

Buenas prácticas para un trabajo seguro con grafeno

El uso de materiales basados en grafeno está aumentando. Las nuevas tecnologías y materiales pueden implicar problemas de seguridad en el ambiente laboral. La exposición de los trabajadores en procesos nuevos o en desarrollo debe evaluarse cuidadosamente para reducir los riesgos para la salud.

El grafeno y los materiales basados en grafeno (GBMs)

El grafeno, un material bidimensional, consiste en una capa de átomos de carbono dispuestos en una estructura similar a un panel de abejas, con una alta área superficial en ambos lados del eje planar. Desde su aislamiento en 2004 mediante la exfoliación mecánica del grafito, el interés en el grafeno ha aumentado a lo largo de los años debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas.

Siendo 100 veces más fuerte que el acero, el grafeno es flexible, eléctricamente conductor e impermeable a todos los gases. La oxidación y/o funcionalización pueden generar una amplia familia de materiales basados en grafeno (GBMs), como el óxido de grafeno (GO), el óxido de grafeno reducido (rGO), el grafeno de pocas capas (FLG), y otros. Además, la superficie plana del grafeno puede ser funcionalizada con, p. ej., grupos carbonilo, hidroxilo y epóxido, o agentes de recubrimiento (p. ej., glicol polietilénico).

Por lo tanto, los GBMs exhiben una variedad de propiedades extraordinarias que los hacen compatibles y atractivos para una multitud de aplicaciones, como dispositivos de almacenamiento de energía, células solares, envases de alimentos, pantallas táctiles plegables y recubrimientos protectores, y también en aplicaciones biomédicas, como sistemas de administración de medicamentos, e ingeniería de tejidos e imágenes.

El creciente uso de los GBMs exige una evaluación exhaustiva de su posible impacto en la salud humana, ya que sus propiedades fisicoquímicas únicas también pueden influir en la interacción del grafeno con los sistemas biológicos, afectando su respuesta tóxica.

El principal riesgo que representan los GBMs para la salud humana parece estar asociado con la exposición laboral a través de la inhalación durante su producción, uso y eliminación de residuos.

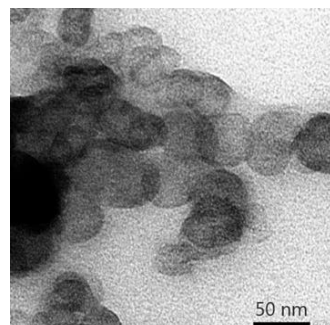
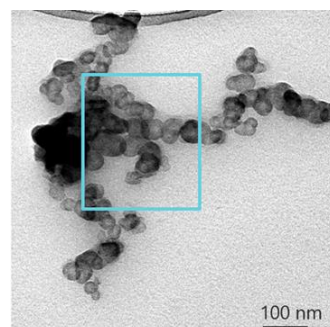


Imagen al microscopio electrónico de transmisión de grafeno (GO) en una muestra de aire recogida de la zona de respiración del trabajador.

CONTACTO

Tomi Kanerva
especialista senior
tomi.kanerva@ttl.fi
+358 30 474 8670

Julia Catalán
investigadora principal
julia.catalan@ttl.fi
+358 30 474 2210



Vaciado y limpieza de un contenedor que contiene polvo de grafeno. El trabajador utiliza un protector de filtro (TH3P) con un ventilador y una campana de extracción, ropa de protección tipo 5 y guantes de nitrilo.

Evaluación de riesgos y de la exposición

Evaluación de riesgos

Los estudios de toxicidad en cultivos celulares muestran que los efectos adversos de los GBMs dependen de sus características fisicoquímicas. Por lo tanto, el potencial de riesgo de cada GBM debe evaluarse por separado.

El principal mecanismo de toxicidad del grafeno es la generación de especies reactivas de oxígeno que pueden causar daño celular y del DNA. Las partículas pequeñas de grafeno pueden ser fácilmente aerotransportadas y representan un riesgo durante la inhalación.

Los estudios de toxicidad por inhalación muestran inflamación pulmonar, fibrosis y bio-persistencia en roedores y sugieren que las partículas de grafeno pueden translocarse desde los pulmones a otros órganos como los ganglios linfáticos y el hígado, pero los efectos en la salud de esta translocación de partículas aún se están investigando.

Exposición laboral

En el caso de los nanomateriales, incluido el grafeno, la vía respiratoria se considera la ruta de exposición más importante, ya que puede provocar una mayor dosis interna en el cuerpo. La exposición a través de la piel también es posible en muchas tareas laborales. La piel intacta es una protección efectiva contra las exposiciones externas.

Ya que aún no se conocen los riesgos para la salud derivados de una exposición laboral a largo término a niveles bajos de grafeno, se recomienda seguir el principio de precaución y evitar la exposición siempre que sea posible.

Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición por inhalación debe llevarse a cabo según los protocolos estandarizados de la OCDE y CEN (OCDE 2015, CEN 2018). El protocolo multi-métrico, armonizado para la medición de la exposición en el lugar de trabajo proporciona orientación para tres niveles de evaluación.

Nivel 1. Evaluación inicial

- Se recopila información relevante sobre el lugar de trabajo, los procesos y actividades de producción, siguiendo las mejores prácticas en higiene laboral.
- Junto con la información detallada sobre el material, se puede considerar el potencial de liberación y emisión de nanomateriales en el aire del lugar de trabajo.
- Se pueden utilizar herramientas de control o clasificación de riesgos para examinar el potencial de exposición.

Nivel 2. Evaluación de la exposición

- Se investiga la exposición a nano-objetos utilizando equipos de medición para detectar los niveles de nanomateriales en el aire en tiempo real durante los procesos de trabajo.
- El muestreo y análisis fuera de línea del aire en el lugar de trabajo para caracterizar los posibles nanomateriales (por ejemplo, utilizando microscopía electrónica) se combina con la evaluación en tiempo real.

Nivel 3. Evaluación de la exposición personal

- Se caracteriza exhaustivamente la exposición a partículas en suspensión en la zona de trabajo utilizando técnicas de vanguardia y se compara con los valores de referencia actualmente disponibles.



En la evaluación de riesgos y exposición, es esencial identificar y determinar las partículas de grafeno en relación al nivel basal de partículas

Prevención de la exposición laboral

Valores límite, recomendaciones

Actualmente no existen valores límite de exposición laboral (OEL) para el grafeno (ni para cualquier otro nanomaterial). Para las nanopartículas generadas industrialmente, el Instituto Finlandés de Salud Ocupacional (FIOH) ha definido los siguientes niveles objetivo para una exposición de 8 horas:

- 20000 partículas/cm³ (densidad > 6000 kg/m³)
- 40000 partículas/cm³ (densidad < 6000 kg/m³)

Los niveles objetivo del FIOH para las concentraciones de polvo en el lugar de trabajo (8 h) son los siguientes. Estos valores se pueden aplicar si no existe un valor OEL específico para el material en cuestión:

- 0,5 mg/m³ (polvo en general, fracción respirable)
- 2 mg/m³ (polvo en general, fracción inhalable)

Entorno de trabajo y evaluación de riesgos

En el entorno de trabajo, la exposición al grafeno y/o a otros materiales está relacionada con la seguridad y control de emisiones de los procesos y actividades en las etapas de síntesis y fabricación del producto. Además, en escenarios de fin de vida útil, como el reciclaje y otros, la exposición laboral puede ser significativa.

Actualmente, durante las fases de producción y manipulación, los GBM suelen estar en estados líquidos/pastosos, donde las emisiones y el potencial de exposición son bajos.

Las etapas finales del proceso de síntesis/producción, cuando la materia prima, es decir, el grafeno/material 2D producido, se seca y empaca para su uso posterior, son los puntos más críticos en cuanto a la exposición de los trabajadores; además de las tareas de mantenimiento y limpieza del equipamiento, donde el material seco puede liberarse de manera incontrolada o accidental.



Cuando se maneja el grafeno en estado líquido o en pasta, se recomienda el uso de una mascarilla de protección respiratoria FFP3, ropa de protección y guantes de nitrilo.

Prevención de la exposición

Como con cualquier otro agente químico nocivo en el lugar de trabajo, minimizar la exposición a materiales de grafeno requiere utilizar los principios de higiene ocupacional. Según la jerarquía de control, conocida como principio STOP, las medidas de control deben implementarse en este orden:

**S
T
O
P**

Sustitución Utilizar materiales menos peligrosos, evitar materiales secos, utilizar dosificadores y envases desechables.

Medidas técnicas Sistema cerrado, presión negativa del aire, campanas de extracción, ventilación localizada, automatización del proceso, filtración en la ventilación.

Medidas organizativas Minimizar la exposición (tiempo y número de trabajadores), capacitación en buenas prácticas, limpieza húmeda o aspirado certificado para polvos finos, restringir acceso a áreas de riesgo.

Protección personal Protección respiratoria (clase P3), ropa de protección, guantes, gafas de seguridad.

Listas y información adicional



Lista de verificación para el empleador

- ¿Se ha realizado una evaluación de riesgos en el lugar de trabajo?
- ¿Ha identificado los procesos que implican riesgo de exposición?
- ¿Se han tenido en cuenta los aspectos de seguridad en el plan de producción?
- ¿Hay fichas de datos de seguridad disponibles para los materiales y productos químicos?
- ¿Se ha instruido suficientemente a todos los trabajadores para que sigan las medidas de seguridad requeridas?
- ¿Se manejan los grafenos en forma de polvo?
- ¿Ha confirmado que las medidas técnicas son eficientes y funcionan correctamente?
- ¿Es la ventilación general suficiente?
- ¿Están fácilmente disponibles todos los equipos de protección personal necesarios?
- ¿Existen instrucciones de operación y mantenimiento para el equipo de protección y se siguen estas instrucciones?
- ¿Existen instrucciones de operación para procedimientos de limpieza seguros?



Lista de verificación para el trabajador

- ¿Ha leído las hojas de datos de seguridad de los materiales y productos químicos?
- ¿Los productos químicos, incluidos los nanomateriales, se almacenan y manejan de manera apropiada?
- ¿Ha recibido capacitación para seguir las medidas de seguridad requeridas?
- ¿Se siguen las instrucciones de seguridad en todas las etapas de trabajo?
- ¿Utiliza el equipo de protección personal indicado cuando es necesario?
- ¿Ha leído las instrucciones de operación y mantenimiento para el equipo de protección y las sigue?
- ¿El lugar de trabajo está limpio y ordenado?
- ¿Sabe cómo actuar en situaciones inesperadas o de emergencia?

¡Mantengase actualizado con la información científica más reciente y las pautas regulatorias!



Información adicional

- Graphene Flagship <https://graphene-flagship.eu/>
- GrapHazard project <https://projects.safera.eu/project/26>
- Hazard characterization of graphene based nanomaterials in energy production and storage (SAFERA) project <https://www.ttl.fi/en/research/projects/hazard-characterization-graphene-based-nanomaterials-energy-production-and-storagegraphazard-safeura>
- EUON study report of the potential health and environmental effects of GBMs https://euon.echa.europa.eu/documents/2435000/3268573/echa_2021_286_graphene_study.pdf
- The European Chemicals Agency (ECHA) REACH registration dossier of graphene <https://echa.europa.eu/it/registration-dossier/-/registered-dossier/24678>