) en Salud y Seguridad Ocupacional (IRSST) de Canadá afirma que: "Las nanopartículas insolubles o de baja solubilidad en fluidos biológicos son el mayor motivo de preocupación. Debido a su pequeño tamaño, varios estudios han demostrado un comportamiento exclusivo. Algunos de ellos pueden atravesar nuestros diversos mecanismos de defensa y ser transportados por el organismo en forma insoluble. Así, algunas nanopartículas pueden acabar en el torrente sanguíneo tras atravesar todas las membranas respiratorias o gastrointestinales. Luego se distribuyen a varios órganos y se acumulan en sitios específicos. Otros viajan a lo largo de los nervios olfativos y penetran directamente en el cerebro, mientras que otros atraviesan las barreras celulares y llegan al núcleo de la célula. Estas propiedades, ampliamente estudiadas en farmacología, podrían permitir que las nanopartículas se utilicen como vectores para transportar fármacos a zonas específicas del cuerpo, incluido el cerebro".

Es así como el objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de exposición laboral a nanomateriales en laboratorios de síntesis de nuevos materiales utilizando metodologías de valoración cualitativa.

Materiales y Métodos

Este fue un estudio de tipo cualitativo y analítico en el que se busca establecer el nivel de riesgo de exposición a nanomateriales.

Para establecer el nivel de riesgo de exposición se utilizaron la norma técnica de prevención NTP 877 del año 2010 (3) y el método Stoffenmanager nano del año 2011 (4); la primera comprende la sumatoria de 15 factores como los toxicológicos y las propiedades fisicoquímicas del nanomaterial y del material padre que posteriormente





lleva al cálculo de la severidad del riesgo, que va desde bajo hasta muy alto; así como también la frecuencia de operación, la duración, la cantidad usada del material, el número de trabajadores expuestos, etc. las cuales llevan al cálculo de la probabilidad y van desde extremadamente improbable hasta muy probable.

La combinación de la severidad y la probabilidad dan lugar a cuatro posibles niveles de riesgo a la exposición, en la siguiente tabla se muestra la matriz de decisión:

Tabla 1. Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad

		PROBABILIDAD			
		Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy Probable (75-100)
SEVERIDAD	Muy alta (76-100)	RL3	RL3	RL4	RL4
	Alta (51-75)	RL2	RL2	RL3	RL4
	Media (26-50)	RL1	RL1	RL2	RL3
	Baja (0-25)	RL1	RL1	RL1	RL2

RL1: Ventilación general
RL2 Ventilación por extracción localizada o campanas de humos
RL3: Confinamiento
RL4: Buscar asesoramiento externo

Fuente método NTP877

En la metodología Stoffenmanager Nano, se identifican dos bandas: la banda de peligro cuya valoración está dada por el tamaño de partícula y la información toxicológica identificadas en las frases R y H del nanomaterial y la banda de exposición que tiene en cuenta cuatro aspectos, la emisión potencial derivada de la sustancia y de la actividad





desarrollada con la misma; la transmisión que relaciona la exposición del trabajador según las medidas de control localizadas; la inmisión que valora la separación en la fuente y la protección individual; la frecuencia y la duración de la tarea. A todos estos atributos se les asigna una puntuación determinada por el método.

La puntuación de la banda de peligro y de la banda de exposición, se combinan para dar lugar a una banda de riesgo que proporciona una clasificación relativa a los riesgos en las actividades desarrolladas por el trabajador y cuya prioridad va desde la 1 hasta la 3, siendo la banda 1 la de mayor prioridad (Riesgo alto) y la 3 la de menor prioridad (Riesgo bajo). La matriz es la siguiente:

Tabla 2. Matriz de bandas de peligro y de exposición

Hazard band \ Exposure band	A	B	C	D	E
1	3	3	3	2	1
2	3	3	2	2	1
3	3	2	2	1	1
4	2	1	1	1	1

Fuente: Método Stoffenmanagernano

Resultados

Se evaluaron cuatro laboratorios en los cuales se encontraron 14 nanomateriales. En la siguiente tabla se relacionan los nanomateriales valorados y los usos en la industria.





Tabla 3. Nanomateriales valorados y usos

Laboratorio	Nanomaterial	Descripción	Usos
Laboratorio 1	TiO2	Dióxido de Titanio	Biomedicina y productos farmacéuticos
	Nanotubos	Nanotubos de Carbono	Ingeniería
	SiO2	Oxido de Silicio	Ingeniería
	CeO2	Oxido de Cerio	Química y materiales, Industria textil, Medio ambiente
	NH4ZSM	Zeolita de amonio	Materiales para la construcción, Ingeniería
	Al2O3	Oxido de Aluminio	Energía, Ingeniería
Laboratorio 2	CuO	Oxido de Cobre	Química y materiales, Energía, Ingeniería, Industria textil
	Oxido de grafeno	Oxido de grafeno	Química y materiales, Electrónica y comunicaciones, Energía, Ingeniería, Industria textil, Medio ambiente
	TiAg		Química y materiales, Energía
	TiO2	Dioxido de Titanio	Biomedicina y productos farmacéuticos
	ZnO	Oxido de Zinc	Química y materiales, Energía, Ingeniería
	ZnO Ag		Química y materiales, Energía, Ingeniería
	Al2O3	Oxido de Aluminio	Energía, Ingeniería
	Nanotubos	Nanotubos de Carbono	Ingeniería, construcción
Laboratorio 3	Grafeno	Grafeno	Química y materiales, Energía, Ingeniería
	Al2O3	Oxido de Aluminio	Energía, Ingeniería
Laboratorio 4	NiO	Oxido de Niquel	Energía, Ingeniería
	AgNPs	Nanoparticulas de Plata elemental	Biomedicina y productos farmacéuticos

Fuente: Elaboración propia



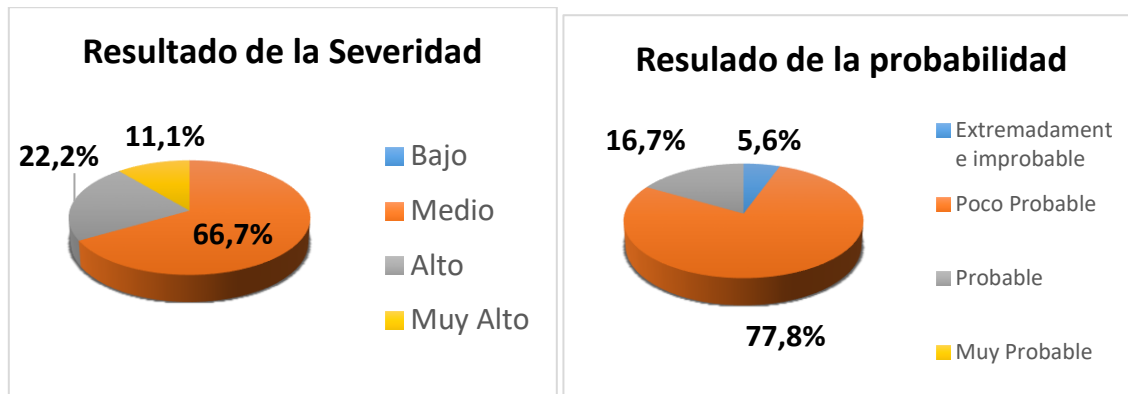


Método NTP 877 severidad y probabilidad:

Entiéndase por severidad, el daño que puede causar la toxicidad de los nanomateriales (peligrosidad intrínseca) y por probabilidad el riesgo potencial a la exposición de los trabajadores a los nanomateriales.

En las siguientes figuras se muestran los resultados de ambos parámetros:

Figura 1 y 2. Severidad y probabilidad



Fuente: Elaboración propia

El 22,2% de los nanomateriales estudiados se encontraron con una severidad alta que incluye las zeolitas, el ZnO-Ag, el TiAg, el Óxido de Grafeno y el Óxido de Níquel y, a excepción de este último, en los demás casos fue común desconocer la información toxicológica del material padre. Con una severidad muy alta (11,1%;) se destacan los nanotubos de carbono con un puntaje de 86,5, por su pequeño tamaño de partícula (2-5nm) y la ausencia de información sobre sus propiedades toxicológicas, en cuyo caso se le asignaba la mayor puntuación según el método, acogiéndose al principio de precaución, con la adopción de las medidas más restrictivas.



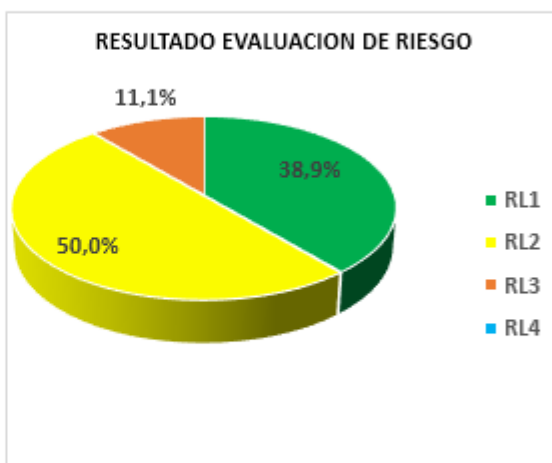


En cuanto a la probabilidad, se encontró que el 78% presenta poca probabilidad de riesgo potencial y el 17% arrojó valoración de probable.

En cuanto a la valoración global de los 14 nanomateriales, la cual incluye el cruce de las variables severidad y probabilidad, se obtuvo que el 50% de los nanomateriales se encuentra en nivel RL2 el cual sugiere control a través de campana de extracción localizada, el 39% se encuentra en el nivel RL1 el cual recomienda la ventilación general y el 11% se encontró en nivel de riesgo RL3 que sugiere utilizar el confinamiento como control de la exposición.

Figura 3. Nivel de riesgo – NTP 877

Laboratori	Nanomaterial	Nivel de Riesgo
Lab1	TiO2	RL2
	SiO2	RL2
	Zelite ZSM-5	RL2
	Ammonium	RL2
	Al2O3	RL1
	CeO2	RL1
	Nanotubos	RL3
Lab 2	Al2O3	RL1
	CuO	RL1
	Grafeno	RL2
	TiO2	RL1
	ZnO	RL1
	ZnO-Ag	RL2
	TiAg	RL2
	Nanotubos	RL3
	Óxido de grafeno	RL2
Lab3	Al2O3	RL1
	NiO	RL2
Lab 4	AgNPs	RL2

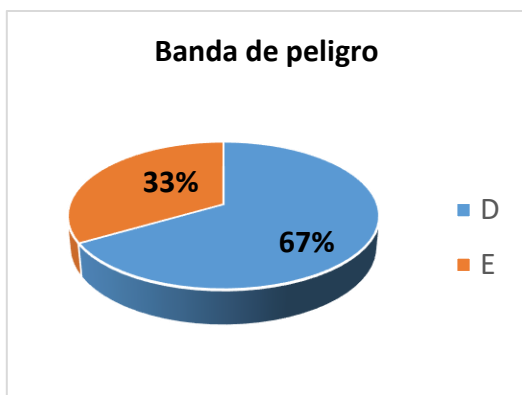




Método stoffenmanager nano:

Para obtener la banda de peligro, se valoraron factores como el tamaño de partícula, la concentración, las propiedades toxicológicas y las frases R y H. Los resultados mostraron que un 67% de los nanomateriales están en la banda D y un 33% en la banda E que es la de más alto peligro. (Fig.4)

Figura 4. Resultado Banda de Peligro Método Stoffenmanager nano



Fuente: elaboración propia

En cuanto a la banda de exposición, se encontró que el 100% de los nanomateriales se encuentran en la banda de exposición baja, puntuación de 1 de acuerdo con los parámetros establecidos por el método que hacen referencia al estado químico del nanomaterial, la fuente de emisión, el tipo de ventilación, la duración y la frecuencia de la tarea.

En cuanto al resultado de la valoración de la banda de control, la cual cruza las variables banda de peligro vs banda de exposición se obtuvo que el 67% de los nanomateriales se encontraron con un nivel de riesgo RL2, que se considera dentro de una banda de control con prioridad media y la cual sugiere controles de ingeniería; en este grupo se encuentran el TiO₂, Al₂O₃, el grafeno, entre otros. El 33% restante se ubicaron dentro





de la banda de control RL1 que indica prioridad alta indicando que la situación no está controlada y se requiere de asesoría con expertos, en esta categoría se encuentran los Nanotubos de carbono, ZnO-Ag, Oxido de Grafeno etc. No se obtuvo nanomateriales en la banda de control RL3, banda con prioridad baja. La figura 5 ilustra los resultados.

Figura 5. Resultado valoración Stoffenmanager Nano

Laboratorio	Nanomaterial	Banda de control
Lab 1	TiO ₂	RL2
	SiO ₂	RL2
	Zelite ZSM-5	RL2
	Ammonium	RL2
	Al ₂ O ₃	RL2
	CeO ₂	RL2
	Nanotubos	RL1
Lab 2	Al ₂ O ₃	RL2
	CuO	RL2
	Grafeno	RL2
	TiO ₂	RL2
	ZnO	RL2
	ZnO-Ag	RL1
	TiAg	RL1
	Nanotubos	RL1
	Óxido de grafen	RL1
Lab 3	Al ₂ O ₃	RL2
	NiO	RL1
Lab 4	AgNPs	RL2



Fuente: elaboración propia

Discusión

Como resultado de la aplicación de las dos metodologías, se observó que cuando se desconocen los datos de peligrosidad del nanomaterial, lo que aporta en buena medida a la puntuación de la severidad de la exposición a los nanomateriales es la morfología, el tamaño de partícula, así como la





información toxicológica del material padre, siendo el factor del que más información limitada se obtuvo.

La metodología Stoffenmanager nano, incorpora más variables para el análisis de la exposición laboral y pueden aportar información adicional sobre las medidas de control cerca y lejos del foco de emisión y equipos de protección individual. La categorización del riesgo podría estar relacionada con los efectos sobre la salud humana asociados con la exposición a nanopartículas en el lugar de trabajo, procesos de producción potencialmente peligrosos o consideraciones ambientales y del ciclo de vida del producto.

De acuerdo con lo expuesto, ambas metodologías valoran en riesgo alto a los **Nanotubos de carbono** debido a la morfología tubular monocapa o multicapa, siendo el agente químico con menor tamaño de partícula (1-3nm), cancerígeno y sin información toxicológica sobre su material padre, en segunda instancia los **Óxidos de zinc y plata (ZnO-Ag), el Titanio y plata (TiAg), y el Óxido de grafeno** constituyen también nanomateriales valorados como peligrosos debido al tamaño de partícula, la toxicología, el desconocimiento del carácter de carcinogenicidad y las condiciones de operación registradas.

En cuanto a la consolidación de la información para la aplicación de las metodologías, se encontraron imprecisiones y carencia de datos en el contenido de las hojas de seguridad de los nanomateriales estudiados; por lo que en muchos de los casos se optaba por escoger el parámetro de dato desconocido, el cual otorga un valor alto en la calificación.

Referencias bibliográficas

- (1) DIRK Lehmus, JAMES Njuguna, y MURALIDHARAN Paramsothy Futuristic Nanomaterials and Composites: Part I, p.2844 The Minerals, Metals & Materials Society. September 2 2015.





- (2) Robert-Sauvé. Nanomaterials and nanoparticles: guidance for nanomaterial risk management in the work place. Disponible en: <https://www.irsst.qc.ca/en/headlines/id/296/nanomaterials-nanoparticles-guidance-for-nanomaterial-risk-management-in-the-workplace>
- (3) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Nota Técnica de Prevención NTP 877 Evaluación del riesgo por exposición a nano partículas mediante el uso de metodologías simplificadas. 2011.
- (4) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas. Método Stoffenmanager nano 1.0. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/nanoparticulas+dc.pdf/b95129e0-a6d0-4d69-b521-a90d7cf5a355?t=1526651943459>

Otros materiales de apoyo utilizados:

- International Organization for Standardization ISO. Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects - - Nanoparticle, nanofibre and nanoplate - ISO/TS 27687:2008.. [Standard en Internet]. Agosto 2008. <https://www.iso.org/standard/44278.html> [Visitada el 23/10/2020]
- Norma NMX-R-12901-1-SCFI- Nanotecnologías - Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados 2015. México.
- NIOSH (2013): Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers, Current Intelligence Bulletin 65, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.





- NIOSH 2011, Occupational Exposure to Titanium Dioxide, Current Intelligence Bulletin 63, April 2011.
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/pdfs/2011-160.pdf>
- Red Nacional de Nanociencia y Nanotecnología Home Page
<http://rednanocolombia.org/index.htm> [Visitada el 15/10/2020]

