

Asociación entre la exposición ocupacional a nanopartículas y la incidencia de enfermedades respiratorias. La Habana

Association between occupational exposure to nanoparticles and the incidence of respiratory diseases. Havana

Armando David Martínez Rotella^{1,2*} <https://orcid.org/0000-0001-5816-7485>

Katia Agüero de la Torre^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-4578-6831>

Nancy Silvia Barroso Sosa^{1,2} <https://orcid.org/0009-0000-7509-3713>

Luana Argote Ravelo^{2,3} <https://orcid.org/0000-0002-8009-5497>

Santiago Álvarez Porben^{2,3} <https://orcid.org/0000-0002-9101-9692>

¹Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT). La Habana, Cuba.

²Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Cuba.

³Facultad de Ciencias Médicas “Julio Trigo López.” La Habana, Cuba.

* Autor para la correspondencia: amtnez@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: Los nanomateriales y, específicamente, las nanopartículas, se han expandido en varias esferas científicas y de producción en el mundo, sin embargo, se ha descrito (en investigaciones de laboratorio), los posibles efectos negativos al ambiente y las personas, principalmente en los aparatos respiratorio y cardiovascular, hígado, riñones y otros sistemas.

Objetivos: Determinar la posible asociación entre la exposición ocupacional a nanopartículas y el desarrollo de enfermedades respiratorias en trabajadores expuestos, caracterizar a los trabajadores según edad, sexo, hábitos tóxicos, ocupaciones, tiempo de exposición, tipo de nanopartículas e identificar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo.

Métodos: Se analizaron 21 trabajadores del Centro de Estudios Avanzados de Cuba y de Biomateriales de la Universidad de la Habana, efectuando examen médico especializado, evaluando los posibles daños y realizando: interrogatorio, examen físico, rayos X de tórax, pruebas funcionales respiratorias, exámenes de hematología y hemoquímica.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resultados: Los estudios fueron satisfactorios y cumplen con las normas de seguridad y salud en el trabajo no encontrándose evidencias de afectaciones a la salud por exposición a nanopartículas.

Conclusiones: Las muestras tomadas fueron en grupos de 36-50 años, del sexo femenino y ocupando la plaza de investigador. Los sujetos estudiados no fumaban ni ingerían bebidas alcohólicas; con antigüedad tanto en el puesto de trabajo como en exposición a nanopartículas, las muestras analizadas son de Sílice, Hierro y Titanio. Las pruebas funcionales respiratorias, los Rayos X de tórax y los exámenes de hematología resultaron normales. En este grupo no hay evidencia de afectaciones a la salud.

Palabras clave: nanomateriales; nanopartículas; salud de los trabajadores; seguridad y salud en el trabajo; exposición ocupacional; enfermedades respiratorias

ABSTRACT

Introduction: Nanomaterials and, specifically, nanoparticles, have expanded in various scientific and production spheres in the world, however, the possible negative effects on the environment and people have been described (in laboratory research), mainly in the respiratory, cardiovascular, liver, kidneys and other systems.

Objectives: Determine the possible association between occupational exposure to nanoparticles and the development of respiratory diseases in exposed workers in Havana, to characterize workers according to age, sex, toxic habits, occupations, exposure time, and type of nanoparticles and to identify the conditions of safety and health at work.

Methods: 21 workers from the Center for Advanced Studies of Cuba and Biomaterials of the University of Havana were analyzed, carrying out the specialized medical examination, evaluating possible damage and performing: interrogation, physical examination, chest X-rays, respiratory functional tests, hematology and hemochemistry tests.

Results: The studies were satisfactory, they comply with the occupational health and safety standards, and no evidence of health effects due to exposure to nanoparticles was found.

Conclusions: The samples taken were in groups of 36-50 years old, female and occupying the position of Researcher. The subjects studied didn't smoke or drink alcoholic beverages; with seniority both in the job and in exposure to nanoparticles, the samples analyzed are Silica, Iron and Titanium. The respiratory functional tests, chest X-rays and hematology examinations were normal. No effects on the health of exposed individuals were evident.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Keywords: nanomaterials; nanoparticles; workers' health; safety and health at work; occupational exposure; respiratory diseases

Recibido: 5 de junio de 2024

Aceptado: 10 de octubre de 2024

Editor a cargo: MSc. Belkis Lidia Fernández Lafargue.

Introducción

La producción científica mundial sobre nanociencias y nanotecnología ha manifestado un crecimiento exponencial durante los últimos 25 años. La tendencia del crecimiento de la producción nacional durante el siglo XXI ha sido relativamente similar a la mundial, Cuba, a partir de normativas internacionales, debe unificando criterios en cuanto a los procedimientos normativos y operacionales en el uso de nanopartículas (NPs) y la estricta vigilancia regulatoria, el control y limitar la exposición a estas sustancias, las que incluye los requerimientos para el uso de equipos de protección personal y controles operativos, y las emisiones al ambiente logarítmica. Más de 32 centros del país están implicados en la producción de productos nano.⁽¹⁾

La evolución durante los últimos años de la primera década del milenio, dan fe de una producción estable sobre los 40 artículos anuales, que anuncia un incipiente desarrollo de la investigación nacional. De las 12 instituciones cubanas más productivas, siete (58 %) se especializaron en el área de las nanotecnologías para aplicaciones estructurales, y la caracterización y obtención de nanoestructuras y nanoelementos, El resto se dedica a su aplicación en entornos biomédicos el desarrollo de nanosensores y nanoactuadores.⁽¹⁾

La nanotecnología es la manipulación de la materia a una escala casi atómica para crear nuevas estructuras, materiales y aparatos, abarca estructuras, aparatos y sistemas diseñados que tienen una escala de entre 1 y 100 nanómetros (nanoescala). Es la aplicación del conocimiento científico para controlar y manipular la materia en la nanoescala con el fin de hacer uso de las propiedades y los fenómenos dependientes de su tamaño y estructura, a diferencia de los asociados con átomos individuales o moléculas o con materiales a volumen.^(2,3,4,5)

Según el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (*NIOSH* por sus siglas en inglés), la utilización de la nanotecnología es un método novedoso que promete avances científicos en muchos sectores como la medicina, productos para el consumidor, energía, Los materiales de este tamaño presentan propiedades únicas que afectan las reacciones físicas, químicas y biológicas. Como ocurre con casi toda nueva tecnología, hay incertidumbre en las posibles afectaciones a la salud, siendo lo más probable es que la



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

exposición más temprana y extensa implique mayor riesgo asociado.^(2,3) En los sitios donde se trabaja con partículas nano deben constituir los más riesgosos, siendo los trabajadores que laboran en industrias relacionadas con la nanotecnología los que enfrentan una posible exposición a materiales únicos creados artificialmente con tamaños, formas y propiedades físicas y químicas novedosas, materiales y fabricación.⁽⁶⁾

Para la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el término nanomateriales hace referencia a aquellos materiales que tienen al menos una dimensión (altura, anchura o longitud) inferior a 100 nanómetros (nm) siendo un nanómetro la mil millonésima parte de un metro (10^{-7} metros), que corresponde aproximadamente al tamaño de una partícula vírica. Este tamaño peculiar es una de las principales características de los nanomateriales fabricados (NMF). Las propiedades singulares de los NMF pueden dar lugar a comportamientos muy deseables que los hacen aptos para aplicaciones tan variables como mejores pinturas, mejores fármacos o componentes electrónicos más rápidos. Sin embargo, por este mismo motivo, los nanomateriales fabricados también suponer peligros para la salud diferentes de los que conllevan los materiales micro/macros cópicos, y pueden necesitar métodos de evaluación del peligro, la exposición y el riesgo diferentes de los utilizados con estos últimos.⁽⁷⁾

La Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA, por sus siglas en inglés), declara que los nanomateriales son materiales que contienen partículas con una o más dimensiones entre 1 y 100 nm, una escala comparable a los átomos y las moléculas. Pueden ser naturales, como los procedentes de las emisiones volcánicas, o ser subproductos involuntarios de las actividades humanas, como los que muchos nanomateriales que se fabrican de forma intencionada y se comercializan, y en ellos se centra la atención actualmente. Agrega que, aunque los nanomateriales pueden formar aglomerados o agregados superiores en tamaño a 100 nm, éstos pueden descomponerse y liberar otros más pequeños. En consecuencia, los aglomerados y agregados han de tenerse en cuenta también en cualquier evaluación de riesgos relacionada con nanomateriales.⁽⁸⁾

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado directrices que contienen recomendaciones sobre la mejor forma de proteger a los trabajadores de los posibles riesgos de los nanomateriales fabricados. Dichas recomendaciones se destinan a ayudar a los planificadores de políticas y a los profesionales de la salud y la seguridad laborales a tomar decisiones sobre la mejor protección frente a posibles riesgos específicos de los nanomateriales fabricados en los lugares de trabajo. Asimismo, tienen por objetivo servir a los trabajadores y a los empleadores. Sin embargo, no están concebidas como un manual sobre la manipulación segura de los nanomateriales fabricados en el lugar de trabajo, dado que ello requeriría abordar cuestiones más generales de higiene laboral que están fuera del alcance de las presentes directrices. Está dirigido especialmente hacia las



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

pequeñas y medianas empresas y hacia los países de ingresos bajos y medianos. El documento pretende subsanar la falta de información precisa sobre las vías de exposición humana a nanomateriales y su capacidad para inducir efectos adversos en la salud.⁽⁹⁾

La estrategia sobre la nanotecnología de la Unión Europea (UE) está dirigida a alcanzar la demora de información de los Estados Unidos y Asia principalmente en el uso de este servicio. Los riesgos de salud propuestos por el uso comercial de nanomateriales han integrado recientemente hacia la agenda de la Comisión europea. Esta comisión no había visto la necesidad de pronunciarse en este sentido hasta el 2010, cuando se redacta una legislación específica sobre nanotecnología.⁽¹⁰⁾

Los peligros que entraña la manipulación de nanomateriales se deben a la elevada explosividad, inflamabilidad y potencial catalítico de algunos nanopulvos (nanomateriales en forma de polvo), en particular, los metálicos. Todos pueden tener una amplia gama de posibles efectos tóxicos, aunque el mismo material a escala macro no los tenga. Esto se debe a su pequeño tamaño, aunque también depende de la forma de la partícula, su naturaleza química, el estado de la superficie (Ej. área de la superficie, su funcionalización y tratamiento de la superficie), el estado de agregación/aglomeración, etc.^(9,10)

Los trabajadores pueden estar expuestos a través de tres vías: La inhalación es la forma más común de exposición; a medida que el aire pasa a través de la nariz pueden depositarse en las vías respiratorias y en los pulmones. Otra vía de ingreso es la ingestión directa; que se produce cuando los trabajadores pueden tener contacto involuntario entre las manos contaminadas y la boca o por la ingestión de partículas procedentes del aparato respiratorio y la piel, también es posible que algunos alimentos procesados contengan NPs incorporadas durante el proceso de elaboración. De igual forma se ha advertido que existen nanopartículas de dióxido de titanio, oro, plata, estaño y carbono, las cuales miden entre uno y 100 nanómetros, con las que se elaboran diferentes productos industriales y que tienen gran utilidad para producir y transportar fármacos, así como aditivos alimenticios, que cuando los consumimos oralmente dañan en el tracto digestivo y el colon.^(11,12,13,14)

Hay varios factores que afectan/tienen efecto en la exposición de los trabajadores a las nanopartículas:

- a) La concentración, la duración y la frecuencia de la exposición.
- b) La capacidad que tienen las nanopartículas de dispersarse fácilmente como polvo (p.ej., en forma de talco) o como gotas o aerosoles de transmisión aérea pueden causar una mayor exposición. Navarro, en su trabajo,⁽¹¹⁾ señaló además que las NPs pueden almacenarse en los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas y, posteriormente, ser internalizadas por las células de la epidermis. A partir de estos mecanismos de entrada, las NPs pueden transportarse fácilmente entre diferentes tejidos, luego trasladarse al sistema circulatorio, y, consecuentemente, a otros órganos. Por otra parte señaló que las NPs formadas por compuestos solubles



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

demonstraron ser citotóxicas debido a su disolución y facilidad para liberar iones metálicos. Por ejemplo, las NPs de ZnO son parcialmente solubles para liberar iones de Zn, lo que se ha demostrado como uno de los mecanismos de toxicidad inducida por las NPs de ZnO en células de mamíferos.

Los nanomateriales se distribuyen y acumulan principalmente en el hígado, los riñones, el bazo, el sistema nervioso central, la médula ósea y los ganglios linfáticos.^(10,11)

c) El uso de controles técnicos como medida de protección puede reducir la exposición de los trabajadores.

Las actividades relacionadas con el trabajo también pueden ejercer una influencia en la exposición del trabajador:

- 1- La manipulación activa de nanopartículas en forma de polvo dentro de sistemas no cerrados representa el mayor riesgo de exposición por inhalación.
- 2- Las actividades que causan la emisión de aerosoles de nanopartículas a partir de compuestos acuosos, suspensiones o soluciones constituyen un riesgo potencial de inhalación y exposición dérmica.
- 3- La limpieza y remoción de nanopartículas puede causar exposición si no se realiza adecuadamente.
- 4- El mantenimiento y limpieza de los sistemas de producción o de los sistemas de recolección de polvo puede generar exposición si se remueven las nanopartículas depositadas.
- 5- El trabajo mecánico, el lijado, la perforación u otros mecanismos de perturbación de materiales que contienen nanopartículas pueden ocasionar la aerosolización de las nanopartículas.⁽⁴⁾

La toxicidad de los nanomateriales fabricados depende en gran medida de numerosas propiedades fisicoquímicas, como la forma (siendo el tamaño en una de las tres dimensiones), la forma (siendo el tamaño una de las tres dimensiones), la composición, las características de su superficie, la carga o la velocidad de disolución. La OMS plantea que aún es escasa la información precisa sobre las vías de exposición humana, su destino en el organismo y su capacidad para producir efectos biológicos no deseados, como la generación de estrés oxidativo. Solo se cuenta con datos de estudios *in vitro*, en animales y en humanos, sobre la inhalación de muy pocos nanomateriales fabricados y no se han observado efectos adversos a largo plazo en la salud humana. Los estudios de laboratorio en animales han demostrado que ciertos tipos de nanopartículas, cuando son inhaladas, han provocado efectos adversos como inflamación y fibrosis en los pulmones y otros órganos de estos animales. En los seres humanos, en la actualidad, no se encontraron estudios sobre la exposición a las nanopartículas creadas artificialmente y su respuesta.⁽⁴⁾

En Cuba, la introducción de la nanotecnología también promete grandes beneficios sociales para muchos sectores económicos: la energía, la salud, la industria, las comunicaciones, la agricultura, los productos del consumidor, entre otros. En La Habana hay tres centros vinculados ya a estos proyectos: el Centro de Estudios



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Avanzados de Cuba (CEAC), el Centro de Biomateriales de la Universidad de La Habana (BIOMAT) y el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN).⁽¹⁴⁾ El estudio fue realizado con la participación del CEAC y de BIOMAT.

El CEAC, dedicado a las nanociencias y nanotecnología tiene investigadores y personal técnico que trabaja en esta actividad, específicamente en el departamento de Nanomateriales y en el grupo de Producciones Especializadas.

En cuanto a la exposición a nanomateriales, como nanopartículas, es prácticamente nula en la actualidad, porque se hace a pequeña escala con concentraciones muy ínfimas siendo muy poco probable el contacto de estos materiales con el cuerpo humano, ya sea por la vía buconasal (inhalación o ingestión) o absorción cutánea (piel, mucosas).

Se realizan evaluaciones de riesgos que incluirán, en un futuro, la aplicación el control de riesgos por bandas de control para evitar accidentes de trabajo o contaminación ambiental para futuras producciones que sí podrían ser a mayor escala.

Se trabaja en proyecto de investigación que incluye dentro de sus tareas la identificación el marco normativo y de buenas prácticas en materia de nanoseguridad en el mundo para adoptarlo en la institución y realizar la propuesta para implementación en el país. Fundamentalmente se están utilizando nanomateriales de hierro, plata, oro coloidal y dióxido de silicio.

BIOMAT, es un centro de investigación de la Universidad de La Habana y es una Entidad de Ciencia Tecnología e Innovación del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que desarrolla una intensa labor investigativa, que incluye la innovación tecnológica como su núcleo central en consonancia con las formas de trabajo científico más actuales y la política de gestión trazada por la dirección del centro. De esta forma, la actividad investigativa incluye desde la búsqueda de soluciones a problemas teóricos de las ciencias de los biomateriales, hasta la obtención de productos comercializables, y las investigaciones relacionadas con los sistemas de gestión y su manejo integrado. Los materiales que se utilizan mayormente en estos momentos son: NPs poliméricas y magnéticas, biocerámicas de fosfatos de calcio, composites (con rellenos óxidos de silicio, cinc, titanio) todos de naturaleza inorgánica.

En ambos centros se cumplen las normas de seguridad y salud en el trabajo, pues se manipulan los productos bajo campañas de extracción, utilizan su ropa adecuada, así como mascarillas y guantes y se garantiza una adecuada higiene y la no ingestión de alimentos entre otras medidas.

El objetivo del estudio fue determinar la posible asociación entre la exposición ocupacional a nanopartículas y el desarrollo de enfermedades respiratorias en trabajadores expuestos, caracterizar a los trabajadores según



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

edad, sexo, hábitos tóxicos, ocupaciones, tiempo de exposición, tipo de nanopartículas e identificar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo.

Métodos

Se realiza un estudio transversal longitudinal, con una muestra integrada por 12 trabajadores de BIOMAT y nueve del CEAC, teniendo en cuenta los siguientes criterios de inclusión: trabajadores directos en la producción en ambos centros con exposición a nanomateriales, aceptación de participar en el estudio (con firma del consentimiento informado), trabajadores sanos con $\geq$ dos años de exposición. Los criterios de exclusión fueron: padecer enfermedades crónicas, trabajadoras gestantes y/o cualquier otra dolencia que pueda introducir sesgos.

Estos trabajadores fueron ingresados en la sala de enfermedades profesionales del Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT) para la realización del examen médico especializado y se les realizaron las evaluaciones de las diferentes especialidades médicas, teniendo en cuenta las posibles afectaciones en el organismo humano por la exposición laboral a las nanopartículas, se indicaron los siguientes complementarios: rayos X de tórax, pruebas funcionales respiratorias, exámenes de hematología y de hemoquímica (Glicemia, Urea, Ácido úrico, Creatinina, TGP, TGO, GGT y Lipidograma) y Ultrasonido diagnóstico (US).

Todos los trabajadores firmaron el consentimiento informado una vez que se les realizó la historia clínica, cumpliendo así con los principios éticos de las investigaciones con seres humanos.

Para conocer las condiciones de seguridad y salud en el trabajo (SST), fueron entrevistados directivos de ambas instituciones y los trabajadores evaluados, indagando por las características y condiciones laborales, uso de equipos de protección personal (EPP) así como el empleo de buenas prácticas en el manejo de las NPs.

Los datos registrados en las historias clínicas, fueron transferidos a una base de datos en SSPS versión 23, para su procesamiento y análisis. Se muestran los resultados en tablas expresados en términos porcentuales.

Resultados

En la tabla 1 se observan las variables demográficas estudiadas con predominio del rango de edad comprendido entre 36 y 50 años, con distribución equitativa por sexos y mayor cantidad de investigadores. La mayoría del personal estudiado declaró no ser fumados ni ingerir bebidas alcohólicas.

Tabla 1. Variables sociodemográficas



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Grupos de edades	No	%
25-35	6	28,6
36-50	10	47,6
51-60	2	9,5
Más de 60	3	14,3
Sexo	No	%
Masculino	10	47,6
Femenino	11	52,4
Clasificación ocupacional	No	%
Investigador	11	52,4
Profesor	5	23,8
Tecnólogo	5	23,8
Fumador	No	%
SI	4	19,0
NO	17	81,0
Bebidas alcohólicas	No	%
SI	3	14,3
NO	18	85,7

Fuente: Base de datos de la investigación.

En lo relativo a las variables laborales y de exposición, se observó que predominó la antigüedad laboral mayor de cinco años, mientras que la exposición ocupacional a nanopartículas fue mayoría entre los investigadores que laboran hasta cuatro horas y los propios investigadores y tecnólogos que tienen ocho horas o más de exposición. Se encontraron siete tipos de nanopartículas a las que están expuestos, siendo mayoría en los casos de sílice, hierro, zeolita y titanio.

Tabla 2. Variables laborales y de exposición



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Relación ocupaciones /tiempo de trabajo								
Ocupaciones	Tiempo de trabajo							
	2-3 años		4-5 años		Más de 5 años			
	No	%	No	%	No	%		
Investigador	1	4,7	3	14,3	8	38,1		
Profesor	0	0	0	0	3	14,3		
Tecnólogo	1	4,7	3	14,3	2	9,5		
Total	2	9,4	6	28,6	13	61,9		
Relación ocupaciones/tiempo de exposición								
	≤ 4 horas		5-8 horas		≥8 horas		Total	
	No	%	No	%	No	%	No	%
Investigador	5	23,8	3	14,3	4	19,0	12	57,1
Profesor	1	4,7	2	9,5	0	0	3	14,3
Tecnólogo	0	0	1	4,7	5	23,8	6	28,6
Sub total	6	28,6	6	28,6	9	42,8	21	100
Nanopartículas de exposición								
Nanopartículas			No			%		
Sílice			14			66,7		
Hierro			14			66,7		
Zeolita			11			52,4		
Titanio			11			52,4		
Plata			7			33,3		
Oro coloidal			7			33,3		
Carboxilato			5			23,8		

Fuente: Base de datos de la investigación.

En lo concerniente a los exámenes médicos, la mayoría obtuvo resultados dentro de los parámetros normales en las pruebas de hemoquímica, mostraron normalidad en el ultrasonido diagnóstico y entre los antecedentes patológicos personales declarados hubo ligera mayoría entre los hipertensos y asmáticos. Teniendo en cuenta estos resultados, se declararon cinco trabajadores como aptos para este tipo de trabajo, mientras que los restantes 16 se consideraron aptos con recomendaciones.

Tabla 3. Resultados de las pruebas y exámenes médicos

Hemoquímica	No	%
Normales	18	85,7
Patológicos	3	14,3
Totales	21	100
Ultrasonido diagnóstico	No	%
Normal	17	81,0
Patológico	4	19,0
Antecedentes patológicos	No	%
Sanos	4	19,0
Hipertensión arterial	6	28,6
Asma bronquial	5	23,8
Migraña	2	9,4
Otros	5	23,8
Total	21	100
Criterio de aptitud laboral	No	%
Aptos	5	23,8
Aptos con recomendaciones	16	76,2

Fuente: Base de datos de la investigación.

En cuanto a la seguridad y salud en el trabajo, en ambos centros laborales la exposición a nanomateriales es prácticamente nula en la actualidad, porque se hace a pequeña escala con concentraciones muy ínfimas donde es



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

muy poco probable el contacto de estos materiales con el cuerpo humano, ya sea por la vía buconasal (inhalación o ingestión) o absorción cutánea (piel, mucosas). Además al ser entrevistados los trabajadores objeto de estudio, refirieron además que trabajan bajo campanas de extracción en muy buenas condiciones que también evitan el contacto directo con estas materias primas.

Discusión

La mayoría de los trabajadores estudiados no son fumadores, condición que se considera importante dado que se evitan afecciones respiratorias que puedan influir y/o agravar los cambios causados por la exposición a nanopartículas señalados por algunos autores.^(4,12,13,14) Igualmente la presencia de una mayoría sin hábito de ingestión de bebidas alcohólicas descarta posibles afecciones hepáticas que pudieran influir en cambios debidos a la exposición por nanopartículas.^(4,12,13,14)

En el caso del examen físico, las pruebas funcionales respiratorias, los rayos X de tórax y los exámenes de hemoquímica, se encontraron resultados normales en la mayoría o totalidad, los que difiere de los estudios de Existen autores que han señalado las afectaciones sobre todo en el aparato respiratorio por la exposición a las nanopartículas^(13,14,15,16) y de trabajos publicados en la *EU-OSHA* y la Comisión Europea, que señalaron las posibles alteraciones en los estudios de la química sanguínea por exposición a nanomateriales.^(10,11)

Conclusiones

Las muestras de los trabajadores estudiados fueron la mayoría en grupos de 36-50 años, del sexo femenino y ocupando la plaza de investigador. En mayor número de los sujetos evaluados no fumaban ni ingerían bebidas alcohólicas; Los investigadores son los de mayor tiempo laboral así como del tiempo de exposición a NPs, las mayores exposiciones fueron a sílice, hierro, zeolita y titanio. Las afectaciones a la salud encontradas en el grupo de estudio fueron mínimas y no pueden relacionarse con la exposición a nanopartículas. No obstante, se emitieron criterios de aptitud con recomendaciones a las administraciones y equipos de salud y seguridad en el trabajo.

Recomendaciones



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuando las condiciones así lo permitan, se debe ejecutar una investigación más exhaustiva para evaluar las condiciones de trabajo y exposición y garantizar la calidad de vida de los trabajadores expuestos a las nanopartículas.

Referencias bibliográficas

- 1- Dayán Aguiar J, Arencibia Jorge R, Araujo Ruiz JA, Alba Labaut D. Producción Científica Cubana sobre Nanociencias y Nanotecnología. Ciencias de la Información. 2012 [acceso 20/05/2024];43(1):5-14. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:142556912>
2. Health Canada. Policy Statement on Health Canada's Working Definition for Nanomaterial. Government of Canada. Mayo 2011 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/science-research/reports-publications/nanomaterial/policy-statement-health-canada-working-definition.html>
3. SCENIHR. Scientific Basis for the Definition of the Term "nanomaterial". European Commission, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks 2010. Diciembre 2010 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_032.pdf
4. ISO. Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate - ISO/TS 27687:2008. International Organization for Standardization. Agosto 2008 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/44278.html>
5. OECD. Report of the Questionnaire on Regulatory Regimes for Manufactured Nanomaterials 2010-2011. OECD Environmental Health and Safety Publications, Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials. Septiembre 2014 [acceso 20/05/2024];ENV/JM/MONO28(42). Disponible en: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2014\)28&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2014)28&doclanguage=en)
- 6- CDC e Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (NIOSH). Nanotecnología. Departamento de Salud y Servicios Humanos. Centros para Control y Prevención de Enfermedades, publicación No. 2008-112, 2008. Modificada el 30 de junio de 2017 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/topics/nanotecnologia.html>
7. Organización Internacional del Trabajo (WHO, por sus siglas en inglés). Department of Public Health.Environmental and Social Determinants of Health. WHO guidelines on protecting workers from



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- potential risks of manufactured nanomateriales. Geneva: World Health Organization. 2017 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: https://www.who.int/occupational_health/publications/manufactured-nanomaterials/en/
8. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA). Los nanomateriales en el sector de la asistencia sanitaria: riesgos profesionales y su prevención. 2014 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <http://osha.europa.eu/es/publications/e-facts-73>
9. Asociación Española de Higiene Industrial. Directrices de la OMS para proteger a los trabajadores de los riesgos de exposición a nanomateriales. 2018 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: www.aehi.es/2018/01/10765/
10. CE. Directiva 2004/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo (sexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE. 2004 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <http://eurex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:EN:HTML>
11. Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA). E-Facts 74. Los nanomateriales en el trabajo de mantenimiento: riesgos profesionales y su prevención. 2017 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/tools-and.../e-facts/e-fact-74-nanomaterials-in.../view.pdf>
12. Comisión Europea (CE). Tipos de nanomateriales y sus usos, incluidos los aspectos de seguridad. Documento de trabajo de los servicios de la Comisión que acompaña a la Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo y el Comité Económico y Social Europeo sobre la segunda revisión del marco reglamentario en relación con los nanomateriales. SWD. 2012 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
13. NIOSH. Current strategies for engineering controls in nanomaterial production and downstream handling processes. Cincinnati. 2014 [acceso 20/05/2024];(102). Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2014-102/pdfs/2014-102.pdf>
14. Navarro S, Meza D, Soto D, Castañeda B, Pedroza M M. Nanopartículas: efectos en la salud humana y el medio ambiente. Epistemus (Sonora). Ene/jun 2021;30(15). DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.166>
15. Verbeek J, Mihalache R. Valores límites de exposición para nanomateriales. NIOSH- CDC 2017 [acceso 20/05/2024]. Disponible en: <https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2017/02/01/nano-oels/>
16. Gutiérrez González L, Hernández Jiménez MJ, Molina Borchert L. Daños para la salud tras exposición laboral a nanopartículas. Rev. Med. Segur. Trab 2013 [acceso 20/05/2024];59 (231). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4321/S0465-546X2013000200007>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Curación de datos: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Nancy Silvia Barroso Sosa, Luana Argote Ravelo, Santiago Álvarez Porben.

Análisis formal: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Investigación: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Nancy Silvia Barroso Sosa, Luana Argote Ravelo, Santiago Álvarez Porben.

Metodología: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Administración de proyecto: Armando David Martínez Rotella.

Supervisión: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Validación: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Visualización: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Redacción - borrador original: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.

Redacción - revisión y edición: Armando David Martínez Rotella, Katia Agüero de la Torre, Luana Argote Ravelo.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)