

Fundación
Científica y
Tecnológica



ACHS

**ESTUDIO EXPLORATORIO DE HIGIENE INDUSTRIAL EN
AMBIENTES DE TRABAJO DONDE SE PRODUCEN O UTILIZAN
NANOPARTÍCULAS**

Investigadores:

Rómulo Zúñiga,
Ximena Blamey
Edgar Mosquera
Leonardo Ahumada

Santiago, abril 2013

Este proyecto fue realizado con el financiamiento de la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica, FUCYT.

Índice

Resumen	3
1. Introducción	4
2. Marco teórico	5
Nanotecnología y partículas ultrafinas	5
Aplicaciones comerciales de la nanotecnología	5
Riesgos potenciales de las nanopartículas	7
Regulación de la exposición ocupacional a nanopartículas	8
Evaluación cuantitativa de la exposición a nanopartículas en aire	10
Evaluación cualitativa de la exposición a nanopartículas en aire	11
3. Metodología	12
4. Resultados	13
Situación de la Nanotecnología en Chile	13
Evaluaciones cualitativas	14
Evaluaciones cuantitativas	16
5. Discusión	27
6. Conclusiones	29
7. Bibliografía	32
8. Anexos	34

RESUMEN

Se realiza un estudio exploratorio con los objetivos de identificar empresas que produzcan o manipulen nanopartículas en Chile, evaluar los riesgos para la salud de estas actividades y entregar recomendaciones para su control. Se encontró que la nanotecnología está en una etapa incipiente, con un reducido número de aplicaciones en procesos industriales, concentrándose el desarrollo y aplicación principalmente en centros de investigación de las universidades, donde los investigadores y estudiantes son el principal grupo de potenciales expuestos. Para evaluar la exposición en las empresas e instituciones identificadas se utiliza un método cualitativo simplificado y un método cuantitativo que se basa en las técnicas tradicionales de higiene ocupacional complementadas con la caracterización de las nanopartículas mediante microscopía electrónica. Se evalúa la exposición a nanopartículas de cobre, carbonato de calcio y partículas ultrafinas de humos de soldadura. La metodología de evaluación cualitativa, si bien requiere algún grado de acondicionamiento, demostró ser una herramienta particularmente útil para definir sistemas de protección en el caso de las nanopartículas, cuya toxicidad es incierta y de las cuales no se tienen establecidas técnicas de medición ni límites permisibles. Los métodos de medición tradicionales de la higiene industrial no entregan la información suficiente para evaluar la exposición, debiendo ser complementados con microscopía electrónica para caracterizar el tamaño y composición química, parámetros claves en la toxicidad de las nanopartículas. El trabajo realizado entrega una base de información y conocimiento que se estima útil para evaluar el riesgo de exposición en aplicaciones que pudieran surgir en el contexto actual del desarrollo de la nanotecnología en nuestro país.

Palabras clave

Nanotecnología, nanopartículas, nanomateriales, higiene industrial, evaluación cualitativa, evaluación cuantitativa, toxicidad, partículas ultrafinas

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace aproximadamente una década, la nanotecnología se está desarrollando en forma creciente, siendo calificada de “revolución tecnológica”. Para los próximos años, se espera la aparición de un gran número de productos y aplicaciones y, por consecuencia, de procesos industriales con trabajadores expuestos a nanopartículas, sustancias cuyos riesgos para la salud son actualmente desconocidos o inciertos. Esta preocupación ha motivado, principalmente en Estados Unidos y Europa, a organismos de consumidores¹, de medio ambiente² y de salud ocupacional³, a destinar importantes recursos al estudio de los efectos de las nanopartículas sobre la salud y el medio ambiente.

En el presente trabajo, se explora el desarrollo de la nanotecnología en nuestro país, se revisan los últimos hallazgos sobre la toxicidad de las nanopartículas, se aplican metodologías cualitativas y cuantitativas para identificar y evaluar la exposición a nanopartículas en ambientes de trabajo y se entregan recomendaciones para minimizar los riesgos de la exposición ocupacional.

¹ Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER)

² The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

³ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

2. MARCO TEÓRICO

Nanotecnología y partículas ultrafinas

Se denomina nanotecnología a los procesos de producción o aplicación de partículas de reducido tamaño, entre 1 a 100 nm⁴, que se utilizan para la fabricación de materiales nuevos o con propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, ópticas, etc., significativamente superiores al mismo material fabricado con partículas de tamaño normal.

Los métodos de producción de nanopartículas se clasifican en “Top down” y “Bottom up”. En el primero, las nanopartículas se producen por reducción de una estructura mayor, por ejemplo mediante molienda o técnicas de litografía; en el segundo, se producen a partir de moléculas que se unen mediante procesos en fase gas, como la pirólisis o vaporización-condensación, o procesos en fase líquida, como precipitación y sol-gel.

Las nanopartículas de mayor uso son los óxidos metálicos, como el dióxido de titanio (TiO₂) y el óxido de cinc (ZnO); metales, como la plata (Ag) y el oro (Au); nanotubos, principalmente de carbón (NTC), y dióxido de silicio (SiO₂) [1].

El negro de humo, los humos de diesel o los humos metálicos de procesos como soldadura, también contienen partículas de tamaños en el rango de las nanopartículas; pero, para distinguirlas de éstas, se las identifica con el nombre de “ultrafinas”, por el hecho de que no son producidas con el fin de lograr propiedades especiales, sino que se generan como subproducto de un proceso.

Aplicaciones comerciales de la nanotecnología

A nivel mundial, la nanotecnología se percibe como un sector cuyo desarrollo puede producir grandes beneficios económicos y sociales, lo que ha llevado a los gobiernos a invertir, durante la última década, crecientes sumas de dinero en investigación y desarrollo. Estados Unidos, primer país en establecer un programa de inversión en nanotecnología, partió el año 2001 con US\$105 millones y para el año 2013 tiene presupuestado, aproximadamente, US\$1800 millones. La producción de publicaciones científicas de primer nivel es del orden de 20.000 al año y entre el 2005 y 2009 se registraron del orden de 13.000 patentes [21].

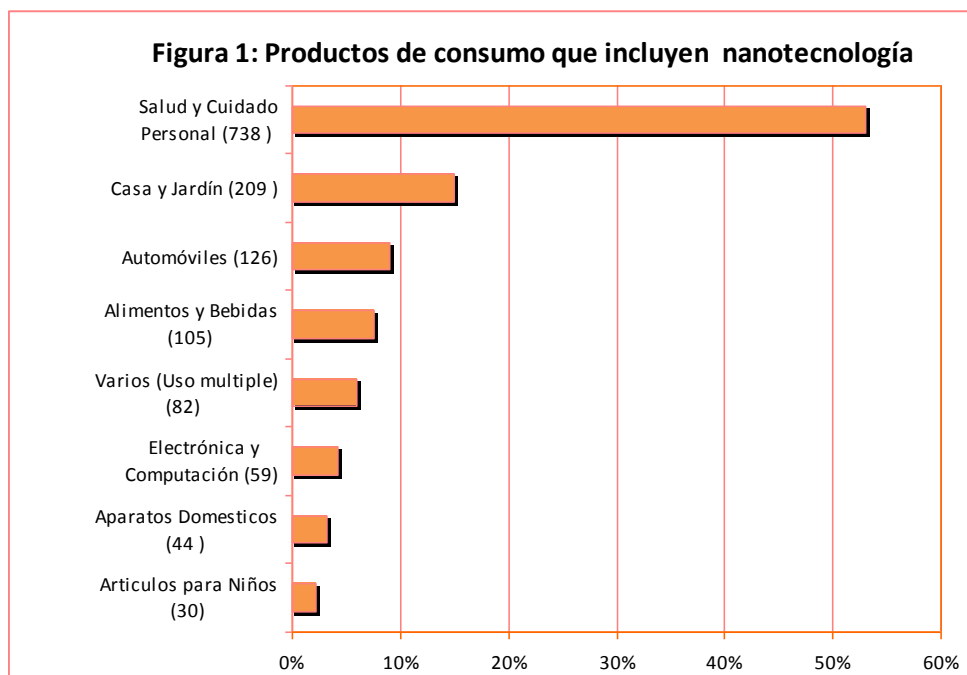
En la Figura 1 se presenta un gráfico en el que se ordenan los bienes de consumo que incluyen nanotecnología según las categorías que se definen en la base de datos de Nanotechnology Project [1], que registra un total de 1288 productos⁵ parte de las cuales se comercializan en los mercados de USA (587 productos), Europa (367 productos), Este de Asia (261 productos) y otros⁶ (73 productos). 53 % corresponde a productos que se clasifican en la categoría de Salud y Cuidado Personal, le sigue la categoría Casa y Jardín, con un 15 %, y luego Automóviles con un 9 %.

⁴ nm: Nanómetro, equivale a 10⁻⁹ metros.

⁵ La diferencia entre este total y el que corresponde a la Figura 1, se debe a que en la base de datos original algunos productos están repetidos.

⁶ Australia, Canadá, México, Israel, Nueva Zelanda, Malasia, Tailandia, Singapur y Filipinas

Entre los productos de la categoría Cuidado Personal y Salud, se encuentran cosméticos como la Crema facial Zelens Fullerene C-60, de la empresa Zelens, que incorpora Fullerenos, nano-estructuras compuestas de 60 átomos de carbono, que le confieren a la crema características antioxidantes; vestuario como las calcetas a prueba de olores de la empresa NanoHorizons, que en su tejido incluye nanopartículas de plata que le proporcionan resistencia permanente a los olores y hongos; artículos deportivos como CNT Bat de las empresas Easton Sports y Zyvex, construido en base a nanotubos de carbón y los protectores solares transparentes como los Z-Cote, que incluye nanopartículas de óxido de cinc, y T-Cote, que incluye nanopartículas de dióxido de titanio, desarrollados por la firma Applied Therapeutics.

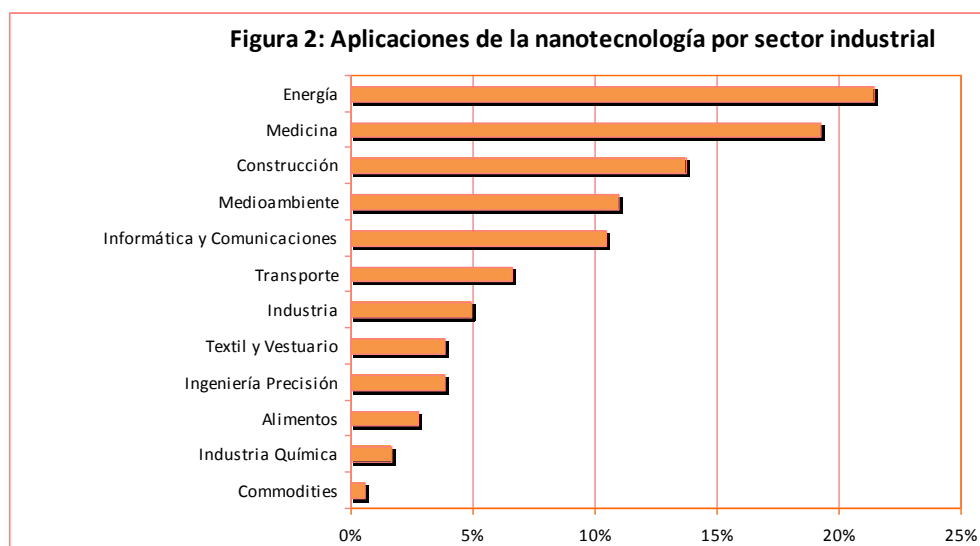


En la categoría Casa y Jardín, se encuentran una serie de productos que incluyen nanopartículas de plata como agente contra la proliferación de hongos, bacterias y olores, tales como un filtro purificador de aire, Air Purifier, Dr. Mobile de la compañía Airo Co. Ltda., toallas de algodón de la empresa AgActive y cojines de espuma, Contour-Foam™ Silver Back-Support Pillow de la empresa Sharper Image®.

Entre los productos de la categoría Automóviles, se tiene un filtro de aire, el Ea Air Filters de la compañía AMSOIL, que utiliza nanofibras sintéticas en reemplazo de la celulosa para obtener un mayor rendimiento y duración. En la categoría Varios se incluyen pinturas anti graffiti de la empresa Víctor Castaño, que utiliza nanopartículas de sílice para conferirle a la superficie la característica de repelente al agua y al aceite; en la categoría Alimentos y Bebidas, se ofrece un aceite comestible, Canola Active Oil de la industria Shemen, que incorpora miscelas a escala nano que sirven como vehículo para transportar los nutrientes que son insolubles en agua o grasas; en la categoría Aparatos se encuentra un taladro DeWalt portátil cuyas pilas están basadas en nanocristales de un fosfato desarrollado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge; y en la categoría Electrónica y Computación se tiene el iPod Nano de Apple que incorpora chips de memoria que utilizan semiconductores que han sido

construidos con precisión de menos de 100 nanómetros.

Una clasificación distinta de las aplicaciones anteriores es realizada por Nanowerk [2], comité dirigido a educar, informar y promover la nanociencia, nanotecnología y otras tecnologías emergentes. En esta clasificación se destaca el sector industrial que utiliza o aplica nanotecnología, pero no orientada al bien de consumo. En la Figura 2 se presenta un resumen de los sectores según el número de aplicaciones registradas en su base de datos. El mayor número se registra en el sector de Energía, donde se destacan las que se relacionan con el desarrollo de baterías, luego sigue Medicina, donde la mayoría de las aplicaciones están enfocadas al diagnóstico y suministro de drogas, después está Construcción, donde destacan los materiales de construcción, le siguen Medio Ambiente, donde la mayoría de las aplicaciones corresponde a medios de filtración y productos para descontaminación in situ, e Informática y Comunicaciones, donde destaca el desarrollo de transistores a escala nano.



Riesgos potenciales de las nanopartículas

Las vías respiratorias son la principal ruta de exposición a nanopartículas suspendidas en el aire. Al ser inhaladas, las nanopartículas se deberían depositar mayoritariamente en el pulmón, pero su tendencia a aglomerarse haría que también se depositen en distintos sectores del tracto respiratorio influyendo en su toxicidad. Por otro lado, dado su reducido tamaño, también podría ser importante el ingreso a través de la piel. Los datos disponibles indican que algunas nanopartículas insolubles pueden pasar a través de diferentes barreras de protección del organismo y distribuirse en el cuerpo acumulándose en algunos órganos como pulmones, cerebro, hígado, riñones, piel y al interior de las células.

En la bibliografía revisada, no se encuentra evidencia del efecto tóxico de las nanopartículas en seres humanos. La mayoría de los estudios corresponden a experiencia con animales e información epidemiológica del comportamiento de partículas ultrafinas. Un objetivo común de los investigadores es establecer si la toxicidad de una partícula a escala nanométrica es significativamente diferente, en su comportamiento o gravedad, respecto de la acción tóxica conocida de esa misma

partícula a tamaños mayores. El cambio que se genera en las propiedades químicas y físicas de las partículas y su reducido tamaño, que les permite ingresar al interior de las células, son las características que pueden conferirle mayor toxicidad a una partícula nano que a su correspondiente de tamaño "normal".

Entre las partículas cuya toxicidad ha sido más estudiada se encuentran el dióxido de titanio, los nanotubos de carbón y las partículas ultrafinas derivadas de los humos del diesel.

Las partículas de dióxido de titanio, TiO_2 , de tamaño normal, como las del pigmento utilizado en la fabricación de pinturas, están consideradas como inertes y no tóxicas para el organismo, incluso se utilizan en medicamentos de administración oral y como colorante de alimentos [3]. Sin embargo, a escala nano, Oberdörster [4], uno de los autores más citados en este campo, experimentando con ratas encontró un aumento significativo en los signos de inflamación de tejidos del pulmón al comparar el comportamiento de partículas de 20 nm de TiO_2 con la misma masa de partículas pero de tamaño 250 nm. Warheit et al [5], investigaron en pulmones de ratas la toxicidad de partículas de TiO_2 de distintos tamaños y características superficiales, encontrando respuestas distintas en el grado de inflamación, en la citotoxicidad y en el daño causado al tejido pulmonar, no solo por la diferencia de tamaño, sino que también debido a las diferencias en la estructura cristalina del TiO_2 . Por otra parte, la IARC [6] en el año 2006 clasificó al TiO_2 como sospechoso de causar cáncer en humanos.

Por su creciente uso, los nanotubos de carbón han sido objeto de numerosos experimentos para verificar su comportamiento toxicológico. Lam et al. [7] mediante estudios histopatológicos del pulmón de monos, comparó el comportamiento toxicológico de nanotubos de carbón, negro de humo y cuarzo, encontrando que solo los primeros produjeron granulomas, respuesta incluso más grave que la observada con el cuarzo que, en las dosis investigadas, solo generó inflamación. La mayoría de los investigadores señalan que la forma de fibra de los nanotubos, al igual que en el caso del asbesto, sería la principal causa de su toxicidad.

Un resultado que respalda la posición de atribuir mayor toxicidad a las partículas más finas, corresponde a experimentos realizados con humos de Politetrafluoroetileno [8] (PTFE o Teflón), formado por partículas de 26 nm de diámetro medio. Cuando se expusieron ratas a humo de PTFE después de 20 a 30 minutos de generado, se observó que producía hemorragia pulmonar, edema y muerte; no obstante, cuando la exposición se realizó después de un tiempo mayor se observó una menor toxicidad y no se produjeron muertes. Esta diferencia se atribuye al hecho de que las partículas se van aglomerando, por tanto aumentando de tamaño, y cambiando su química superficial.

Por otra parte, estudios epidemiológicos de la exposición de trabajadores de minas a humos de diésel, cuyos tamaños van de 100 nm a 5 micras, han demostrado su incidencia en el aumento del cáncer al pulmón [9], lo cual puede atribuirse a la presencia de nanopartículas.

Regulación de la exposición ocupacional a nanopartículas

La producción actual de materiales en base a nanotecnología es pequeña si se compara con la correspondiente al producto tradicional; no obstante, debido a que se está

desarrollando una amplia gama de productos nuevos y materiales con propiedades significativamente mejoradas, es razonable esperar un aumento sustancial en la masa de trabajadores expuestos a distintos tipos de nanopartículas, agentes químicos cuya toxicidad es desconocida o incierta para el ser humano, en relación con la influencia del tamaño.

La falta de evidencia científica sobre la potencial toxicidad de los nanomateriales en los ambientes de trabajo no ha permitido el establecimiento de límites específicos de exposición para nanopartículas. En los países con mayor desarrollo, los organismos relacionados con la seguridad y salud mantienen distintos proyectos de investigación para evaluar el impacto de los nanomateriales en la salud humana y el medio ambiente; sin embargo estos estudios requieren de largos periodos de tiempo, lo que no ha permitido dar respuesta a las inquietudes que plantea el rápido desarrollo de los procesos de producción y uso de los nanomateriales.

Un intento por establecer un límite específico para partículas ultrafinas se encuentra en borrador publicado el año 2005, para consulta pública, por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) [10]. En este documento se recomienda un límite de $1,5 \text{ mg/m}^3$ para partículas finas de dióxido de titanio y de $0,1 \text{ mg/m}^3$ para partículas ultrafinas, como concentración promedio ponderado de un turno de 8 horas de nuestras tomadas como polvo respirable, con el objetivo de reducir el riesgo de cáncer. Llama la atención que en años posteriores, las publicaciones de este organismo u otros afines no hacen mención del citado documento. Actualmente, Bayer [11] para su proceso de producción de nanotubos de carbón (Baytubes) ha adoptado en forma voluntaria un límite de $0,05 \text{ mg/m}^3$.

El Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, (IFA) [12], para la evaluación de sistemas de control, propone utilizar como límite de referencia una concentración de 20.000 (partículas/cm³) para nanopartículas de metales, óxidos de metales y otros materiales bio persistentes con densidad mayor a 6 g/cm^3 y de 40.000 (partículas/cm³) para los materiales con densidad menor a 6 g/cm^3 . Estos límites se definen en base a obtener la concentración másica promedio ponderado de 8 horas de la fracción respirable, de la cual se calcula el número de partículas a partir de su densidad y diámetro, datos que es necesario conocer.

Por otra parte, NIOSH ha creado un equipo de investigación para evaluar procesos industriales, materiales y tecnologías de control asociadas a la nanotecnología, y realizar evaluaciones en los ambientes de trabajo de las empresas, con riesgo potencial a la exposición laboral, de una serie de nanomateriales [13]. Además, publicó el documento "Approaches to Safe Nanotechnology", con el objetivo de crear conciencia sobre temas de seguridad y salud ocupacional asociados a la nanotecnología, hacer recomendaciones de salud ocupacional y seguridad para mejores prácticas en la producción y uso de nanomateriales, promover el diálogo entre NIOSH y sus contrapartes en los ámbitos de industriales, de trabajadores y de académicos, dar respuesta y guías a la autoridad de salud y seguridad e identificar brechas de información y áreas para estudios e investigaciones futuras [14].

El Department of Energy Nanoscale Science Research Centers publicó una guía, de carácter no obligatorio, para sus centros de investigación en nanotecnología, en la cual se recomiendan prácticas apropiadas para el manejo ambiental, seguridad y salud,

relacionadas con procesos a escala de laboratorio que involucren el diseño, síntesis o caracterización de nanomateriales [15].

Por su parte, la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) [16] creó una mesa o comité para asistir a los países miembros en la implementación de políticas que garanticen el uso responsable de la nanotecnología. Principalmente, el programa implementado mantiene bases de datos con información sobre investigaciones de la seguridad de nanomateriales, facilita la cooperación entre países sobre aspectos reglamentarios y estrategias de análisis de riesgos y desarrolla guías para medir y mitigar las consecuencias potenciales de la exposición en los ambientes de trabajo, los consumidores y el medio ambiente.

El Institut de Recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) [17], publicó un informe donde se revisa la información existente hasta el año 2007 sobre tóxico cinética y efectos en la salud de las nanopartículas según la vía de exposición. Los compuestos considerados son: Fullerenos, nanotubos de carbón, partículas orgánicas e inorgánicas y "puntos cuánticos" (nano cristales de átomos artificiales). Se concluye que todavía el conocimiento de los efectos tóxicos de las nanopartículas es limitado; no obstante, los datos disponibles indican que algunas nanopartículas insolubles pueden atravesar diferentes barreras de protección y llegar a órganos como el corazón, pulmones, riñones, cerebro e incluso al interior de la célula. Entre los factores que influyen en la toxicidad se encontraron: el tamaño, número de partículas, forma, estructura cristalina, tendencia a aglomerarse, reactividad superficial, composición química y solubilidad. Los efectos tóxicos observados en animales y las características fisicoquímicas de las nanopartículas hacen que, con un criterio preventivo, se justifique la inmediata aplicación de todas las medidas necesarias para limitar la exposición y proteger la salud de los individuos potencialmente expuestos. En este contexto la introducción de estrictos procedimientos de prevención es la única forma de prevenir el riesgo de enfermedades profesionales en investigadores y estudiantes que desarrollan estos productos y trabajadores que sintetizan, transforman o usan las nanopartículas a escala industrial.

Evaluación cuantitativa de la exposición a nanopartículas en aire

Existe discusión sobre la variable que se debe utilizar para caracterizar o cuantificar la contaminación del aire con nanopartículas. La concentración másica, masa por unidad de volumen, utilizada tradicionalmente para evaluar el riesgo ocupacional de los agentes químicos, no resultaría representativa para relacionar la dosis con el efecto, en el caso de las nanopartículas. Se postula que la superficie, la actividad superficial o el número de partículas por unidad de volumen, pueden correlacionar mejor o ser más coherentes con los efectos toxicológicos [18].

Cuando las partículas son de un tamaño único o relativamente homogéneo, la masa, número de partículas y área superficial correlacionan bien entre sí y cualquiera de estas magnitudes se puede utilizar para caracterizar la exposición. Por el contrario, cuando las partículas presentan una distribución de uno o más tamaños característicos, esta correlación se pierde. Las variaciones de masa del conjunto serán más representativas o estarán más asociadas con las variaciones en la cantidad de partículas más gruesas y los cambios en el área superficial o en el número de partículas serán más dependientes de las variaciones en la cantidad de partículas más finas.

Para tomar las muestras de nanopartículas en aire se utiliza la metodología establecida para escala en el orden de los micrones, lo cual es razonable si se considera que también se ha utilizado para partículas ultra finas. Esta consiste en hacer pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro de cloruro de polivinilo (PVC) o de celulosa, de 37 mm de diámetro, que se ubica en un cassette o portafiltros de poliestireno de 2 ó 3 cuerpos. Antes del filtro, se puede colocar un ciclón para dejar en éste solo la fracción respirable.

La masa total de partículas colectada en el filtro se obtiene por gravimetría y la concentración particular de algunos de sus componentes, normalmente, se obtiene mediante análisis por absorción atómica.

Para identificar y caracterizar las nanopartículas, se toma una muestra de la masa colectada en el filtro y luego se analiza en el microscopio electrónico de transmisión de alta resolución (HR-TEM). Esto se complementa con un análisis por dispersión de rayos X (EDX), para obtener la composición elemental.

Las concentraciones obtenidas, en una primera aproximación, se pueden comparar con los límites existentes para las partículas de tamaño normal.

Evaluación cualitativa de la exposición a nanopartículas en aire

Considerando las limitaciones actuales de la evaluación cuantitativa, como son la falta de límites, indefinición de una métrica, disponibilidad de equipos de medición, etc., resulta útil considerar la aplicación de una metodología cualitativa como la descrita en la Nota Técnica de Prevención NP 877 [19].

El objetivo principal de la citada evaluación es determinar el tipo de medidas de control que es necesario llevar a cabo, en función de dos factores, la "severidad" y la "probabilidad"; el primero se calcula o clasifica en base a las características toxicológicas y fisicoquímicas de la partícula a escala nanométrica y características toxicológicas de la partícula a escala micrométrica; el segundo se calcula de acuerdo con las características del proceso o tarea que son más influyentes en el nivel de exposición del trabajador.

3. METODOLOGÍA

Dado que la Nanotecnología, en nuestro país, se encuentra en una etapa emergente, esta investigación tiene un carácter de tipo exploratorio y se realiza de acuerdo con las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica del estado del conocimiento respecto de los riesgos para la salud, desarrollo de productos y aplicaciones de los nanomateriales.
- Identificación de universidades, centros de investigación y empresas donde se utiliza nanotecnología, y procesos donde existe exposición a partículas ultrafinas. La búsqueda se realizó revisando información publicada en Internet, bases de datos de la Cámara de Comercio y contacto directo con empresas cuyos procesos presentan el potencial uso de nanopartículas o pueden generar partículas ultrafinas.
- Evaluación cualitativa del riesgo de exposición en las empresas identificadas aplicando la metodología simplificada descrita en referencia [19]. Esto requirió la visita a la empresa o institución para adquirir la información sobre las nanopartículas y los procesos.
- Evaluación cuantitativa de las concentraciones ambientales utilizando los métodos convencionales que establece la normativa internacional y nacional de higiene industrial [20], complementándola con la técnica de microscopía electrónica TEM y Dispersión de Rayos X (DRX). Como referencia se utilizan los límites establecidos para las partículas a escala micrométrica.

Los análisis gravimétricos y de absorción atómica de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Higiene Industrial de la Asociación Chilena de Seguridad y los análisis de microscopía electrónica y dispersión de rayos, en el laboratorio de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

4. RESULTADOS

Situación de la Nanotecnología en Chile

Las primeras iniciativas de inversión en Chile corresponden al FONDAP que el año 1999 financió la creación del “Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de los Materiales” de la Universidad de Chile, para desarrollar investigaciones en Nanotecnología. También, como parte del Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología, acuerdo entre el Banco Mundial y CONICYT, el año 2006 se financian redes de investigación entre universidades nacionales, denominadas anillos, que incluyen temas relacionados con nanotecnología [22].

Por su parte, el concurso regular de CONICYT del año 2012 aprobó un total de 605 proyectos de investigación científica y tecnológica por un total de 67.000 millones de pesos, entre los cuales 31 proyectos correspondían al tema de nanotecnología, con una inversión total de 843 millones que corresponde aproximadamente a un 0,3 % del PIB. Es necesario destacar que ninguno de estos proyectos se orientaba al estudio de los efectos de las nanopartículas sobre la salud.

El año 2011, según seminario realizado por SOFOFA [23], en Chile se destinaron alrededor de \$1.000 millones (aproximadamente US\$ 2 millones) para potenciar el desarrollo de la nanotecnología. El año 2012, en seminario Redbionova [24], se informa que Chile destinó \$ 2 mil millones (aproximadamente US\$ 4 millones) para nuevos desarrollos en nanotecnología. No obstante la importancia relativa de estas cifras, están muy por debajo de lo invertido por Brasil, que ha comprometido una inversión de US\$ 1 billón en nanotecnología y de Uruguay que ha destinado US\$ 500 millones en un parque científico de última generación.

En la Tabla 1, se presenta un resumen de las empresas o instituciones en las que se identificó la utilización de la nanotecnología en productos o proyectos de investigación.

Aunque es sólo una muestra, confirma la etapa incipiente en que se encuentra la nanotecnología en nuestro país. No se observa desarrollo a nivel industrial, las aplicaciones registradas corresponden a importaciones de bienes de consumo, no al uso industrial de materias primas, suministros o a la fabricación de bienes; sólo se destacan los centros de investigación universitaria, donde se concentran los proyectos de investigación y el licenciamiento de patentes.

Tabla 1: Resumen de aplicaciones de nanotecnología identificadas en empresas o instituciones nacionales		
Empresa o Institución	Producto/Aplicación	Observación
DGF	Nanopartículas de Fe/ Aditivo para estabilizar e impermeabilizar suelos y/o caminos.	DGF importa producto de SOILTEK
Nano Chile	Impermeabilizantes y productos de aseo.	Importador, no ha entrado al mercado por precio. No disponían información de las nanopartículas.
C-TEC Ltda.	Nanopartículas de Dióxido de Titanio, Cobre, Plata y Platino	Control de microorganismos (Hongos, Bacterias, Levaduras y Virus). Utilizan cantidades pequeñas.
ATEKUX NANOTECNOLOGIA S.A.	La información disponible no permite identificar el tipo de nanopartículas.	Indica una serie de productos aislantes en base fibras de vidrio y silica aerogel.
Química Passol	Nanocoating Auto-glass	Producto hidrófobo actualmente no lo importan. No se tiene información del tipo de nanopartículas utilizadas.
CEOS (Centro Dental)	Filtek Z350 XT-Producto 3M/ Restauración dental	Resina que incluye nanopartículas de sílice de 20 nm.
CENAVA	Principalmente Grafenos , NTC , nanohilos metálicos/ Investigación básica	Centro Investigación ubicado en Valparaíso. Agrupa varias universidades. Fue creado como parte del Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología (PBCT).
Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología (CEDENNA)	Nanotubos de Fe/ Investigación básica. Nanopartículas de Cu, Ag y Ti/ Desarrollo de envases para alimentos.	Centro de investigación de la Universidad de Santiago. También informan de aplicación de nanotecnología en limpieza de agua y suelos y encapsulamiento de antibióticos.
Universidad de Talca	Puntos Cuánticos/Diagnóstico del cáncer Aplicación de tecnología de dendrímeros en nanobiología/ Investigación básica	La investigación se realiza en el CBSM y el Instituto de Química de los Recursos naturales.
Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.	Principalmente nanopartículas de Cu, Zirconio, Si, NTC, nanohilos de metales/ Proyectos de Investigación.	La investigación en nanotecnología se realiza principalmente en el Departamento de Ciencia de los Materiales y Departamento de Física.
Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile.	Nanotubos de carbón para mejorar propiedades de biosensores. Nanopartículas de oro para diagnóstico y tratamientos.	Laboratorio de Bioelectroquímica Laboratorio de Nanobiotecnología y Nanotoxicología.
Universidad Andrés Bello	Nanopartículas para diagnóstico y tratamiento.	Facultad de Medicina
Universidad de Concepción.	Nanopartículas de Cu en matriz de polímeros para conferirles carácter bactericida.	Proyecto que desarrolla la Unidad de Tecnología (UDT) en el Área de Biomateriales
Universidad Federico Santa María,	Nanopartículas en Biotecnología Ambiental, procesos de descontaminación suelos, aguas.	El Centro de Nanotecnología y Biología de Sistemas (CN&BS)

Evaluaciones cualitativas

La metodología utilizada para evaluar cualitativamente la exposición ocupacional a

nanopartículas considera dos parámetros, uno denominado "severidad", que toma en cuenta sus características tóxicas, y otro "probabilidad", que es función de la forma en que se da la exposición del trabajador. Cada uno de estos parámetros se clasifica en 4 categorías que se combinan en 16 posibles resultados, los cuales dan lugar a 4 niveles de riesgos asociados a recomendaciones de control de la exposición, tal como se presenta a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2: Matriz de Recomendaciones según nivel de riesgo					
PROBABILIDAD					
		Extremadamente Improbable (0-25)	Poco Probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy Probable (76-100)
SEVERIDAD	Muy Alta (76-100)	R3	R3	R4	R4
	Alta (51-75)	R2	R2	R3	R4
	Media (26-50)	R1	R1	R2	R3
	Baja (0-25)	R1	R1	R1	R2
R1: Ventilación General R2: Ventilación por extracción localizada o campana laboratorio R3: Confinamiento R4: Buscar asesoramiento especializado					

El puntaje asociado a la "severidad" considera las propiedades tóxicas propias del material del cual están formadas las nanopartículas, tales como efectos sobre el sistema reproductivo y sobre la piel y carácter cancerígeno, mutagénico y asmogénico, y las propiedades fisicoquímicos y toxicológicas asociadas al tamaño, las cuales en caso de no ser conocidas se les asigna una ponderación que corresponde al 75 % de la escala. El puntaje que califica a la "probabilidad" se calcula en base a parámetros del proceso tales como cantidad de material utilizado, pulverulencia o capacidad de formar aerosoles, número de trabajadores con exposición similar, frecuencia de las tareas y su duración.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de las evaluaciones cualitativas realizadas en las empresas o instituciones identificadas en la Tabla 1 que aceptaron la aplicación de este instrumento. En el Anexo 1 se entrega con mayor detalle la información utilizada en la evaluación .

Los nanotubos de carbón que son los únicos con "severidad" alta, en tanto el resto de las nanopartículas evaluadas quedaron en la categoría de "severidad" media o baja. Por su parte, los procesos o formas en que estos nanomateriales calificaron como extremadamente improbable o poco probable exposición. El único proceso que resultó con una recomendación de ventilación por extracción localizada fue el de recubrimiento de electrodos con nanotubos para mejoramiento de biosensores. Para el resto resultó suficiente la ventilación general.

Tabla 3: Resumen de Evaluaciones Cualitativas

Empresa o Institución/ Actividad de la Aplicación	Proceso	Severidad	Probabilidad	Recomendación Según Tabla 2
Laboratorio de Superficies, Facultad Ciencias Físicas y matemáticas. U. de Chile/ Investigación	Limpieza de evaporador donde se producen nanomateriales de Cu.	MEDIA 42,0	Poco Probable 26,25	Ventilación General
CEOS/Centro dental	Uso de Resina Filtek Z350 XT, en restauración de piezas dentales. La resina contiene nanopartículas de Sílice de 20 nm.	MEDIA 42,0	Poco Probable 26,25	Ventilación General
NANO CHILE S.A/ Comercializadora.	Venta y almacenamiento de productos de aseo e impermeabilizantes, solubles en agua, no tóxicos.	BAJA 19,5	Extremadamente Improbable 13,75	Ventilación General
DGF/Comercializadora	Aplicación de aditivo Soiltek para estabilizar suelos, producto contiene nanopartículas de hierro.	MEDIA 27,5	Extremadamente Improbable 25	Ventilación General
DGF / Comercializadora	Aplicación de NANOCATOX/CLOROFF para la remediación de efluentes y suelos, productos contienen nanopartículas de hierro.	BAJA 22,5	Extremadamente Improbable 25	Ventilación General
Laboratorio de Bioelectroquímica, Facultad Ciencias Químicas y Farmacéuticas. U de Chile/ Investigación	Recubrimiento de electrodos (biosensores) con una suspensión de nanotubos de carbono.	ALTA 57,5	Poco Probable 43,75	Ventilación Extracción Localizada
Laboratorio de Nanobiotecnología y Nanotoxicología, Facultad Ciencias Químicas y Farmacéuticas. U de Chile/ Investigación	Producción de nanopartículas de oro en solución para diagnóstico y tratamiento.	BAJA 20,0	Extremadamente Improbable 23,75	Ventilación General

Evaluaciones cuantitativas

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de tres procesos: Limpieza de equipo experimental de producción de nanopartículas, dosificación de nano carbonato de calcio en proceso de producción de pinturas y soldadura al arco de estructura de acero.

Limpieza de equipo experimental

Antecedentes del Proceso

El equipo corresponde a una cámara de evaporación a escala de laboratorio, utilizada para la producción de nanopartículas, mediante evaporación al vacío, en atmósfera inerte, de un metal sometido a un arco eléctrico. La placa del metal a evaporar, en

este caso cobre, se monta en su interior y se realiza vacío mediante una bomba de difusión de aceite. Las paredes de la cámara, soportes, partes de la bomba de vacío y diferentes mecanismos del sistema se van ensuciando con el uso. Por lo mismo, es necesario limpiarlos, actividad que es realizada por un investigador en forma manual, utilizando papel humedecido en alcohol (isopropílico o etílico) o acetona, tarea en la que demora alrededor de 30 minutos.

Características de las Partículas y Toxicidad

En el Decreto Supremo N° 594/1999, se señala que el cobre en forma de humo tiene un Límite Permissible Ponderado de $0,16 \text{ mg/m}^3$ y en forma de polvo y niebla $0,8 \text{ mg/m}^3$. Estos valores son establecidos para proteger a los individuos expuestos de potencial irritación en ojos, piel, tracto respiratorio y membranas mucosas; también de efectos sistémicos que incluyen malestar gastrointestinal y efectos similares a la fiebre de los metales [3].

Mediciones y Resultados

Durante la limpieza del evaporador, tarea que fue realizada por un investigador del laboratorio durante, aproximadamente, 30 minutos, se tomaron simultáneamente dos muestras personales y dos muestras ambientales, utilizando filtros de celulosa de 37 mm de diámetro. Tres de estos filtros, los dos personales y uno ambiental, se conectaron a bombas gravimétricas marca Gilian Modelo Gil Air 3, y uno, que corresponde a la muestra ambiental restante, fue instalado en un equipo marca MIE modelo RAM 2, el cual además de coleccionar la muestra de polvo en el filtro, permitió obtener la concentración en función del tiempo. Los caudales de aire movilizados por las bombas y el equipo RAM 2 se ajustaron en el orden de 2 L/min.

El objetivo de tomar las muestras personales y ambientales por duplicado, utilizando filtros de celulosa⁷, fue realizar primero el análisis gravimétrico de todas las muestras, para obtener las correspondientes concentraciones de polvo total en suspensión, y luego, utilizando los mismos filtros, analizar una muestra ambiental y una personal por la técnica de absorción atómica, de acuerdo con la metodología tradicional de la higiene industrial, y sus correspondientes duplicados por el método de microscopia de transmisión de electrones (TEM) y energía dispersiva de rayos X (EDX).

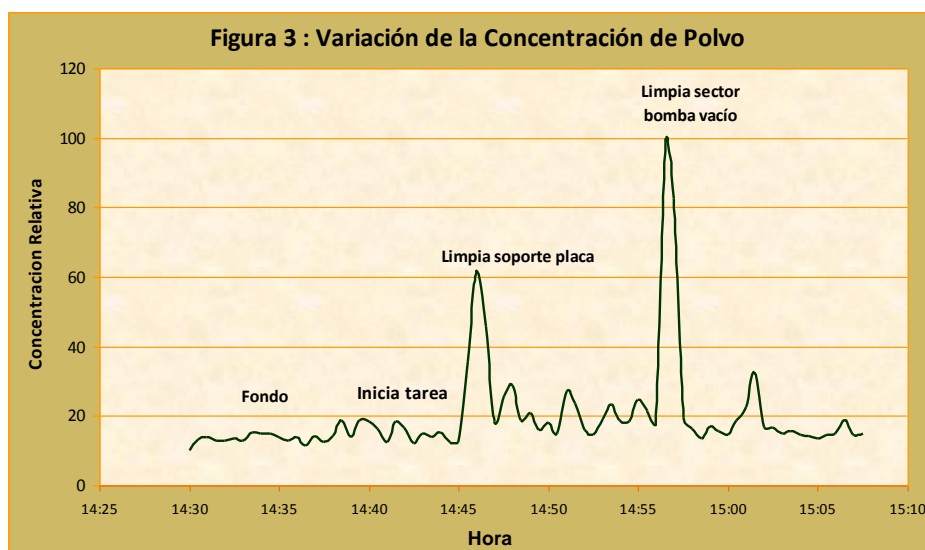
La cantidad total de polvo coleccionado en los filtros no fue suficiente para obtener por gravimetría, valores confiables de las concentraciones de polvo, razón por lo cual estos resultados no fueron informados. El filtro, en el que se coleccionó mayor cantidad de polvo, fue el de la muestra ambiental tomada con el equipo RAM, por lo cual fue seleccionado para analizar su contenido de cobre mediante absorción atómica, obteniéndose una masa de aproximadamente 0,5 microgramos⁸, valor que corresponde a una concentración de $0,00855 \text{ mg/m}^3$, resultando significativamente inferior al Límite Permissible Ponderado ($0,8 \text{ mg/m}^3$).

En la Figura 3 se presenta la variación de la concentración de polvo de Cu obtenida con el equipo RAM 2, el cual fue programado para registrar datos cada 1 minuto. Dado que

⁷ Normalmente, para hacer gravimetría, se utilizan filtros de PVC y para absorción atómica, filtros de celulosa; pero también se pueden utilizar los filtros de celulosa para hacer gravimetría y luego utilizar la misma muestra para análisis por absorción atómica.

⁸ Esta masa es menor al límite de cuantificación de 1,3 mg que tiene el laboratorio para este análisis.

el análisis gravimétrico no permitió obtener las concentraciones de polvo total colectado en los filtros no fue posible calibrar las lecturas que entrega el equipo en mg/m^3 , por lo cual se optó por corregirlas con el criterio de que la concentración máxima fuera de orden de 100 para facilitar la comparación de los valores registrados. Los primeros 8 minutos de medición correspondieron al polvo ambiental de fondo del laboratorio, el cual se encontró en el orden de un 17 % del valor máximo obtenido durante el periodo de medición; luego, cuando se inició la limpieza del equipo, se observaron sucesivos peaks de concentración, cuya tendencia se correlaciona bien con la emisión que corresponde a las distintas actividades realizadas, destacándose los peaks obtenidos cuando se limpió el soporte de la placa y el sector de la bomba de vacío, instantes en que se obtuvieron, respectivamente, máximos de concentración en el orden de 3 a 5 veces el valor de fondo.



Resultados Análisis TEM

En la Figura 4 se presenta una imagen de las nanopartículas colectadas en una de las muestras ambientales.

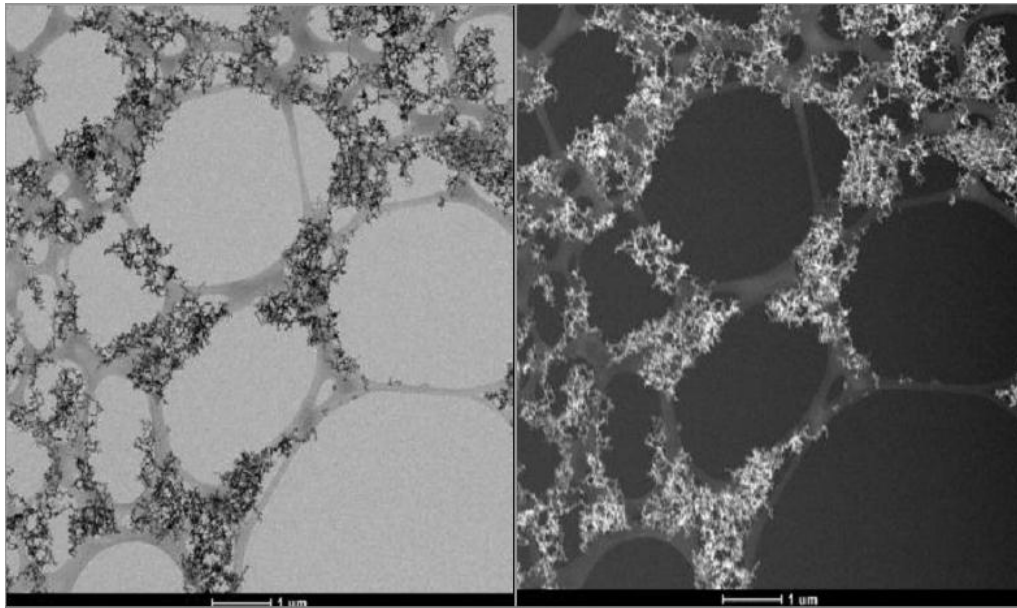


Figura 4: Imágenes de las nanopartículas de cobre, Cu, en el modo de campo claro y campo oscuro usando un HR/STEM

Se observa que las partículas son de formas esférica u ovalada con un tamaño medio entre 20 nm y 40 nm y un grado menor de aglomeración; están unidas como "racimos" sin perder su individualidad o llegar a aglomerarse, formando cúmulos o "cluster". El análisis elemental obtenido por EDX (Figura 5), confirma que las nanopartículas son de cobre. El carbono que se detecta corresponde a la rejilla soporte utilizada en el TEM.

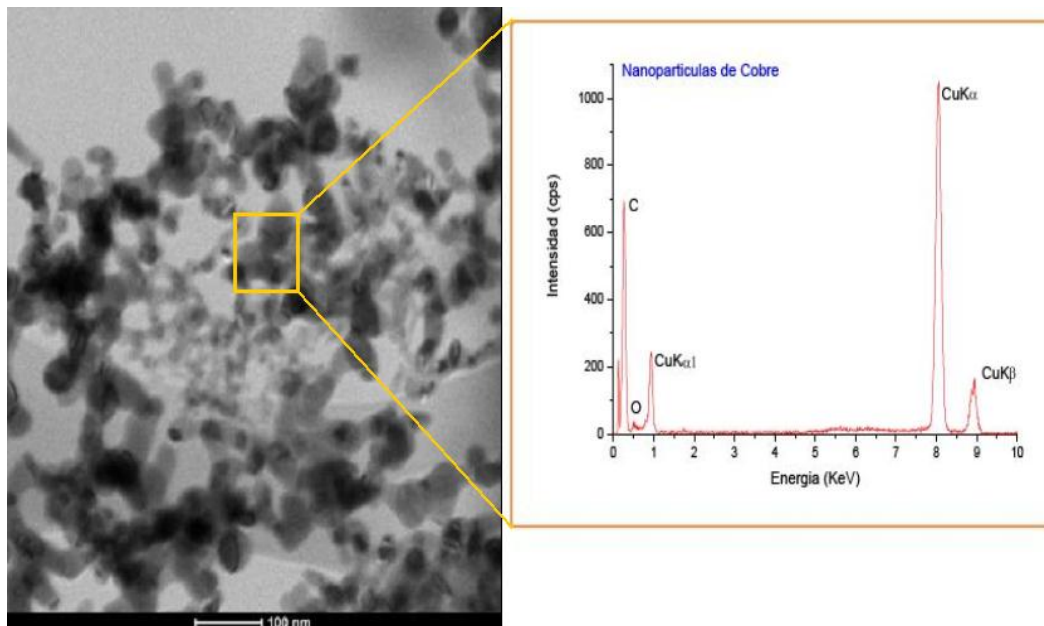


Figura 5: Imagen de las nanopartículas de Cu mostrando la zona donde se le realizó análisis químico elemental y su correspondiente espectro de EDS

Si se considera que las partículas tiene un diámetro promedio del orden de 30 nm, que la masa colectada en el filtro fue de 0,5 microgramos, que el volumen de aire que pasó por el filtro fue de 0,05845 m³ y que la densidad de cobre es de 9 gr/cm³, la concentración promedio de partículas durante la limpieza sería de 67x10⁹ (partículas/m³) que equivale a 67.000 (partículas/cm³), valor que indica un nivel de exposición importante⁹ a diferencia de la señal que entrega la correspondiente concentración másica, cuyo valor de 0,00855 mg/m³ representa una exposición muy inferior al límite permisible. Si la toxicidad de las partículas de cobre fuera mayor a escala nanométrica el valor de concentración medido en (partículas/cm³) sería el parámetro correcto para evaluar la exposición; no obstante, como en el caso de este metal no existe evidencia científica que así lo demuestre, la concentración másica, que indica un nivel de riesgo aceptable, es el resultado que debería prevalecer. Además, esta posición se puede sustentar por el hecho de que los humos de cobre normalmente han contenido partículas ultrafinas y por lo tanto los estudios existentes sobre la toxicidad de este metal incluyen el efecto sobre la salud de los tamaños a escala nanométrica, lo cual probablemente ha influido para que el Límite Permissible Ponderado del Cobre en forma de humos sea casi 5 veces menor que en forma de polvo o nieblas.

Dosificación de nanocarbonato de calcio

Antecedentes del Proceso

El carbonato de calcio se utiliza para mejorar el poder de cobertura de la pintura. La tarea, cuya exposición a polvo se evalúa, consiste en el pesaje de la cantidad necesaria para la preparación de un lote de pintura. La actividad es realizada manualmente por un operador, utilizando una poruña y transfiriendo el nanocarbonato desde su envase original a un envase o tineta que mantiene sobre una pesa para controlar la cantidad indicada en la formulación, tarea en la cual demora del algunos minutos.

Partículas y Toxicidad

El carbonato de calcio es considerado de baja toxicidad y, en nuestro país Decreto N° 594/1999, tiene definido un límite permisible ponderado de 8 mg/m³. En Estados Unidos, la organización NIOSH para este compuesto define un límite permisible ponderado de 15 mg/m³ como "polvo total" y de 5 mg/m³ como "polvo respirable"

Mediciones y Resultados

El operador preparó 6 cargas, con pesos entre 2 a 11 Kg, demorando un total de 3,5 minutos. Durante este período, se tomaron dos muestras de polvo total, una ambiental, ubicada sobre la fuente, y una personal, colocada en la zona respiratoria del operador. Las muestras se tomaron utilizando filtros de PVC de 37 mm conectados a bombas gravimétricas marca Gilian Modelo Gil Air 3. En la Tabla 4 se presentan las concentraciones obtenidas.

⁹ IFA [12] recomienda un límite de 40.000 partículas/cm³ como referencia.

TABLA 4: Concentraciones de Carbonato de Calcio		
Identificación Muestra (N° Filtro)	Tiempo muestreo minutos	Concentración mg/m ³
Ambiental (F4548)	3,5	48,9
Personal (F4549)	3,5	290,3

Los valores obtenidos fueron de 48,9 a 290,3 mg/m³ y superan en más de 5 veces el límite permisible ponderado de 8 mg/m³, condición que no es aceptable de acuerdo al Artículo 60 del Decreto Supremo N° 594/1999. Por otra parte, el valor de la muestra personal superó en, aproximadamente, 6 veces el valor de la muestra ambiental, lo que se explica debido al acercamiento que tiene el operador con el punto de emisión.

Resultados Análisis TEM

En la Figura 6 se presenta la imagen obtenida en microscopio electrónico de alta resolución de las partículas colectadas en la muestra ambiental (Filtro 4548). También se incluye el espectro obtenido por EDX para identificar la composición elemental de éstas.

Los tamaños encontrados son del orden de los 50 nm, de formas aproximadamente ovaladas o esféricas y en el espectro se observa claramente el peak del Calcio, Ca, que identifica a las partículas de carbonato¹⁰.

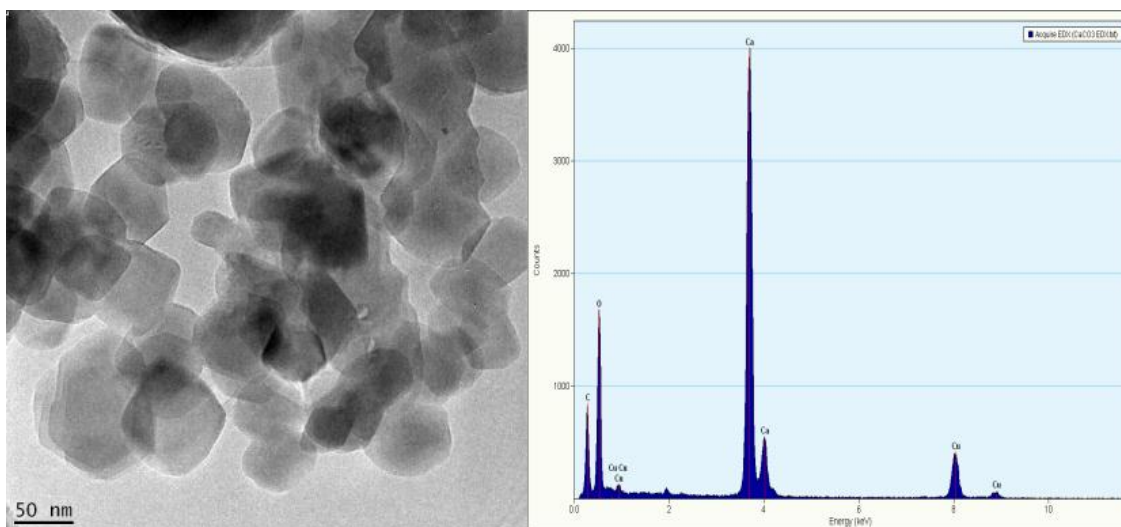


Figura 6: Imagen y espectro EDS de la partículas colectadas en la Muestra Ambiental (Filtro 4548)

En la Figura 7 se presenta la imagen de una partícula con tamaño del orden de 50 nm micrones en cuyo espectro también se observa claramente el peak del calcio que la identifica como carbonato de calcio. La observación de esta partícula indica que en la muestra colectada existía también una cantidad importante de tamaños mayores a los nanométricos.

¹⁰ Los peak de cobre, Cu, están presentes debido al material de la rejilla donde se soporta la muestra.

En la Figura 8 se muestra una imagen de las partículas colectadas en la muestra personal, Filtro 4549. En este caso, a diferencia de la muestra anterior, además de las partículas de nano carbonato, el análisis elemental de la muestra, EDS, indica también la presencia de nanopartículas de zinc, Zn, las cuales probablemente provienen del proceso de mezcla de pigmentos que se realizaba en un sector contiguo.

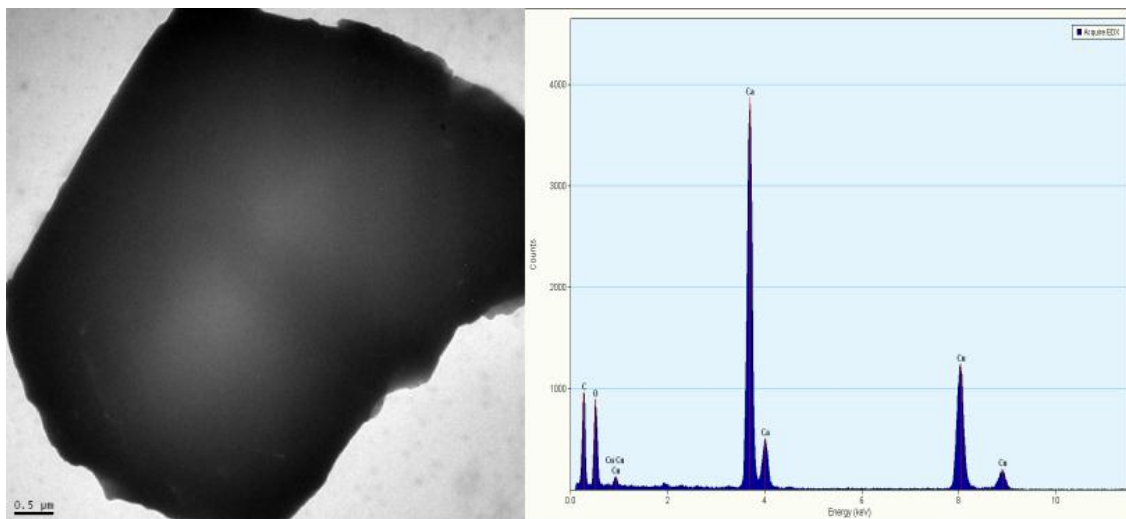


Figura 7: Imagen y espectro de partícula de tamaño micro de Muestra Ambiental (Filtro 4548)

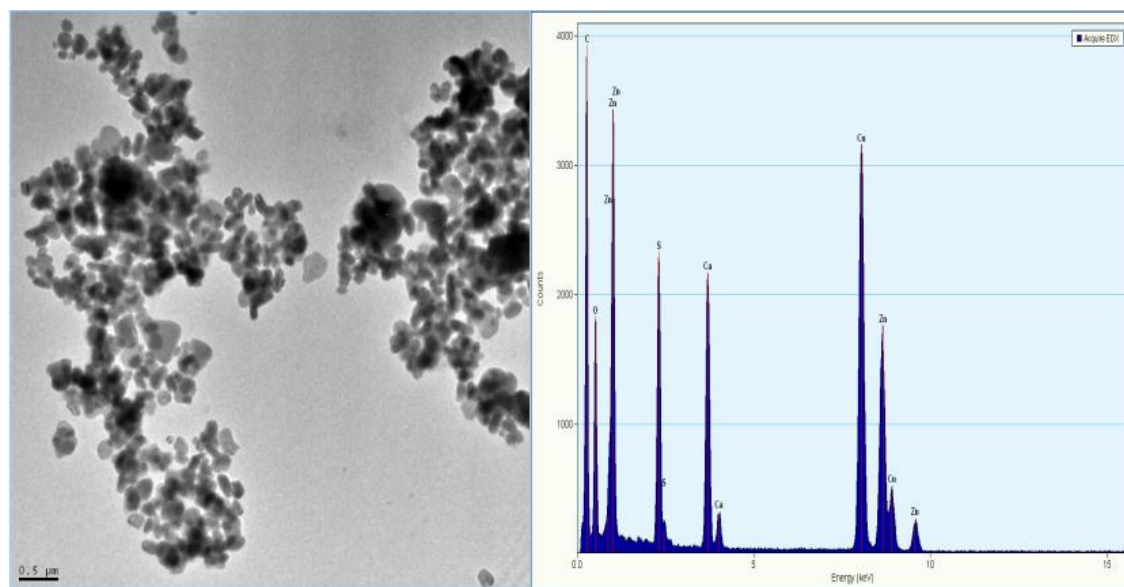


Figura 8: Imagen TEM y Espectro EDS de Muestra Personal (Filtro 4549).

Soldadura al arco

Antecedentes del Proceso

Se evalúa la exposición a humos en tarea de soldadura al arco de una estructura de

acero ubicada al interior de un galpón. Los electrodos utilizados son Indura de 1/8 código 6011, en cuya hoja de seguridad se indica que consisten en un núcleo sólido de acero al carbono recubierto con un fundente. El revestimiento variará dependiendo del tipo de electrodo, los que contienen una cantidad variable de polvos metálicos, polvo de ferro-aleaciones, minerales metálicos, óxidos inorgánicos, carbonato y fluoruros, compuestos celulósicos y otros materiales de silicio mezclados junto con silicatos líquidos aglomerantes. Los humos generados contienen, principalmente, Hierro (35-55%), Manganeseo (3-8%) y Cobre (0,2%), además de cantidades menores de Magnesio (0,1%).

Partículas y Toxicidad

El óxido de hierro puede causar una neumoconiosis benigna cuyos principales efectos observados son un grado menor de inflamación y alteraciones en las radiografías de pulmón, por lo cual la ACGIH [3] recomienda un límite de 5 mg/m³. En nuestro país no existe límite permisible para regular la exposición a humos de hierro.

El humo de manganeseo puede producir efectos adversos en los pulmones y el sistema nervioso central, por lo cual en el Decreto Supremo N° 594/199 tiene establecido un Límite Permisible Ponderado de 0,8 mg/m³ y un límite Permisible Temporal de 3 mg/m³.

Mediciones y Resultados

Se tomaron muestras del humo emitido durante una tarea de soldadura que consumió 50 electrodos utilizando filtros de celulosa de 37 mm conectados a bombas portátiles Gilian Modelo Gil Air 3. Estas incluyeron una muestra personal, instalando el filtro a la altura de las vías respiratorias del soldador, y varias muestras ambientales, en las cercanías del sector de soldadura, para análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica¹¹. Además, se tomó una muestra ambiental junto al soldador, Filtro 977, especial para análisis por microscopia electrónica.

En la Tabla 5 se presentan las concentraciones de metales obtenidas en el análisis por absorción atómica. Los resultados indican que los principales metales presentes en los humos corresponden a Hierro y Manganeseo, con una baja presencia de Cobre, encontrándose las mayores concentraciones en la muestra personal del soldador, dada la cercanía que él tiene con el foco de emisión de humos. En este caso es importante señalar que para el Manganeseo la concentración resultó igual a 1,2 mg/m³, valor que supera el Límite Permisible ponderado que establece el Decreto Supremo N° 594/1999.

TABLA 5: Concentraciones de Metales		
Identificación Muestra (N° Filtro)	Tiempo muestreo minutos	Concentración mg/m³
Personal (F980)		
Fe	90	10,9
Mn		1,2
Cu		<1,02
Ambiental (F975)	90	

¹¹ Estas muestras forman parte de un estudio regular de evaluación de exposición a humos metálicos realizados por ACHS.

Fe	0,10
Mn	0,02
Cu	NSD

Resultados Análisis TEM

En la Figura 9 se presenta una imagen de las partículas colectadas en el Filtro 977. Se observan partículas de tamaños muy diferentes, pero en general bajo los 200 nm.

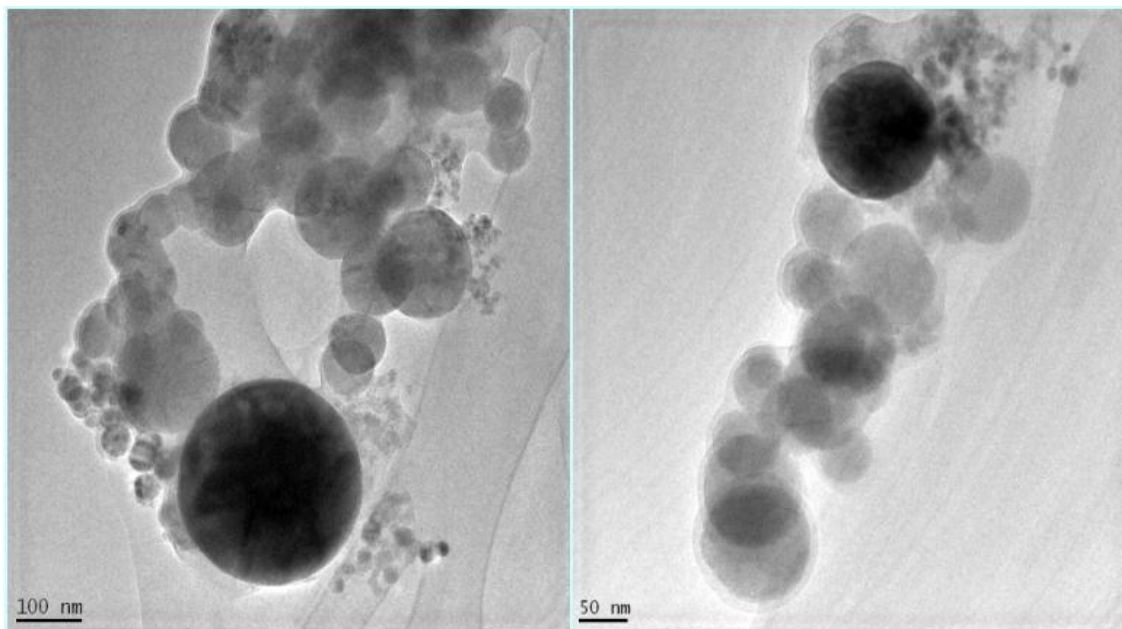


Figura 9: Imágenes HRTEM de las nanopartículas obtenidas en el filtro.

El análisis elemental por dispersión de rayos X obtenido para el total de las partículas indica que están conformadas por O(K), Na(K), Mg(K), Si(K), P(K), S(K), Cl(K), K(K), Mn(K), Ca(K), y Fe(K), como se aprecia en los espectros que acompañan las imágenes presentadas en la Figura 10. No se realizó este análisis para identificar en forma individual la composición de cada partícula, no obstante la experiencia indica que las partículas más pequeñas corresponden a sílice.

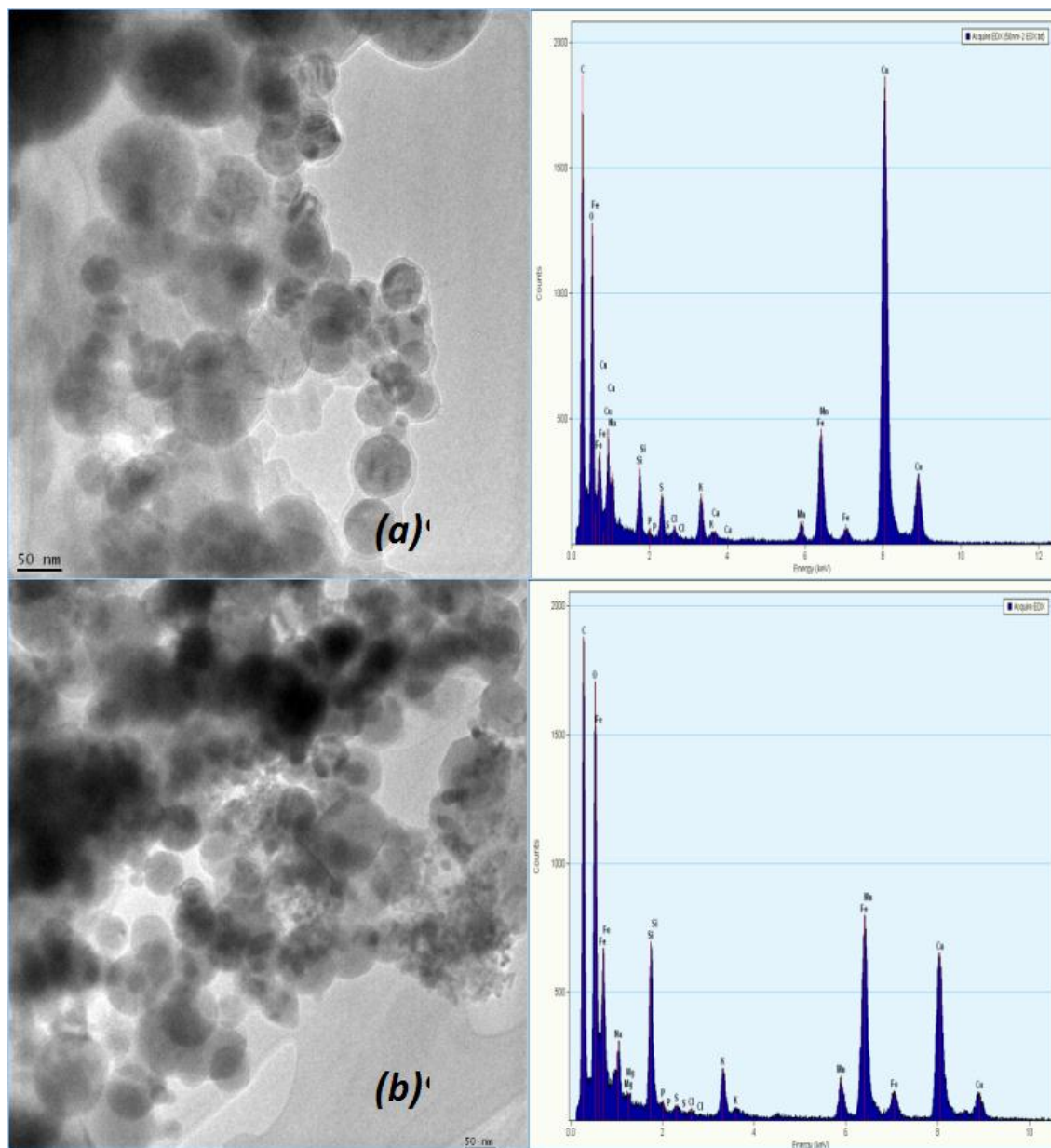


Figura 10: Imágenes de HRTEM de las nanopartículas colectadas en Filtro 977, junto con su análisis elemental EDX.

En la Tabla 6, se presenta una cuantificación de los resultados del análisis elemental de las nanopartículas de la Figura 10, que incluye los porcentajes en peso y atómico de cada elemento identificado, sin considerar el cobre porque corresponde a la rejilla porta muestra y el carbono que se forma al hacer este análisis. La presencia mayoritaria de oxígeno es debido a que la mayoría de los compuestos formados son óxidos. El hierro, Fe, es el que le sigue en mayor cantidad, y después está el manganeso, Mn, lo que concuerda con el análisis por absorción atómica. Del resto de los compuestos identificados destaca, desde un punto de vista higiénico, la sílice, porque se encuentra en una proporción similar a la del manganeso y, aparentemente, formando parte de las partículas más pequeñas, del orden de 20 nm. Se debe

considerar que la sílice, en este caso amorfa, normalmente no es considerada como un agente de riesgo que forme parte de los humos de soldadura.

Tabla 6: Análisis Elemental de las nanopartículas en humos de soldadura

Elemento (K)	Nanopartículas Figura 10 (a) % peso	Nanopartículas Figura 10 (a) % atómico	Nanopartículas Figura 10 (b) % peso	Nanopartículas Figura 10 (b) % atómico
O	45,89	67,42	44,12	67.65
Na	5,74	5,47	3,40	3.63
Mg	0,96	0,93	0,52	0.53
Si	6,68	5,59	9,66	8.43
P	0,17	0,13	0,66	0.52
S	4,72	3,46	0,27	0.21
Cl	1,16	0,77	0,18	0.12
K	5,89	3,54	4,06	2.54
Mn	0,75	0,44	5,64	2.52
Ca	4,11	1,76	-----	----
Fe	23,88	10,05	31,44	13.81

5. DISCUSIÓN

Actualmente, se produce una gran variedad de nanopartículas, pero aún se puede considerar que su cantidad es reducida si se compara por ejemplo con la gran variedad de compuestos químicos que surgieron con el desarrollo de la industria petroquímica. Las nanopartículas producidas en mayor cantidad corresponden a nanopartículas de metales, como la plata, el oro, el hierro, el platino, óxidos metálicos, como el dióxido de titanio, el óxido de hierro y el óxido de zinc, nanopartículas de silicio y las formadas por distintas estructuras de carbón, como los fulerenos (buckyballs), los grafenos y los nanotubos. Una característica importante de estos productos es que la mayor parte de ellos ya existían como subproducto de otros procesos industriales y, por lo tanto, ya hay antecedentes de la exposición laboral o ambiental; un ejemplo son las nanopartículas de óxidos metálicos, que forman parte de los humos metálicos, o las estructuras de carbón generadas en procesos de combustión como los humos emitidos por motores diésel.

En general, las nanopartículas se utilizan en proyectos de investigación, principalmente, en las áreas médicas, ambientales y en ciencias básicas. También se usan como materias primas para uso industrial y en productos de consumo, los cuales normalmente forman parte de una estructura que las mantiene encapsuladas, lo que minimiza o elimina el riesgo para los usuarios o consumidores. Si bien, una institución como NIOSH mantiene un programa de evaluación de la exposición a nanopartículas en ambientes de trabajo, en la bibliografía revisada no se encontró información o datos sobre las concentraciones a las cuales se exponen los trabajadores en ambientes laborales donde se producen o utilizan nanopartículas; probablemente esto se deba a la falta de métodos aprobados de muestreo y análisis y a la carencia de límites o estándares que regulen la exposición.

La información existente a la fecha respecto de la toxicidad de las nanopartículas permite concluir que las consecuencias de la exposición se agravan a escala nanométrica, como lo demuestran las experiencias en animales expuestos a dióxido de titanio y el conocimiento acumulado con la exposición humana a las partículas ultrafinas que forman parte de los humos diésel y los humos metálicos, cuyos límites permisibles reflejan esta mayor toxicidad. La respuesta que aún se mantiene pendiente es sobre el carácter cancerígeno que podrían tener las nanopartículas producto de la mayor reactividad química y capacidad de penetración a nivel celular, que le confiere su tamaño.

Si bien, se acepta que la exposición a un determinado agente químico conlleva una mayor gravedad cuando se encuentra en escala nanométrica, no se han establecido límites permisibles específicos para regularla, debido a la falta de conocimiento o de información concluyente, antecedentes que requieren de tiempo. Los intentos más directos por instaurar límites han sido realizados por NIOSH, Bayer e IFA, como se presentó anteriormente en 2.4; no obstante los valores recomendados no son consistentes. Por ejemplo, el límite de $0,1 \text{ mg/m}^3$, que recomienda NIOSH para partículas de dióxido de titanio, tomando su densidad como $4,24 \text{ g/cm}^3$, corresponde al orden de $5.630.481 \text{ (partículas/cm}^3\text{)}$, en el caso de que el tamaño fuera 20 nm , y del orden de $45.044 \text{ (partículas/cm}^3\text{)}$ en el caso de que el tamaño fuera de 100 nm , valores en general muy por encima del rango de 20.000 y $40.000 \text{ (partículas/cm}^3\text{)}$ que recomienda IFA. Por otra parte, el límite de $0,05 \text{ mg/m}^3$ que recomienda Bayer para nanotubos de carbón, suponiendo que tienen una densidad de $1,35 \text{ gr/cm}^3$ y largo

de 150 nm, equivale al orden de 785.950 (NTC/cm³), valor que no tiene relación con los límites permisibles de 0,16 (fibra/cm³) y 1 fibra/cm³ que indica el Decreto Supremo N° 594/1999 para el asbesto como crocidolita y para lana de vidrio, respectivamente.

El problema principal que se tiene para medir la concentración de nanopartículas en aire es la necesidad de caracterizarlas por su tamaño y composición, para diferenciarlas del resto de las partículas, tanto las de tamaños mayores como las ultrafinas. En este sentido los métodos tradicionales presentan desventajas; la gravimetría no permite la distinción entre la masa de las distintas partículas colectadas en el filtro, lo que en principio se puede resolver si las partículas del proceso a evaluar están bien caracterizadas y se realiza una medida de la concentración de fondo del ambiente. No obstante, cuando las partículas son muy pequeñas y el proceso de emisión es de corta duración, como ocurrió en el caso de la limpieza de la cámara de producción de nanopartículas de cobre presentado en este trabajo, la masa colectada en el filtro es muy pequeña para ser cuantificada con precisión por gravimetría o absorción atómica. Una alternativa es la medición con equipos contadores de partícula como el RAM utilizado en este trabajo, pero se requiere una calibración del equipo para obtener resultados cuantitativos. Por el momento, para la etapa de evaluar los ambientes laborales en un contexto de investigación, lo óptimo es siempre completar el análisis gravimétrico y de absorción atómica, con la caracterización del tamaño y composición de las partículas, mediante microscopía electrónica y dispersión por rayos. De todas formas, se debe tener presente, que se mantiene la incógnita de cuál es la masa neta de nanopartículas en las muestras.

La aceptación de que, a escala nanométrica, las partículas aumentan su peligrosidad y la incertidumbre existente sobre el carácter cancerígeno que éstas podrían tener, hace aconsejable adoptar un criterio preventivo y limitar al máximo la exposición laboral mediante el uso de sistemas de ventilación y de protección personal, mientras no se establezcan límites permisibles y métodos aprobados para evaluar las concentraciones en aire. El método cualitativo utilizado en este trabajo es una herramienta que permite racionalizar la decisión de utilizar o no sistemas de control.

El hecho que en Chile la nanotecnología se encuentre en una etapa incipiente, impidió que se cumpliera con el número de las evaluaciones cualitativas y cuantitativas planificadas en este estudio, incluso fue necesario agregar la evaluación de partículas ultra finas para probar estas metodologías en un mayor número de casos.

Finalmente, considerando que no se tienen experiencias anteriores de evaluaciones de exposición a nanopartículas en la industria de nuestro país, la información y experiencia adquirida como parte de este trabajo, servirá como base para enfrentar de mejor forma los riesgos que pudieran surgir de posibles aplicaciones o usos de las nanopartículas que signifique exposición de los trabajadores.

6. CONCLUSIONES

1. Actualmente, las nanopartículas de mayor aplicación son las producidas en base a metales, como la plata, el oro, el hierro y el platino, a óxidos metálicos, como el dióxido de titanio, el óxido de hierro y el óxido de zinc, y a estructuras de silicio y de carbón, como los fulerenos (buckyballs), los grafenos y los nanotubos.

Se recomienda, en particular, ser estricto en el control de la exposición de trabajadores a nanopartículas que correspondan a estructuras tipo fibras como ocurre con los nanotubos de carbón. Especialmente en procesos que involucren la potencial dispersión de los nanopartículas como mínimo se debe mantener la limpieza y orden en relación con la contaminación que éstas produzcan, manipular las nanopartículas utilizando sistemas de ventilación localizada como campanas de laboratorio o cajas de guantes que incluyan filtros para el control de las emisiones y utilizar elementos de protección personal, como guantes, lentes y ropa de uso exclusivo.

2. La información existente a la fecha respecto de la toxicidad de las nanopartículas permite concluir que las consecuencias a la exposición son más graves cuando las partículas se presentan a escala nanométrica respecto de partículas en el rango de los micrones, siendo aún incierto que debido a la mayor reactividad química y capacidad de penetración a nivel celular que les confiere su reducido tamaño, puedan resultar cancerígenas.

Se recomienda adoptar un criterio preventivo, basado en el concepto de reducir la exposición del trabajador a nanopartículas utilizando lo más avanzado de la tecnología disponible.

3. No se han establecido límites permisibles específicos para regular la exposición a nanopartículas.

Para hacer evaluaciones cuantitativas, se recomienda considerar los siguientes criterios:

- En caso de existir límites para las partículas a escala micrométrica, tomar un 20 % de éste como límite de referencia para las nanopartículas, *considerando la diferencia que existe entre los límites de algunos metales cuando están en forma de polvo, que corresponde a partículas de tamaños en el orden de micrones, y cuando están en forma de humos, que son partículas de tamaño menor a un micrón, incluyendo una fracción importante que probablemente se encuentra en el orden nano.*
- Para el dióxido de titanio, tomar como límite de referencia el valor de 0,1 mg/m³ que propone NIOSH.
- Para nanopartículas de formas aproximadamente esféricas, considerar como referencia un límite entre 20.000 y 40.000 (partículas/cm³), según si la densidad es mayor o menor a 6 g/cm³ respectivamente.
- Para estructuras tipo fibra, considerar como referencia un límite de 1 (fibra/cm³), valor representativo de los límites que existen actualmente en

nuestra legislación para los agentes químicos que se presentan en forma de fibras.

4. En Chile la nanotecnología está en una etapa incipiente, no encontrándose evidencia de procesos industriales que produzcan nanopartículas o que las utilicen en forma regular como insumos o materias primas. El principal desarrollo está en los centros de investigación de las universidades, lo que indica que actualmente los investigadores y estudiantes son el principal grupo de personas expuestas a nanopartículas.

Se recomienda evaluar y controlar la exposición a nanopartículas de los investigadores de centros universitarios dedicados a la nanotecnología. La mayoría de los grupos identificados en el desarrollo de este proyecto no manifestaron interés en el tema por lo que es necesaria una etapa previa de sensibilización, para lo cual son de utilidad los resultados obtenidos en el presente trabajo.

5. Los métodos tradicionales de la Higiene Industrial no se pueden aplicar en forma directa para evaluar la concentración de nanopartículas en aire, ya que es necesario caracterizarlas por su tamaño y composición, para diferenciarlas del resto de las partículas, tanto las de tamaño mayor como las ultrafinas. La microscopía TEM y la Dispersión de Rayos son técnicas que se pueden utilizar para hacer esto último.

Se recomienda realizar experiencias de evaluación que permitan validar la consistencia de los resultados obtenidos por la gravimetría tradicional, la espectrometría de absorción atómica, la microscopía TEM y la difracción de rayos X, en muestras de aire tomadas en ambientes de trabajo. Es necesario desarrollar una metodología que, además, de caracterizar las nanopartículas por su tamaño y composición, entregue el porcentaje o fracción que éstas representan del total de partículas colectadas en el filtro.

6. La metodología de evaluación cualitativa utilizada en este trabajo demostró ser una herramienta útil para determinar la necesidad de implementar sistemas de control de la exposición ocupacional a nanopartículas; agentes cuya toxicidad en la mayoría de los casos es incierta y para los cuales no se tienen establecidos métodos de medición ni límites permisibles.

Se recomienda utilizar la metodología cualitativa como primera aproximación para evaluar la exposición ocupacional a nanopartículas en ambientes de trabajo porque permite estructurar la decisión de implementar el nivel de protección que se requiere. Se considera necesario revisar las tablas de calificación que utiliza el método para adaptarlas a las características en que se presenta actualmente la exposición en nuestros ambientes de trabajo.

7. El análisis de la composición de las partículas ultrafinas en humos de soldadura identificó al silicio, probablemente en forma de sílice amorfa y tamaños del orden de 20 nm, entre los elementos de mayor concentración colectados en el filtro. Se destaca este hallazgo porque normalmente la sílice no se considera entre los contaminantes que forman parte de los humos de soldadura.

Se recomienda realizar nuevos análisis de microscopía electrónica y dispersión de

rayos X a filtros de muestras de humos de soldadura para identificar, en particular, las nanopartículas con sílice y caracterizarlas de acuerdo a su tamaño, composición molecular, estructura cristalográfica y concentración másica. Se recomienda, además, complementar estos análisis, si corresponde, con el análisis tradicional que se le hace a las muestras de sílice, para determinar si estas partículas son o no de importancia higiénica.

8. El trabajo realizado entrega una base de información y conocimiento que se estima de utilidad para evaluar el riesgo de exposición a nanopartículas que pudieran surgir en posibles aplicaciones industriales de la nanotecnología en nuestro país, lo cual es importante especialmente debido a la actual falta de antecedentes sobre este tema.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Project on Emerging Nanotechnologies. An inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/> (visitada 16-11-2012).
2. <http://www.nanowerk.com/index.php> (Visitada el 26 de diciembre 2012)
3. 2012 TLVs and BEIs Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposures Indices. ACGIH.
4. G Oberdörster, J Ferin, R Gelein, S C Soderholm, and J Finkelstein; Role of the alveolar macrophage in lung injury: studies with ultrafine particles. Environ Health Perspect. 1992 July; 97: 193–199.
5. Warheit DB, Webb TR, Reed KL, Frerichs S, Sayes CM.B; Pulmonary toxicity study in rats with three forms of ultrafine-TiO₂ particles: differential responses related to surface properties. Toxicology. 2007 Jan 25;230(1):90-104
6. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/93-titaniumdioxide.pdf> (Visitada el 18-11- 2012)
7. Lam CW, James TL, McCluskey R, Hunter RL.; Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. Toxicol Sci. 2004 Jan;77(1):126-34. Epub 2003 Sep 26.
8. Oberdorster G, Gelein RM, Ferin J, Weiss B. Association of particulate air pollution and acute mortality:involvement of ultrafine particles?. Inhal Toxicol. 1995 Jan-Feb;7(1):111-24.
9. Debra T. Silverman et al. The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case–Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust J Natl Cancer Inst. 2012 June 6; 104(11): 855–868.
10. Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide. NIOSH CURRENT INTELLIGENCE BULLETIN. November 2005.
11. http://www.baytubes.com/news_and_services/news_091126_oel.html (Visitada el 23-11-2012)
12. <http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp> (visitada el 29 -12-2012)
13. NIOSH Nanotechnology Field Research Effort Fact Sheet. DHHS (NIOSH) Publication No. 2008-121. February 2008.
14. Approach to safe Nanotechnology.DHHS(NIOSH) Publication No. 2009-125. March 2009.
15. U.S. Department of Energy Nanoscale Science Research Centers. Approach to Nanomaterial ES&H. Revision 3a, May 12, 2008.
16. www.oecd.org/env/nanosafety (Visitada 19-11- 2012)
17. <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-589.pdf> (Visitada 30-11-12)
18. Ramachandran G. Et al. A Strategy for Assessing Workplace Exposures to Nanomaterials. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 8:673-685 Nov. 2011.
19. <http://www.uv.es/cadep/documents/prevencion/NTP877%20Nano.pdf> (visitada el 23-11-2012)
20. www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/method-c.html (visitada el 22-12-2012)
21. 2011 U.S. Intellectual Property Enforcement Coordinator Annual Report on Intellectual Property Enforcement Cover Title Here Report to the President and Congress on the Fourth Assessment of the National Nanotechnology Initiative. Executive Office of the President President’s Council of Advisors on Science and Technology APRIL 2012

» Investigación

22. Foladori Guillermo y Fuentes Verónica. Las Nanotecnologías en America Latina (2008). Capitulo 3: Nanotecnología en Chile ¿hacia una economía del conocimiento?
23. <http://www.sofofainnova.cl/chile-destina-solo-1-000-millones-al-ano-para-promover-el-desarrollo-de-la-nanotecnologia/> (visitada el 29 de diciembre 2012)
24. <http://www.redbionova.com/noticias/chile-destina-2-mil-millones-al-ano-para-nuevos-desarrollos-de-nanotecnologia/> (visitada el 29 de diciembre 2012)

8. ANEXOS

ANEXO 1: Tablas con detalles de Evaluaciones Cualitativas

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso- Evaluación Cualitativa Laboratorio de Superficies U. Chile	
Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	Cobre (Cu)
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	En el Decreto Supremo N° 594/1999 el cobre en forma de humo tiene un Límite Permissible Ponderado de 0,16 mg/m ³ y en forma de polvo de 0,8 mg/m ³
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP Composición química, carga.	La eficacia bactericida de la nanopartículas de cobre se debe, tanto a la fácil liberación de iones por la alta reactividad de las partículas nanométricas, así como la gran área superficial de las misma que permite la interacción con la membrana bacteriana
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Nano-recubrimiento de cobre, material evaporado en condiciones de vacío, deposita en forma de película con estructuras esféricas..
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Partículas esféricas, dimensiones entre 20 y 40 nm.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	Si bien se utiliza un medio liquido se genera polvo en suspensión
Solubilidad/liposolubilidad del material.	Cobre no soluble en condiciones normales de temperatura y presión.
Distribución del tamaño de la partícula.	20 a 40 nm
Área específica aprox por partícula.	1256 a 5026 nm ²
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	Potencial irritación en ojos, piel, tracto respiratorio y membranas mucosas; también produce efectos sistémicos que incluyen malestar gastrointestinal y efectos similares a la fiebre de los metales.
Forma de emisión	Polvo con estructuras de nanopartículas.

Tareas/Tiempo de exposición	Limpieza de campana de vacío, tiempo de exposición aproximadamente 30 minutos.
Personal expuesto	1 Investigador que puede ser un profesional o un alumno de alguna carrera de Ciencia de los Materiales, Física, otros.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El Investigador de laboratorio realiza la limpieza del evaporador de vacío, ésta es una cámara de vidrio, con diámetro aprox de 60 cm por 80 cm de alto. 2. El Investigador de laboratorio realiza la limpieza del evaporador de vacío, ésta es una cámara de vidrio, con diámetro aprox de 60 cm por 80 cm de alto. 3. El investigador emplea un papel (toalla nova) con alcohol etílico, para realizar la operación de limpieza de los residuos de polvo con contenido de nanopartículas adherido a las paredes de la cámara. 4. Duración de la tarea aproximadamente 35 minutos.
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	Sólo el investigador realiza la tarea de limpieza de la cámara en el laboratorio, pero dependiendo de la hora en que se realice es posible que se encuentren otros investigadores que pueden estar a distancias entre 2 a 5 metros desde el punto de operación.
Posibles rutas de entrada.	Principalmente aérea, pero no es posible descartar la vía dérmica.
Elementos de protección Personal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mascarilla desechable, no adecuada para la exposición a polvos. 2. Guantes de latex desechable.
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	El material se encuentra condensado en forma de partículas adheridas en la pared de la cámara de evaporación, al limpiar se dispersa el material en el ambiente generándose polvo en suspensión.
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	La frecuencia de exposición está determinada en función de los experimentos que se programen, pero al menos se realiza la operación 2 veces por mes, con duración de la tarea aprox. 35 minutos.
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	Las nanopartículas se encuentran en la superficies del evaporador. Al realizar la limpieza son muy volátiles, son transferidas al ambiente en forma de polvos en suspensión en torno al ambiente donde se realiza la tarea.

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO LIMPIEZA DE CÁMARA DE PREPARACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartículas de Cobre	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	10
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	0
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	7,5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
(7,5) Desconocido			
(10,0) De 1 a 10 nm			
Solubilidad	(0,0) Bajo	10	
	(5,0) Soluble		
	(7,5) Desconocido		
Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	4,5	
	(4,5) Desconocido		
	(6,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la reproducción	(0,0) No	0	
	(4,5) Desconocido		

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	15
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
Frecuencia de las operaciones	(15,0) > 15	5
	(0,0) > Mensual	
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
Duración de la operación	(11,25) Desconocido	0
	(15,0) Diario	
	(0,0) < 30 minutos	
	(5,0) 30 a 60 minutos	0
	(10,0) 1 a 4 horas	

Material Padre	Mutagenicidad	(6,0) Sí	0
		(0,0) No	
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Sí	
	Toxicidad dérmica	(0,0) No	0
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Sí	
	Capacidad de producir asma	(0,0) No	0
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Sí	
	Toxicidad	(0,0) LPT > a 0,1 mg/m ³	10
		(2,5) 11 < LPP < 100 mg/m ³	
(5,0) 2 < LPP < 10 mg/m ³			
(7,5) Desconocido			
(10,0) 0 < LPP < 1 mg/m ³			
Carcinogenicidad	(0,0) No Carcinogénica	0	
	(3,0) Desconocido		
	(4,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la reproducción	(0,0) No	0	
	(3,0) Desconocido		
	(4,0) Sí		
Mutagenicidad	(0,0) No	0	
	(3,0) Desconocido		
	(4,0) Sí		
Toxicidad dérmica	(0,0) No	0	

(11,25) Desconocido	
(15,0) > 4 horas	
PUNTAJE TOTAL	
	26,25

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación general.
2. Se debe realizar evaluación semicuantitativa.

	(ver frases R o H)	(3,0)	Desconocido	0
		(4,0)	Sí	
	Capacidad de producir asma	(0,0)	No	
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
		PUNTAJE TOTAL		

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - Evaluación Cualitativa CEOS-Resina Filtek Z350 XT

Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	Resina Universal Filtek Z350 XT de 3M ESPE
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Decreto 594: LPP (sílice amorfa-humos metálicos) = 0.16 mg/m3 LPP (sílice amorfa-cuarzo fundido) = 0.08 mg/m3 LPP (sílice cristalizada) = 0.08 mg/m3 LPP (zirconio) = no se registra en el decreto
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP Composición química, carga.	Resina activada por luz visible. Composición: bis-GMA, UDMA,TEGDMA y bis-EMA. Los materiales de relleno son una combinación de relleno de sílice no aglomerado/no agregado de 20 nm, de relleno de zirconio no aglomerado/no agregado de 4 a 11 nm, y un relleno clúster agregado de zirconio/sílice (partículas de sílice de 20 nm y de zirconio de 4 a 11 nm).
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Formas de Nanopartículas de sílice y de zirconio en pequeñas fracciones en tamaño de 4 a 20 nm, y en forma de nano híbridos con partículas en el rango de tamaño de los nano rellenos inferior a 100 nm. No se tiene la certeza del tipo de partículas de sílice, su fabricación es a partir de vapores de sílice, por tanto dependiendo de las temperaturas y forma de condensación se pueden obtener estructuras cristalinas o amorfas.

Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Partículas esféricas, dimensiones entre 20 y 40 nm.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	El material se encuentra en forma de pasta depositada en un tubo, no tiene posibilidad de convertirse en material con características pulvígenas y en presencia de luz se fotopolimeriza.
Solubilidad/liposolubilidad del material.	No es soluble en condiciones normales de t° y presión.
Distribución del tamaño de la partícula.	Nanopartículas de sílice de 20 nm Nanopartículas de zirconio de 4 a 11 nm.
Área específica aprox por partícula.	Sílice: 1256 nm ² (aprox. A superficies de esferas) Zirconio: 50 a 380 nm ²
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	No se cuenta con referencias de toxicidad, sólo en caso de tener estructuras de sílice cristalina se puede asociar un posible efecto carcinógeno.
Forma de emisión	Polvo con estructuras híbridas de nanopartículas al pulir.
Tareas/Tiempo de exposición	La aplicación de la resina: Ésta se encuentra en estado de pasta en un tubo tipo jeringa, su dosificación es en húmedo, lo cual minimiza la no exposición de los usuarios de ésta. El tiempo de preparación no alcanza a un par de minutos. Remoción de resinas con una turbina . El tiempo de remoción puede alcanzar a unos pocos minutos en total (considerando detenciones por efecto de revisar la pieza dental atendida)

<p>Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.</p>	<p>Aplicación de la resina de relleno.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El auxiliar prepara la dosificación de la resina con nanorelleno en una pequeña cantidad sobre una espátula pequeña, el material se encuentra en forma de pasta. 2. El Odontólogo toma el preparado y lo aplica sobre la pieza que ya tiene dispuesta, luego es fotopolimerizada para su fijación y endurecimiento. <p>Remoción de resina con la turbina.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. En caso de remoción de resinas, el odontólogo procede con una turbina que opera entre 150.000 a 200.000 RPM. La operación genera polvo, pero éste se minimiza porque se realiza con arrastre de agua. El tiempo de remoción puede alcanzar a unos pocos minutos en total (considerando detenciones por efecto de revisar la pieza dental atendida).
<p>Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables</p>	<p>Un Odontólogo y un técnico dental auxiliar.</p>
<p>Posibles rutas de entrada.</p>	<p>Principalmente aérea durante la remoción de la resina desde la pieza dental.</p>
<p>Elementos de protección Personal</p>	<p>Odontólogo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mascarilla desechable de tela. 2. Guantes de latex desechable. 3. Gafas <p>Auxiliar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Guantes desechables.
<p>Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión</p>	<p>El material de nano relleno se encuentra formando parte de una resina en forma de pasta, difícilmente se puede dispersarse en el ambiente de trabajo, durante la remoción de la resina desde la pieza dental tampoco es probable dado el arrastre por agua.</p>
<p>Frecuencia de la exposición y duración de la misma.</p>	<p>La frecuencia de exposición está determinada en función del trabajo y pacientes a atender.</p>

Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión

La emisión de partículas se da en el ambiente próximo entre paciente y dentista.

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE RESINA CON NANO-RELLENO

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartículas Sílice	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	7,5
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	0
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
(7,5) Desconocido			
(10,0) De 1 a 10 nm			
Solubilidad	(0,0) Bajo	10	
	(5,0) Soluble		
	(7,5) Desconocido		
	(10,0) Insoluble		
Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	4,5	
	(4,5) Desconocido		
	(6,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la	(0,0) No	0	

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD			
Características	Valores	Puntaje	
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25	
	(12,50) 11 < m < 100 mg		
	(18,75) Desconocido		
	(25,00) m > 100 mg/m ³		
	(7,5) Bajo		
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(15,0) Medio	7,5	
	(22,5) Desconocido		
	(30,0) Alto		
	(0,0) < 5		0
	(5,0) De 6 a 10		
(10,0) De 11 a 15			
(11,25) Desconocido			
(15,0) > 15			
Frecuencia de las operaciones	(0,0) > Mensual	15	
	(5,0) Mensual		
	(10,0) Semanal		
	(11,25) Desconocido		
	(15,0) Diario		
Duración de la operación	(0,0) < 30 minutos	0	
	(5,0) 30 a 60 minutos		

	reproducción	(4,5) Desconocido	0	
		(6,0) Sí		
	Mutagenicidad	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Toxicidad dérmica	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Capacidad de producir asma	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Material Padre	Toxicidad	(0,0) LPT > a 0,1 mg/m ³	10
			(2,5) 11 < LPP < 100 mg/m ³	
			(5,0) 2 < LPP < 10 mg/m ³	
			(7,5) Desconocido (10,0) 0 < LPP < 1 mg/m ³	
Carcinogenicidad		(0,0) No Carcinogénica	3	
		(3,0) Desconocido (4,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la reproducción		(0,0) No	0	
		(3,0) Desconocido (4,0) Sí		
Mutagenicidad		(0,0) No	0	
		(3,0) Desconocido		

(10,0)	1 a 4 horas	28,75
(11,25)	Desconocido	
(15,0)	> 4 horas	
PUNTAJE TOTAL		28,75

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación general.
2. No aplica realizar evaluación semicuantitativa.

	Toxicidad dérmica (ver frases R o H)	(4,0) Sí	0
		(0,0) No	
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Sí	
	Capacidad de producir asma	(0,0) No	0
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Sí	
PUNTAJE TOTAL			40,0

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - Evaluación Cualitativa Materiales Limpieza e impermeabilizantes de superficies.	
Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	Productos antiempañantes para limpieza de vidrios, impermeabilizantes de superficies. Ce-nanotex I y Ce-nanovelour, impermeabilizante para telas de gamuzas. Nanolex, productos para autos, antiempañantes. Nanoproofed, impermeabilizantes para vidrios y cerámicas.
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Proveedor no cuenta con hojas de datos de seguridad.
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP Composición química, carga.	Información proporcionada por proveedor indica que Seremi autoriza ingreso de productos por no presentar toxicidad, son todos productos solubles en agua.
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Desconocida.
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Desconocida.
Capacidad «pulvigena» del material (dustiness).	Todos los productos se encuentran en forma de fluidos en envases de muestra (aprox 20 a 100 ml), se encuentran en forma de mezcla, y para preparar se diluyen pequeñas concentraciones del contenido con agua.
Solubilidad/liposolubilidad del material.	Mezclas solubles en agua
Distribución del tamaño de la partícula.	Desconocido
Área específica aprox por partícula.	Desconocida.

Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	Desconocida (desde la perspectiva de los investigadores de este proyecto).
Forma de emisión	Por el estado de fluido y su aplicación en húmedo y a escala de laboratorio, posible emisión de aerosoles al ambiente durante aplicación en forma de spray.
Tareas/Tiempo de exposición	Aplicación directa con un tiesto para cubrir la superficie o bien con un dispensador en forma de spray. Tiempo de la tarea puede alcanzar a un par de minutos.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	Dilución de muestras en agua y mezclado. Aplicación sobre superficies pequeñas. Almacenamiento de pequeños frascos en estanterías. Todas las muestras de los fluidos que contienen nanopartículas son solubles en agua, a través de las etiquetas no es posible identificar el tipo de compuestos se encuentran en ellas (no disponen de dicha información).
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	Una persona que prepara la muestra.
Posibles rutas de entrada.	Posible ruta aérea y dérmica de ingreso al dispersar el fluido sobre la superficie.
Elementos de protección Personal	No se aprecia uso de guantes, dado que es una operación esporádica y ya no se venden los productos por el alto costo de éstos.
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	Si se emplear como spray se generarían aerosoles de las mezclas.
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	Altamente esporádica (no se venden los productos), aplicación rápida de unos minutos.
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	La operación de preparación consiste en diluir compuestos, la exposición del trabajador puede ocurrir durante la aplicación del producto, pero dado que no se comercializa, sólo existieron pruebas a escala muy pequeña, por vez única. Considerando lo anterior, es muy poco probable la exposición al aerosol con nanopartículas suspendidas como tales.

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO PREPARACIÓN DE MUESTRAS IMPERMEABILIZANTES

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartícula	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	0
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	0
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	7,5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) De 1 a 10 nm	
	Solubilidad	(0,0) Bajo (Muy soluble)	0
		(5,0) Soluble	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Insoluble	
	Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	4,5
		(4,5) Desconocido	
(6,0) Carcinogénica			
Toxicidad para la reproducción	(0,0) No	0	
	(4,5) Desconocido		

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(6,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	7,5
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
Frecuencia de las operaciones	(15,0) > 15	0
	(0,0) > Mensual	
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
Duración de la operación	(11,25) Desconocido	0
	(15,0) Diario	
	(0,0) < 30 minutos	
	(5,0) 30 a 60 minutos	0
	(10,0) 1 a 4 horas	

Material Padre	Mutagenicidad	(6,0) Sí	0
		(0,0) No	
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Sí	
	Toxicidad dérmica	(0,0) No	0
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Sí	
		(0,0) No	
	Capacidad de producir asma	(4,5) Desconocido	0
		(6,0) Sí	
		(0,0) No	
		(4,5) Desconocido	
Material Padre	Toxicidad	(0,0) LPT > a 0,1 mg/m ³	7,5
		(2,5) 11 < LPP < 100 mg/m ³	
		(5,0) 2 < LPP < 10 mg/m ³	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) 0 < LPP < 1 mg/m ³	
	Carcinogenicidad	(0,0) No Carcinogénica	0
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Carcinogénica	
	Toxicidad para la reproducción	(0,0) No	0
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Sí	
	Mutagenicidad	(0,0) No	0
(3,0) Desconocido			
(4,0) Sí			

(11,25) Desconocido	
(15,0) > 4 horas	
PUNTAJE TOTAL	
	13,75

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación general.
2. No aplica realizar evaluación semicuantitativa.

	Toxicidad dérmica (ver frases R o H)	(0,0) No	0
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Sí	
	Capacidad de producir asma	(0,0) No	0
		(3,0) Desconocido	
		(4,0) Sí	
PUNTAJE TOTAL			19,5

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - DGF comercializadora de Productos Copolímeros nanotecnológicos-Soiltek	
Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	SoilTek
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Estabilizador de suelos, agente para solidificar suelos, aditivo para mezclas suelo-cemento. Modifica características físico-químicas del suelo y/o modifica condiciones geoquímicas durante el proceso de fraguado. Copolímero nanotecnológico con nanopartículas de hierro en solución. Líquido viscoso, celeste grisáceo. En el caso del hierro elemental estas nanopartículas presentan una considerable reactividad química, posiblemente como resultado de la superficie específica del orden de 30 metros cuadrados por gramo. Estas características las tornan especialmente aptas para promover procesos de óxido-reducción
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Mezcla que contiene emulsión de copolímero acrílico estirénico con nanohierro y sales inorgánicas; No se conocen riesgos para la salud del producto, no es corrosivo ni inflamable. Composición: Emulsión de copolímero acrílico estirénico >80%; Sales inorgánicas>10%; Nanohierro en suspensión amoniacal<10%.
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Nanopartículas sin especificación de formas.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	Compuesto en solución acuosa, no existe capacidad pulvígena.
Solubilidad/liposolubilidad del material.	100% soluble en agua; peso específico 1.01 gr/cm ³ Otros datos: ph 7.5-9.2; viscosidad 2000-5000 cp
Distribución del tamaño de la partícula.	Sin información
Área específica aprox por partícula.	Sin información
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	Dado que se encuentra en una emulsión se recomienda mantener el producto lejos de oxidantes. Utilizar en áreas ventiladas, evitar contacto con ojos, evitar respirar vapores, evitar el contacto con la piel, durante su uso no comer ni fumar. Todas estas recomendaciones posiblemente atribuidas a los componentes de la mezcla en que se encuentra el nanohierro. Incompatible con ácidos, por ejemplo ácido sulfúrico, fosfórico, etc., y soluciones alcalinas como hidróxido de sodio o potasio.
Forma de emisión	Posibles aerosoles durante la aplicación en húmedo sobre caminos, se emplea camión aljibe. Las nanopartículas de hierro reaccionan y actúan con los coloides naturales del cemento, mientras que las cadenas poliméricas aportan la capacidad autoligante.

Tareas/Tiempo de exposición	Preparación de mezcla y dilución, sin información, pero se asume bajos tiempos. Aplicación sobre terreno, depende del área a cubrir.
Personal expuesto	Posible exposición al preparar mezcla para aplicación; la aplicación sobre caminos se realiza con camiones con estanque, los cuales atomizan la mezcla y la dispersan sobre la superficie.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	Dilución de mezcla para la aplicación. Aplicación en terreno.
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	1 Persona que prepara o diluye la mezcla para la aplicación. 1 Persona encargada de la aplicación en terreno.
Posibles rutas de entrada.	Contacto con mucosas de ojos por proyección de aerosoles; contacto con la piel por posibles derrames; inhalación en áreas poco ventiladas, ingesta accidental.
Elementos de protección Personal	Protección ocular, guantes de caucho o PVC, protección respiratoria no se indica en HDS, recomendaciones de trabajo en espacios ventilados.
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	Proyección de aerosoles al preparar mezcla para aplicación y durante aplicación en terreno dependiendo del viento.
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	Depende de la superficie a cubrir.
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	Baja posibilidad una vez realizada la aplicación en terreno, dado que forma películas, estabilizando suelos e impermeabilizando

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO APLICACIÓN DE SOILTEK PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartículas Fierro	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	10
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	0
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	7,5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) De 1 a 10 nm	
	Solubilidad	(0,0) Bajo	5
		(5,0) Soluble	
		(7,5) Desconocido	
	Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	0
(4,5) Desconocido			
(6,0) Carcinogénica			
Toxicidad para la	(0,0) No	0	

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	7,5
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
	(15,0) > 15	
Frecuencia de las operaciones	(0,0) > Mensual	0
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
	(11,25) Desconocido	
Duración de la operación	(0,0) < 30 minutos	11,25
	(5,0) 30 a 60 minutos	

	reproducción	(4,5) Desconocido		
		(6,0) Sí		
	Mutagenicidad	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Toxicidad dérmica	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Capacidad de producir asma	(0,0) No	0	
		(4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Material Padre	Toxicidad	(0,0) LPT > a 0,1 mg/m ³ 11 < LPP < 100 mg/m ³	5
			(2,5) mg/m ³	
(5,0) 2 < LPP < 10 mg/m ³				
(7,5) Desconocido (10,0) 0 < LPP < 1 mg/m ³				
Carcinogenicidad		(0,0) No Carcinogénica	0	
		(3,0) Desconocido (4,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la reproducción		(0,0) No	0	
		(3,0) Desconocido (4,0) Sí		
Mutagenicidad		(0,0) No	0	
		(3,0) Desconocido		

	(10,0) 1 a 4 horas	
	(11,25) Desconocido	
	(15,0) > 4 horas	
PUNTAJE TOTAL		25,00

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación general.
2. No se recomienda evaluación semicuantitativa.

		(4,0)	Sí	
Toxicidad dérmica (ver frases R o H)		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
Capacidad de producir asma		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
PUNTAJE TOTAL				27,5

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - DGF comercializadora de Productos Nanoefluentes	
Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	Nanoefluentes: Nacatox, catalizador formado por nanopartículas de fierro que se utiliza en la destrucción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Cloroff, nanohierro reactivo en la destrucción de organoclorados y secuestro de metales pesados.
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Nanoremediación de efluentes y suelos, utilizando nanohierro. Produce la degradación de los contaminantes, por oxidación, transformándolas en sustancias inocuas. En el caso del fierro elemental estas nanopartículas presentan una considerable reactividad química, posiblemente como resultado de la superficie específica del orden de 30 metros cuadrados por gramo. Estas características las tornan especialmente aptas para promover procesos de óxido-reducción
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Nanoefluente utiliza una combinación de reactivos y nanocatalizadores, en condiciones independientes del ph y a temperatura variable (incluso >100°C)
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Nanopartículas de hierro, de alta pureza, gran superficie específica, alta reactividad.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	Compuesto en solución acuosa, no existe capacidad pulvígena.
Solubilidad/liposolubilidad del material.	Soluble
Distribución del tamaño de la partícula.	Sin información
Área específica aprox por partícula.	Sin información
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	Sin información
Forma de emisión	Sin información

Tareas/Tiempo de exposición	Sin información, pero posiblemente se preparan mezclas estanques de mezclado, dado que éstas se llevan a camiones para su aplicación en zonas contaminadas.
Personal expuesto	Sin información.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	Dilución de mezcla para la aplicación. Aplicación en terreno.
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	1 Persona que prepara dilución de mezcla para la aplicación. 1 Persona encargada de la aplicación en terreno.
Posibles rutas de entrada.	Sin información
Elementos de protección Personal	Sin información
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	Proyección de aerosoles al preparar mezcla para aplicación y durante aplicación en terreno.
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	Depende de las posibles aplicaciones, no se cuenta con información.
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	Baja posibilidad una vez realizada la aplicación en terreno.

EVALUACIÓN CUALITATIVA – PUESTO DE TRABAJO APLICACIÓN DE NANOCATOX/CLOROFF PARA LA NANOREMEDIACIÓN DE EFLUENTES Y SUELOS

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartículas	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	10
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	0
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	7,5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) De 1 a 10 nm	
	Solubilidad	(0,0) Bajo	0
		(5,0) Soluble	
		(7,5) Desconocido	
	Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	0
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Carcinogénica	
Toxicidad para la	(0,0) No	0	

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	7,5
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
	(15,0) > 15	
Frecuencia de las operaciones	(0,0) > Mensual	0
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
	(11,25) Desconocido	
Duración de la operación	(0,0) < 30 minutos	11,25
	(5,0) 30 a 60 minutos	

Material Padre	reproducción	(4,5)	Desconocido	0
		(6,0)	Sí	
	Mutagenicidad	(0,0)	No	
		(4,5)	Desconocido	
		(6,0)	Sí	
		Toxicidad dérmica	(0,0)	
	(4,5)		Desconocido	
		(6,0)	Sí	
		Capacidad de producir asma	(0,0)	
	(4,5)		Desconocido	
		(6,0)	Sí	
		Toxicidad	(0,0)	
(2,5)	11 < LPP < 100 mg/m ³			
(5,0)	2 < LPP < 10 mg/m ³			
(7,5)	Desconocido			
	(10,0)	0 < LPP < 1 mg/m ³		
	Carcinogenicidad	(0,0)	No Carcinogénica	
(3,0)		Desconocido		
	(4,0)	Carcinogénica		
	Toxicidad para la reproducción	(0,0)	No	
(3,0)		Desconocido		
	(4,0)	Sí		
	Mutagenicidad	(0,0)	No	
(3,0)		Desconocido		

(10,0)	1 a 4 horas	25,00
(11,25)	Desconocido	
(15,0)	> 4 horas	
PUNTAJE TOTAL		25,00

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación general.
2. No se recomienda realizar evaluación semicuantitativa, existe poca información del producto en sí.

		(4,0)	Sí	
Toxicidad dérmica (ver frases R o H)		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
Capacidad de producir asma		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
PUNTAJE TOTAL				22,5

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - Laboratorio de Bioelectroquímica, Fac. Ciencias Químicas y Farmacéuticas.	
Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	Nanotubos de carbón de Dropens
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Estabilidad: Normal Reactividad: Fuerte incompatibilidad oxidando agentes peligrosos en combustiones o en descomposición de productos con monóxido de carbono.
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Nanotubos de carbono con pureza 95%. Preparación de una suspensión de nanotubos de carbono, peso empleado 1 mg
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Nanotubos de carbono Dropens, pureza 95%, Diámetro 15 ± 5 nm, longitud 1 a 5 μ m Se asume forma cilíndrica.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	Posible
Solubilidad/liposolubilidad del material.	Insoluble en agua
Distribución del tamaño de la partícula.	Diámetro 15 ± 5 nm, longitud 1 a 5 μ m
Área específica aprox por partícula.	Rango: 10.000 nm ² a 100.000 nm ²
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	Los efectos agudos pueden ser dañinos si es absorbido a través de la piel. Puede ser dañino si es ingerido. En base a nuestros mejores conocimientos, las características químicas, físicas, y toxicológicas no se han investigado a fondo. Puede causar Irritación en la piel. Causa irritación en los ojos. El material es irritante a las membranas mucosas y a la zona respiratoria superior. Puede ser dañino por inhalación, ingestión, o la absorción en la piel. Información europea Irritante R 36/37 Irrita a los ojos y al sistema respiratorio. S 26 en caso de contacto con los ojos, enjuague inmediatamente con abundante agua y busque atención médica. S36 usar ropa protectora conveniente.

Forma de emisión	Posiblemente polvo durante tara del compuesto en balanza de precisión.
Tareas/Tiempo de exposición	La exposición a nanotubos de carbono es posible durante el pesaje de éstos, la frecuencia de pesaje depende de los experimentos, puede ocurrir de 1 vez por día o varias veces por semana, nunca más de una pesada por día. Sobre el electrodo se deposita una alícuota con la suspensión de nanotubos y luego se lleva a una estufa a 50 ° C donde se deja secar para luego ser utilizados.
Personal expuesto	Investigador que pesa compuesto, suspende en alcohol y prepara electrodos.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	Pesaje de nanotubos de carbono. Suspensión en alcohol. Preparación de electrodos-biosensores. Secado de electrodos en estufa a 50°C.
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	1 investigador durante tarado y preparación de solución con nanotubos.
Posibles rutas de entrada.	Inhalación/Dérmica.
Elementos de protección Personal	El investigador no emplea ninguna protección dada la frecuencia y cantidad empleada de nanotubos. La hoja de datos del producto recomienda para su manipulación: Baño y ducha de seguridad para los ojos. Extractor mecánico requerido. Lave cuidadosamente después del manejo. No respire el polvo. Evite el contacto con los ojos, la piel y la ropa. Evite la exposición prolongada o repetida. Respirador aprobado por la NIOSH/MSHA. Guantes compatibles que resistan el producto. Lentes de seguridad para productos químicos. Mantener firmemente cerrado el contenedor.
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	Posible dispersión, se aprecia comportamiento de partículas muy livianas (fluidos)
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	1 vez por día; 1 a 5 veces por semana.
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	Aire, superficies de trabajo, balanza de precisión. En la sala no existe ventilación (requerimientos de proceso de pesaje)

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO PREPARACIÓN DE BIODENSORES A PARTIR DE ELECTRODOS RECUBIERTOS CON NANOTUBOS.

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartícula	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	7,5
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	10
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) De 1 a 10 nm	
	Solubilidad	(0,0) Bajo	5
		(5,0) Soluble	
		(7,5) Desconocido	
	Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	4,5
		(4,5) Desconocido	
		(6,0) Carcinogénica	
Toxicidad para la	(0,0) No	4,5	

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	22,5
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
	(15,0) > 15	
Frecuencia de las operaciones	(0,0) > Mensual	15
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
	(11,25) Desconocido	
Duración de la operación	(0,0) < 30 minutos	0
	(5,0) 30 a 60 minutos	

Material Padre	reproducción	(4,5)	Desconocido	4,5
		(6,0)	Sí	
		(0,0)	No	
		(4,5)	Desconocido	
	Mutagenicidad	(0,0)	No	4,5
		(4,5)	Desconocido	
		(6,0)	Sí	
		(0,0)	No	
	Toxicidad dérmica	(4,5)	Desconocido	4,5
		(6,0)	Sí	
		(0,0)	No	
		(4,5)	Desconocido	
Capacidad de producir asma	(0,0)	No	4,5	
	(4,5)	Desconocido		
	(6,0)	Sí		
	(0,0)	LPT > a 100 mg/m ³		7,5
(2,5)	11 < LPP < 100 mg/m ³			
(5,0)	2 < LPP < 10 mg/m ³			
(7,5)	Desconocido			
Toxicidad	(10,0)	0 < LPP < 1 mg/m ³		
	(0,0)	No Carcinogénica	0	
	(3,0)	Desconocido		
	(4,0)	Carcinogénica		
Carcinogenicidad	(0,0)	No		0
	(3,0)	Desconocido		
	(4,0)	Sí		
	(0,0)	No	0	
(3,0)	Desconocido			
(4,0)	Sí			
Toxicidad para la reproducción	(0,0)	No		0
	(3,0)	Desconocido		
Mutagenicidad	(0,0)	No	0	
	(3,0)	Desconocido		

(10,0)	1 a 4 horas	43,75
(11,25)	Desconocido	
(15,0)	> 4 horas	
PUNTAJE TOTAL		43,75

		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

Conclusión:
1. Se recomienda ventilación localizada. 2. Se recomienda realizar evaluación semicuantitativa, no se realiza por la duración de la operación de pesaje del nanotubo y preparación de solución (sólo unos minutos), no se realiza por que no se cuenta con los equipos que permitan muestrear 1

		(4,0)	Sí	
Toxicidad dérmica (ver frases R o H)		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
Capacidad de producir asma		(0,0)	No	0
		(3,0)	Desconocido	
		(4,0)	Sí	
PUNTAJE TOTAL				57,5

o 2 minutos.

Nota: Pruebas llevadas a cabo en ratones de laboratorio indican que una exposición prolongada a esas estructuras tubulares de diámetro equivalente a una millonésima de metro podrían activar enfermedades como el mesotelioma, un cáncer que afecta a la membrana que recubre los pulmones. Los resultados del estudio, llevado a cabo por científicos de Edimburgo, Manchester y Estados Unidos y publicados en la revista "Nature Nanotechnology", señalan que ese tipo de exposición produce inflamaciones y lesiones en los ratones.
<http://www.salud.com/salud-en-general/nanotubos-carbono-conllevar-riesgos-similares-a-los-del-amianto.asp>

Evaluación cualitativa - Caracterización del Agente y del Proceso - Laboratorio de Nanobiotecnología y Nanotoxicología, Fac. Ciencias Químicas y Farmacéuticas.

Item	Descriptor
Nombre comercial y técnico.	En el laboratorio se desarrollan nanomateriales para el tratamiento y diagnóstico de patologías como Alzheimer, Cáncer, Diabetes y Chagas. Se funcionalizan Nanopartículas (NP) con péptidos para aumentar su estabilidad y selectividad por el blanco terapéutico, reducir su toxicidad y mejorar su entrega. NP de oro unidas selectivamente a agregados tóxicos amiloides involucrados en Alzheimer son empleadas para la destrucción de los mismos mediante la aplicación de radiofrecuencias. La línea abarca diferentes aspectos como síntesis, caracterización de NP, evaluación de la toxicidad y aplicaciones en diagnóstico y terapia.
Información de la HDS donde exista/CHEMIINFO/TLV/LPP (otros).	Sin información, está en estado de investigación.
Tipo y proporción del nanomaterial (contenido en un producto).	Sal de oro en estado de solución.
Forma del nanomaterial (si tiene estructura fibrosa, proporción longitud/diámetro, distribución del tamaño de la partícula).	Producción de esferas y nano barras de oro, a partir una solución con oro a la que se agrega un agente reductor y un estabilizante.
Capacidad «pulvígena» del material (dustiness).	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Solubilidad/liposolubilidad del material.	Sin información.
Distribución del tamaño de la partícula.	Nanobarras 12 a 13 nm
Área específica aproximada por partícula.	No determinada
Características TÓXICA del material en la escala macro si existe.	No, los productos están en etapa de investigación.

Forma de emisión	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Tareas/Tiempo de exposición	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Personal expuesto	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Tareas realizadas por todas las personas expuestas a nanomateriales: producción, limpieza, mantenimiento, transporte, almacenamiento.	Preparación de soluciones de oro.
Personal expuesto: personal directo, trabajadores/as adyacentes, visitantes, responsables	Investigador
Posibles rutas de entrada.	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Elementos de protección Personal	No se emplean.
Facilidad de dispersión del material, formación de nieblas, spray Forma emisión	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.
Frecuencia de la exposición y duración de la misma.	Semanal
Zonas donde podrían estar presentes las nanopartículas (aire, superficies de trabajo u otras zonas donde el personal podría estar expuesto) / Caracterización de la emisión	No existe posibilidad durante el proceso, dado que se construyen estructuras a partir de una solución.

EVALUACIÓN CUALITATIVA - PUESTO DE TRABAJO PREPARACIÓN DE BIODENSORES A PARTIR DE ELECTRODOS RECUBIERTOS CON NANOTUBOS.

PUNTUACION DE LA SEVERIDAD			
Tipo de material	Características	Valores	Puntaje
Nanopartícula	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	(0,0) Bajo	7,5
		(5,0) Medio	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Alto	
	Forma	(0,0) Esférica o Compacta	5
		(5,0) En diferentes formas	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) Fibrosa o tubular	
	Diámetro	(0,0) De 40 a 100 nm	7,5
		(5,0) De 11 a 40 nm	
		(7,5) Desconocido	
		(10,0) De 1 a 10 nm	
Solubilidad	(0,0) Bajo	0	
	(5,0) Soluble		
	(7,5) Desconocido		
Carcinogenicidad (tanto si es humana o animal)	(0,0) No Carcinogénica	0	
	(4,5) Desconocido		
	(6,0) Carcinogénica		
Toxicidad para la	(0,0) No	0	

PUNTUACION DE LA PROBABILIDAD		
Características	Valores	Puntaje
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea (m)	(06,25) m < 10 mg	6,25
	(12,50) 11 < m < 100 mg	
	(18,75) Desconocido	
	(25,00) m > 100 mg/m ³	
Pulverulencia/capacidad de formar nieblas	(7,5) Bajo	7,5
	(15,0) Medio	
	(22,5) Desconocido	
	(30,0) Alto	
Número de trabajadores con exposición similar	(0,0) < 5	0
	(5,0) De 6 a 10	
	(10,0) De 11 a 15	
	(11,25) Desconocido	
	(15,0) > 15	
Frecuencia de las operaciones	(0,0) > Mensual	10
	(5,0) Mensual	
	(10,0) Semanal	
	(11,25) Desconocido	
Duración de la operación	(0,0) < 30 minutos	0
	(5,0) 30 a 60 minutos	

	reproducción	(4,5) Desconocido (6,0) Sí	0	
	Mutagenicidad	(0,0) No (4,5) Desconocido (6,0) Sí		
	Toxicidad dérmica	(0,0) No (4,5) Desconocido (6,0) Sí		0
	Capacidad de producir asma	(0,0) No (4,5) Desconocido (6,0) Sí		0
Material Padre	Toxicidad	(0,0) LPT > a 0,1 mg/m ³ 11 < LPP < 100 mg/m ³ (2,5) mg/m ³ (5,0) 2 < LPP < 10 mg/m ³ (7,5) Desconocido (10,0) 0 < LPP < 1 mg/m ³	0	
	Carcinogenicidad	(0,0) No Carcinogénica (3,0) Desconocido (4,0) Carcinogénica	0	
	Toxicidad para la reproducción	(0,0) No (3,0) Desconocido (4,0) Sí	0	
	Mutagenicidad	(0,0) No (3,0) Desconocido	0	

(10,0) 1 a 4 horas (11,25) Desconocido (15,0) > 4 horas	
PUNTAJE TOTAL	23,75

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

Conclusión:

- Se recomienda ventilación localizada.
- No se recomienda realizar evaluación semicuantitativa.

		(4,0) Sí	
Toxicidad dérmica (ver frases R o H)	(0,0) No		0
	(3,0) Desconocido		
	(4,0) Sí		
Capacidad de producir asma	(0,0) No		0
	(3,0) Desconocido		
	(4,0) Sí		
PUNTAJE TOTAL			20,0