

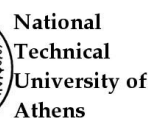
Tarea O1/A4

GUÍA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN SEGURAS DE NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA PIEDRA



Esta obra está bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento-Compartir Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

“El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.”





DIRECTRIZ COMÚN DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN SEGURAS DE NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA PIEDRA.

Este informe se incluye en la tarea "O 1-A4. Directriz común de medidas de prevención en la producción y el uso seguros de nanomateriales en el sector de la piedra", correspondiente a la producción intelectual 1 "Directriz de medidas de prevención de riesgos, salud y medio ambiente en la producción y uso seguros de nanomateriales en el sector de la piedra" del proyecto NanoSafe.

El uso de nanomateriales está representando una revolución en la mejora del rendimiento de los productos hechos de piedra natural. Las características mecánicas de los materiales pétreos han aumentado sus propiedades gracias al uso de recubrimientos y tratamientos superficiales basados en la aplicación de nanopartículas y nanocompuestos. Pero al mismo ritmo que la calidad del material ha aumentado con la aplicación de estos nanocompuestos, la seguridad de los trabajadores se ve muy comprometida. Los nanomateriales son una amenaza invisible para la salud de los trabajadores.

A pesar de las ventajas que ofrecen, muchos trabajadores no son conscientes de que están trabajando con ellos y sus efectos nocivos aún no están claros. Numerosos estudios establecen que existen riesgos comprobados para la salud relacionados con diversos nanomateriales manufacturados, que, dado su tamaño, pueden interactuar a nivel celular.

Por lo tanto, es necesario que los usuarios conozcan los posibles efectos adversos para la salud de los trabajadores y que adopten medidas para controlar el riesgo.

Gracias a la investigación llevada a cabo en los estudios previos, se ha implementado un marco metodológico de medidas preventivas en la manipulación y aplicación de nanomateriales en productos para el sector de la piedra en la herramienta de formación 3D.

El desarrollo de la Guía de riesgos, medidas de prevención de la salud y el medio ambiente en la producción y el uso seguros de nanomateriales en el sector de la piedra, que está disponible para todos los trabajadores de la industria de la piedra, ha sido la tarea central de esta primera producción intelectual.

La Guía y toda la información sobre el proyecto están disponibles en la siguiente url:

- Web del proyecto NanoSafe: <https://www.nanosafeproject.eu/>



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CONCEPTOS BÁSICOS	5
2.1. Nanotecnología	5
2.2. Nanomaterial.....	5
2.3. Nanoproducto	6
3. NANOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	7
3.1. Nanomateriales más utilizados en la construcción.....	8
4. NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA PIEDRA.....	14
4.1. Consolidantes	14
4.2. Repelentes al agua	16
4.3. Repelentes de aceite	18
5. APLICACIÓN DE NANOPRODUCTOS	19
5.1. Aplicación en laboratorio	19
5.2. Aplicación in situ	19
6. RIESGOS ASOCIADOS.....	21
6.1. propiedades toxicológicas.....	21
6.2. Efectos toxicológicos.....	22
7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN.....	25
7.1. Medidas organizativas.....	25
7.2. Equipos de protección colectiva:	26
7.3. Equipo de protección personal:	28
8. BIBLIOGRAFÍA.....	34



1. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología, en los últimos años, está revolucionando dramáticamente el desarrollo industrial de nuevos materiales. Los continuos avances en el campo de la nanotecnología, su rápida implementación en todo el tejido industrial y el elevado número de nanomateriales utilizados en diferentes sectores industriales, se enfrentan a un nivel limitado de conocimiento sobre los riesgos para la salud y la seguridad que los nanomateriales generan para los trabajadores y el medio ambiente.

Ahora, la gran revolución de la nanotecnología, tras grandes avances en otros sectores, está llegando al sector de la construcción, generando grandes cambios en la metodología tradicional de fabricación de materiales de construcción. Por lo tanto, es necesario reconsiderar la evaluación de riesgos y la eficacia de las medidas preventivas que generalmente se aplican en los lugares de trabajo con exposición a nanoagentes.



2. CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de profundizar en las medidas para prevenir la exposición a los nanomateriales, es necesario conocer algunos términos:

2.1. Nanotecnología

En los últimos años, el concepto más famoso relacionado con el gran desarrollo en el mundo de la ciencia y la tecnología es la nanotecnología. El término "nanotecnología" fue utilizado por primera vez en 1974 por el profesor Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio para describir los conceptos básicos de manipulación de la materia a nivel nanométrico (Quintili, 2012). En julio de 1990, uno de los primeros simposios internacionales sobre nanociencia y nanotecnología se celebró en Baltimore (EE.UU.), donde el estudio de los nanomateriales y la nanotecnología se definió formalmente como una subárea de las ciencias básicas.

La nanotecnología permite producir nuevos materiales, estructuras y dispositivos con propiedades extraordinarias mediante la explotación de las diferentes características de los materiales a nanoescala (Comisión Europea, 2012b).

2.2. Nanomaterial

En Europa, la definición más común de nanomateriales es la recomendada por la Comisión Europea, y las definiciones en las normas ISO de una amplia gama de nanoterminología.

De acuerdo con la Recomendación 2011/696/UE de la Comisión¹, un nanomaterial es: "Un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas, en estado no unido o como agregado o como aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en el tamaño numérico de partícula, una o más dimensiones externas están en el rango de tamaño 1 nm-100 nm.

Los nanomateriales comenzaron a popularizarse en la década de 1980, abarcando partículas dentro de un rango de 1-100 nm, al menos en una dimensión. A estas escalas, debido a un aumento en el área de superficie específica por unidad de volumen, las leyes habituales de la física dejan de aplicarse, y la física cuántica establece sus preceptos, manifestando propiedades ópticas, mecánicas, magnéticas, eléctricas, térmicas y biológicas diferentes a las habituales.

Desde 1990 ha habido un rápido crecimiento en el desarrollo de la nanotecnología (Bystrzejewska et al., 2009) debido al desarrollo de técnicas y equipos de síntesis que permiten la manipulación de nanopartículas (Nowack & Bucheli, 2007).



2.3. Nanoproducto

El advenimiento de la nanotecnología ha llevado al desarrollo de innumerables aplicaciones y productos nuevos, fomentando la incorporación de materiales nanoestructurados en productos comerciales conocidos como nanoproductos. La tendencia en la diversificación y fabricación de nanoproductos aumentará exponencialmente en los próximos años, ya que se ofrecerán a los consumidores como productos maravillosos asequibles (Chih-cheng et al. 2012).

La variedad de nanoproductos ha crecido a pasos agigantados y continuará haciéndolo, incluyendo textiles, cosméticos, pinturas, suplementos alimenticios, dispositivos electrónicos, productos de limpieza y materiales de construcción, entre otros (Wilson Center, 2015).



3. NANOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción también ha recibido muchas innovaciones hasta ahora en relación con el uso de la nanotecnología. Las aplicaciones de la nanotecnología en materiales de construcción hoy en día ofrecen nuevas oportunidades en el sector, generando materiales con propiedades específicas y avanzadas como mayor resistencia mecánica, mayor durabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia al fuego, materiales superhidrófobos, autolimpiantes, antibacterianos, etc.

A pesar de esto, la nanotecnología en la industria de la construcción, en comparación con otros sectores, se encuentra en una etapa temprana de desarrollo y expansión. Esta situación se justifica por la tradicional inercia del sector para invertir poco en innovación y explotar ideas que han sido aportadas por otras ciencias e industrias, y el alto nivel de capital inicial requerido para la provisión de nanoinstrumentación para investigación y desarrollo técnico tampoco es motivador.

Por otro lado, los nanoproductos pueden no ser competitivos, en comparación con el rendimiento y el precio aceptables de los productos existentes, aunque el factor más importante en el lento ritmo de uso de los nanomateriales en este sector es la falta de conocimiento sobre nanotecnología en el sector industrial y la falta de conexión entre la investigación y el desarrollo industrial.

Sin embargo, no se puede ignorar el potencial de las aplicaciones de la nanotecnología, y se espera que el uso de nanoproductos en la construcción aumente como resultado de la pequeña cantidad necesaria para lograr las propiedades en los productos y la disminución esperada en el costo de los nanomateriales cuando se producen en grandes cantidades.

La nanotecnología es capaz de mejorar las propiedades de los materiales tradicionales o desarrollar otros nuevos (Hanus & Harris, 2013), a continuación, se dan algunos ejemplos que ilustran posibles aplicaciones.

- En primer lugar, en relación con los derivados del cemento, mediante la adición de nanotubos de carbono y nanofibras, la resistencia del cemento se puede duplicar (Nasibulina et al., 2010). La nanosílice también permite obtener hormigones de alta resistencia que pueden alcanzar los 500MPa (Schmidt et al., 2013).
- En cuanto a los recubrimientos, es posible proporcionar propiedades antimicrobianas con la adición de nanoplatina, para su uso en entornos hospitalarios, por ejemplo (Kumar, Vemula, Ajayan, & John, 2008).
- Otra solución para prevenir posibles fallas en las carreteras debido a la penetración del agua es proporcionar al suelo propiedades hidrófobas al tiempo que mejora sus propiedades geotécnicas (Ugwu, Arop, Nwoji y Osadebe, 2013).

En el sector de la construcción, los nanomateriales se utilizan a menudo en forma de aditivos, recubrimientos y tratamientos. Estudios realizados en Suiza y Japón muestran que nanomateriales como Ag, CeO₂, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂, ZnO y Al₂O₃ ya están presentes en el sector de la construcción. A pesar de su presencia en diversos materiales de construcción, los productos que contienen nanopartículas en su composición y utilizados en el sector siguen siendo productos de nicho en Europa y actualmente se dispone de muy poca información sobre ellos, tanto en el ámbito de la salud como en el del medio ambiente.

3.1. Nanomateriales más utilizados en la construcción

DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)

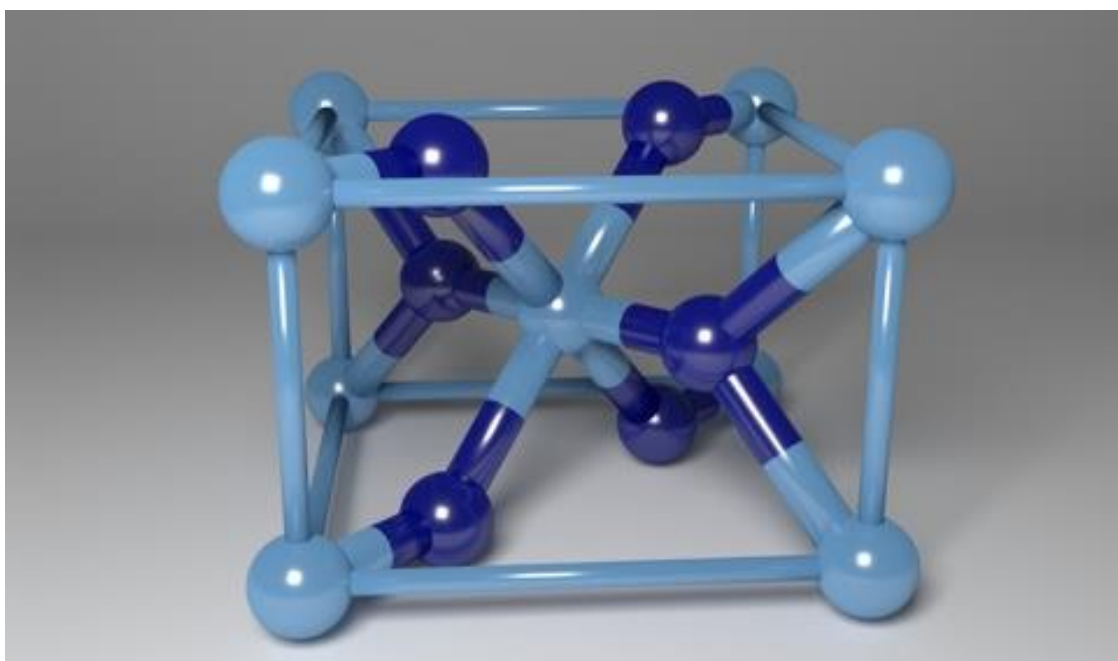


Figura 1. Dióxido de titanio. Fuente: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Estructuras:**
Hormigón y Cemento: en revestimiento exterior para superficies autolimpiantes.
- **Acabados y revestimientos:**
 - Las pinturas proporcionan funcionalidades fitocatalíticas y autolimpiantes.
 - Los revestimientos superficiales de la madera proporcionan protección de la madera contra la radiación ultravioleta.
 - Aislamiento/cerramientos: en el acristalamiento de ventanas, tiene propiedades antivaho, resistencia a la suciedad, autolimpiante y fotocatalíticas.

- **Aislamiento/cerramientos:**
Ventanas/Vidrios: in acristalamiento, tiene unnti-empañamiento, resistencia a la suciedad, autolimpieza y propiedades fotocatalíticas.
- **Instalaciones:** en células solares para generación de energía.
- **Infraestructuras:** en unespalto, pavimentos de carreteras, pantallas acústicas y túneles: para la duribilidad, reducción del ruido, reducción de contaminantes atmosféricos. Actividad fotocatalítica en paredes de túneles.

ÓXIDO DE ZINC (ZnO)

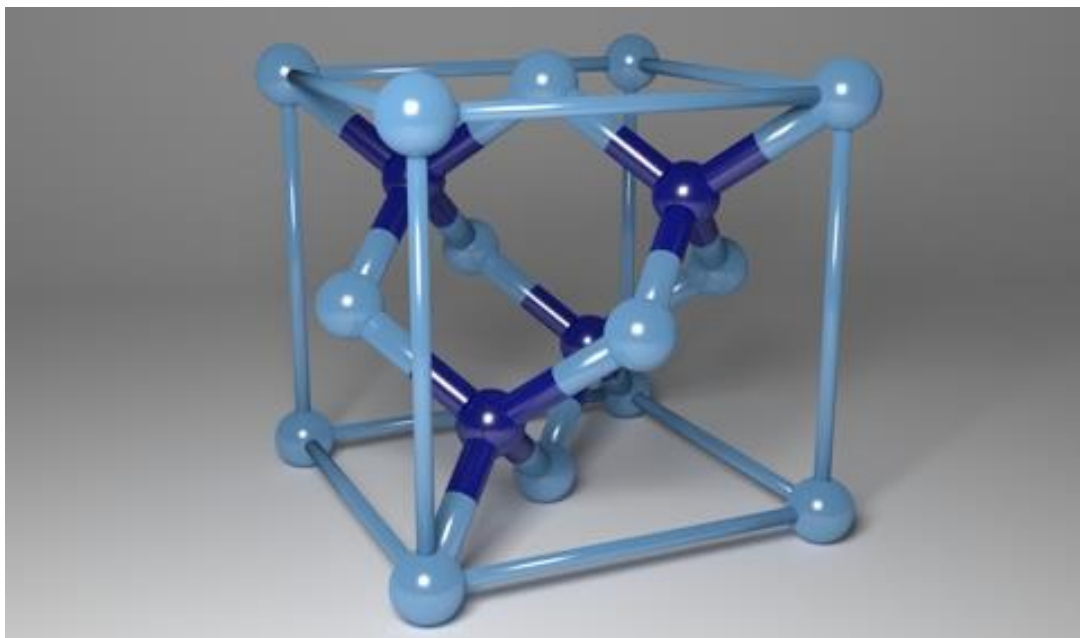


Figura 2. Óxido de zinc. Fuente: www.nanomateriales.lineapreencion.com

Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Acabados y revestimientos:**
 - Pinturas: proporciona resistencia, actividad fotocatalítica, actividad biocida, autolimpieza, mantiene la transparencia, hidrofóbica.
 - Revestimientos superficiales sobre madera: proporciona protección de la madera contra la radiación ultravioleta (UV).

DIÓXIDO DE SILICIO (SiO_2)

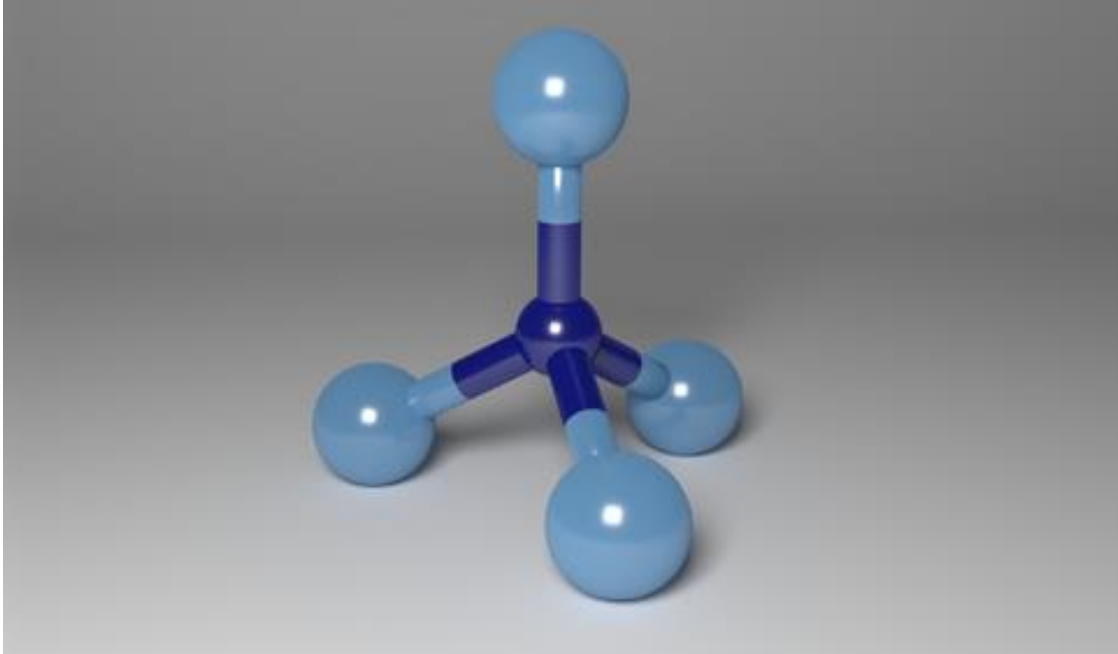


Figura 3. Dióxido de silicio. Fuente: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Hormigón y cemento:** hormigón y cemento: produce hormigones y cementos ultra fuertes, mejorando la resistencia mecánica, protegiéndolo de la corrosión, aumentando su durabilidad y haciéndolo más permeable al agua.
- **Acabados y revestimientos:**
 - Materiales cerámicos: aplidos en recubrimientos, tiene propiedades refrescantes, antirreflectantes y resistentes al fuego.
 - Pinturas: mejora la adherencia y durabilidad.
 - Revestimientos superficiales sobre madera: unpliega en la superficie, protege la madera haciéndola hidrófoba.
- **Aislamiento/cerramientos:**
Ventanas/Vidrios: en vidrio, este nanomaterial lo protege del fuego o de las fuentes de calor e incluso tiene propiedades antirreflectantes.

NANOTUBOS DE CARBONO (CNT)

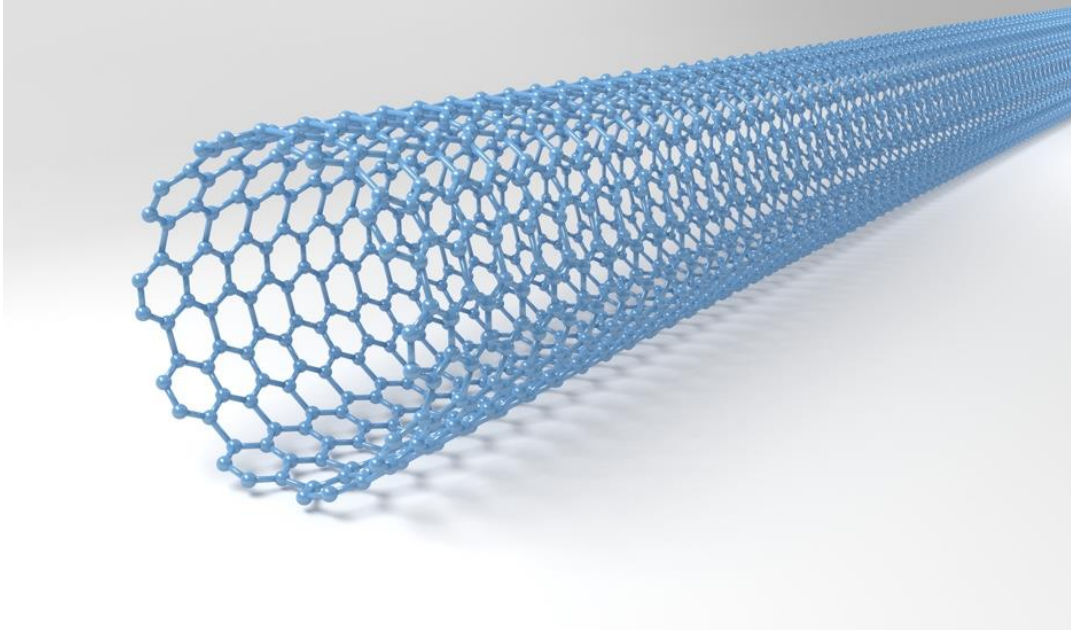


Figura 4. Nanotubos de carbono. Fuente: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Estructuras:**
 - Hormigón y cemento: el hormigón mejora las propiedades mecánicas.
 - Acero: se ha identificado como un posible reemplazo de los alambres de acero por este nanomaterial para su uso futuro.

ÓXIDO DE COBRE (CuO)

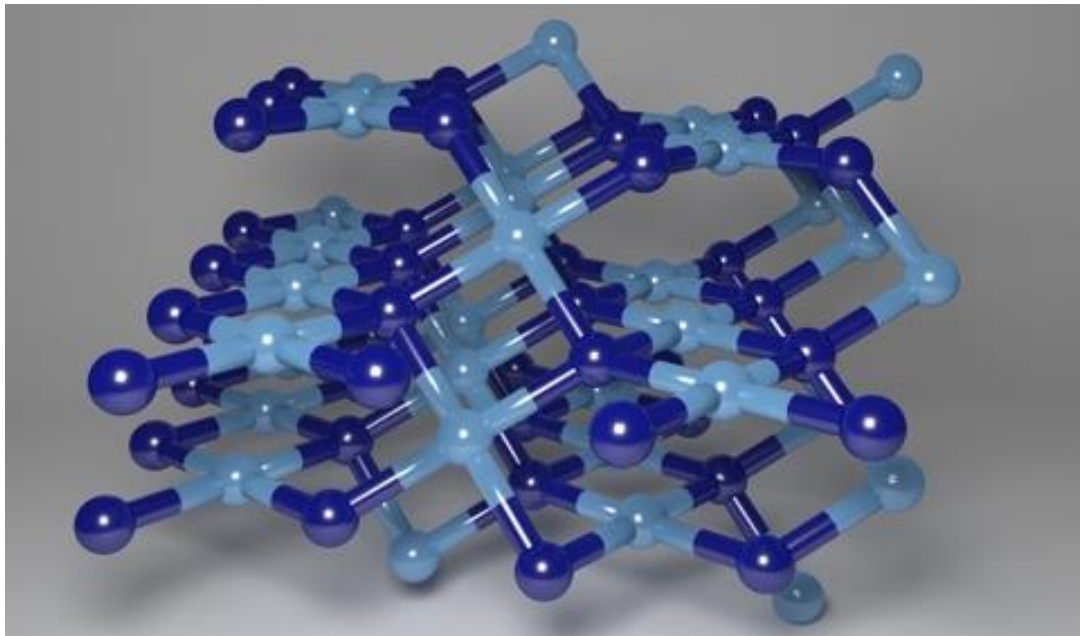


Figura 5. Óxido de cobre. Fuente: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Estructuras**
 - Acero: produce aceros resistentes a la corrosión y facilita la soldabilidad.

PLATA (Ag)

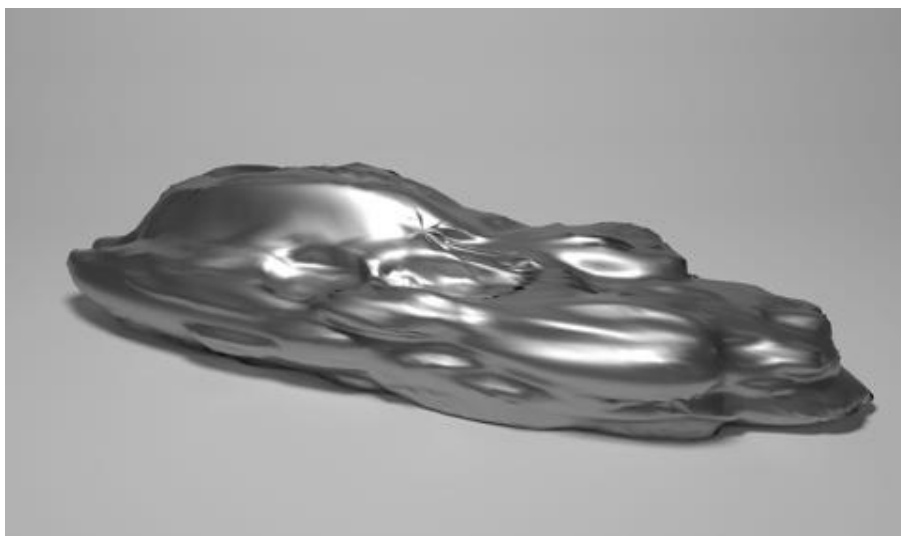


Figura 6. Plata. Fuente: www.nanomateriales.lineaprevencion.com



Sus principales aplicaciones in situ son las siguientes:

- **Acabados y revestimientos:**
 - Pinturas: los nanomateriales en este material, aplicados como pintura, tienen propiedades antibacterianas.
- **Aislamiento/Carcasas:**
 - Ventanas/Vidrio: tiene propiedades autolimpiantes sobre vidrio.



4. NANOMATERIALES EN EL SECTOR DE LA PIEDRA

En el sector de la piedra natural, existen numerosas situaciones de exposición a nanopartículas. Estas situaciones van desde el corte de material pétreo, la aplicación de pinturas o barnices hasta la aplicación de nanotratamientos.

Cortar material pétreo con una sierra, pulir, barrer el polvo, etc., generan la suspensión de nanopartículas capaces de penetrar en el cuerpo a través de las vías respiratorias e incluso en el tracto digestivo, como en el caso de la aplicación de barnices o pinturas.

Debido a su mayor complejidad e interés innovador, nos centraremos en los nanotratamientos. Actualmente hay numerosos tratamientos disponibles en el mercado para tratar la piedra contra el deterioro. Los tratamientos más populares hoy en día son los consolidantes y repelentes al agua, y además de los tratamientos convencionales, los tratamientos con nanopartículas han aparecido recientemente en el mercado.

Además de consolidantes y repelentes al agua, también podemos encontrar, aunque en menor medida, repelentes de aceite.

4.1. Consolidantes

La consolidación es el tratamiento destinado a disminuir la porosidad y aumentar la cohesión de la piedra y así aumentar su resistencia mecánica. Para que la consolidación funcione según lo previsto, el consolidante debe aplicarse homogéneamente y penetrar profundamente, este último requisito depende de factores como la estructura porosa de la piedra, las propiedades químicas del consolidante y el sistema de aplicación.

Las características que debe cumplir un consolidante son las siguientes (Wheeler G., 2005): - Debe aumentar la resistencia mecánica del material.

-Debe penetrar en el interior del material rocoso.

-La alterabilidad de la roca consolidada debe ser menor que la de la roca no tratada.

-Debe permitir el paso del vapor de agua a través de la roca para evitar la acumulación tanto de agua como de sales.

-Debe ser compatible con la roca, evitando la formación de compuestos nocivos o compuestos que puedan reaccionar con los componentes de la roca.

-Desde un punto de vista físico, las propiedades del material tratado deben ser similares a las del material no tratado para evitar la aparición de tensiones entre la capa tratada y el sustrato interno.

- Un buen consolidante no debe cambiar la apariencia de la piedra. La piedra no debe sufrir variaciones de color o brillo como resultado del tratamiento. Además, con el tiempo, debe permanecer resistente a los agentes ambientales, especialmente a la radiación ultravioleta.

El auge de los nanomateriales ha propiciado su adaptación a todos los campos, incluido el sector de la piedra natural. En los últimos años, se han desarrollado nanomateriales con un efecto de consolidación en un intento de superar muchas de las desventajas de los consolidantes convencionales.

Las mejoras han sido posibles gracias al tamaño nanométrico de las nanopartículas (1-100 nm), lo que les confiere una mayor superficie específica y, por tanto, una mayor reactividad (Miranda, 2006; Berlanga, 2013).

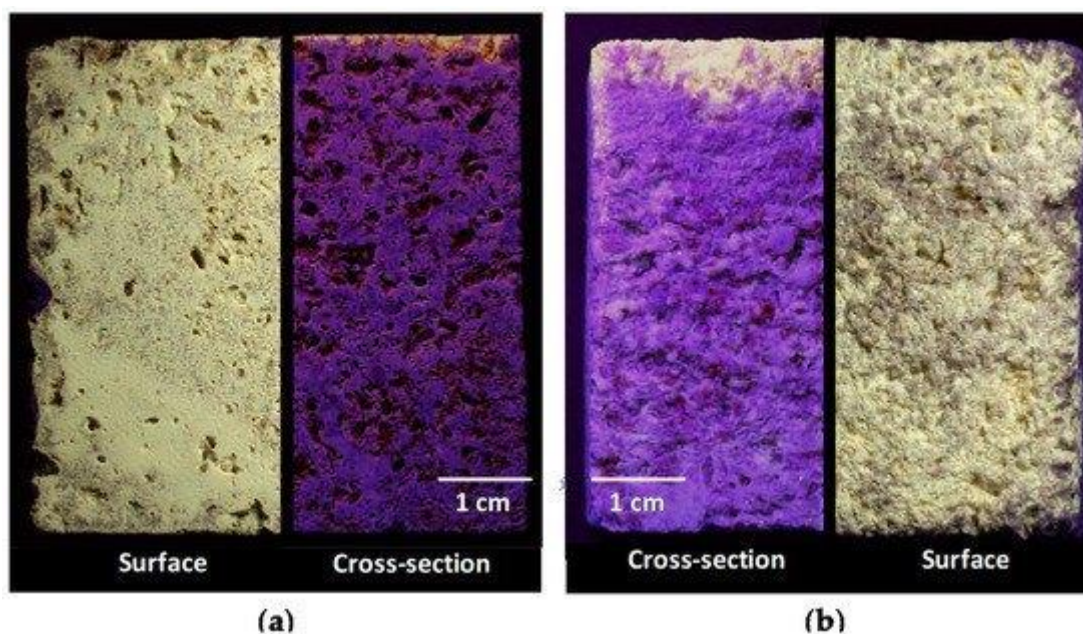


Figura 7. Piedra natural tratada con NPs de $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{ZnO}$ bajo luz UV. Fuente: Patrimonio cultural: ciencia, materiales y tecnologías

Entre las características de los consolidantes que se ven mejoradas por el hecho de que las partículas sean nanométricas se encuentran el aumento de la capacidad de penetración de los productos (D'Armada e Hist, 2012), mayor capacidad de reacción con el sustrato, mayor capacidad de recubrimiento, sin alterar negativamente su transpirabilidad y evitando el agrietamiento del consolidante. Entre los consolidantes más utilizados actualmente en uso se encuentran:

NANOCONSOLIDANTES LIME

La adición de nanopartículas de hidróxido de calcio coloidal cuyo disolvente es un alcohol, favorece una mayor velocidad de carbonatación, una conversión completa y una mayor concentración y profundidad de penetración del hidróxido de calcio en el material tratado (De Rosario, I., 2017).



NANOCONSOLIDANTES DE SÍLICE

Otro tipo de tratamiento con nanopartículas son los nanoconsolidantes de sílice. Estos aglutinantes están formulados en base a una dispersión coloidal de nanosílice en una dispersión acuosa. Después de que el agua se evapora, las nanopartículas de sílice se agregan para formar una matriz de sílice (Ripoll, A., 2020). Básicamente, se trata de dispersiones coloidales de dióxido de silicio nanométrico, que al secarse forman geles de sílice similares a los producidos cuando el silicato de etilo reacciona con el material pétreo, dando lugar a propiedades adhesivas.

4.2. Repelentes al agua

Los repelentes al agua reducen la absorción de agua a través de la superficie de la piedra modificando la tensión superficial de la piedra, evitando la penetración del agua en profundidad, pero permitiendo que el agua escape del interior hacia el exterior.

Un buen repelente al agua debe tener las siguientes características (Villegas et al., 2003; Amoroso y Fassina, 1983):

- Influencia nula o mínima sobre las propiedades ópticas del material pétreo.
- Estabilidad a los agentes intemperistas y a la radiación UV para asegurar una cierta eficacia del tratamiento a lo largo del tiempo.
- Buena adherencia al sustrato y resistencia al lavado.
- Facilidad de aplicación.
- Impermeabilidad al agua en estado líquido.
- Permeabilidad al vapor de agua. De modo que, si el agua en estado líquido logra penetrar en el interior de la piedra, puede evaporarse.
- Reversibilidad o re-tratabilidad.
- Sin subproductos nocivos cuando se aplica.



Figura 8. Piedra natural tratada con repelente al agua. Fuente: CSIRO.

Al igual que los nanoproductos de consolidación, los nanoproductos repelentes al agua han aparecido en las últimas décadas y, de nuevo, al ser partículas nanométricas, su capacidad de penetración mejora, dándoles un mejor rendimiento que los tratamientos convencionales.

Con la adición de nanopartículas, a veces se mejora la repelencia al agua, e incluso se puede lograr la superhidrofobicidad.

La adición de nanopartículas inorgánicas como sílice, aluminio, estaño y óxidos de titanio a los polisiloxanos comerciales provoca, después de su aplicación a la piedra, la aparición de una cierta rugosidad superficial y una reducción de la energía superficial, lo que confiere a la piedra propiedades hidrófobas (Manoudis, 2009).

Además de las partículas inorgánicas, las nanopartículas de sílice también son de particular interés. Han demostrado ser eficaces como consolidantes y repelentes al agua aplicados sobre rocas silíceas, granitos y areniscas (Pérez, N., 2017). Estas nanopartículas, añadidas a una mezcla de oligómeros de sílice orgánicos e inorgánicos en presencia de un surfactante, permiten obtener superficies superhidrófobas (Facio y Mosquera, 2003).

Otras nanopartículas utilizadas para lograr el efecto repelente al agua son las nanohidroxiapatitas, que, cuando se agregan a TEOS, mejoran considerablemente las propiedades mecánicas y la resistencia a las pruebas de envejecimiento acelerado (De Rosario, 2017).



4.3. Repelentes de aceite

En los últimos años, se ha fomentado fuertemente la aplicación de materiales que proporcionen protección antigraffiti junto con propiedades hidrófobas para reducir los costes de mantenimiento y minimizar las intervenciones de restauración. Para estas aplicaciones, se deben fabricar recubrimientos que exhiban simultáneamente propiedades hidrófobas y oleofóbicas para prevenir o limitar la penetración de manchas en los poros de la piedra. Dichos materiales se han fabricado con éxito con largas cadenas laterales de hidrocarburos o compuestos fluorados, estos últimos proporcionando las propiedades oleofóbicas. Otras estrategias efectivas han implicado la adición de nanopartículas en polímeros fluorados. Aunque se reconoce la importancia de los recubrimientos de piedra capaces de repeler no solo el agua sino también otras sustancias, la literatura actual enfatiza el comportamiento protector contra el agua, mientras que la oleofobicidad de la superficie es mucho menos investigada.



5. APLICACIÓN DE NANOPRODUCTOS

La eficacia de la aplicación de un tratamiento depende de la profundidad del tratamiento, del patrón de distribución generado en la estructura porosa y de otros factores como la adecuación del tratamiento aplicado, el tipo de material, la concentración del tratamiento, el tiempo de contacto, las condiciones de trabajo, etc.

Se pueden distinguir dos tipos de métodos de aplicación:

5.1. Aplicación en laboratorio

Si el material de piedra se puede mover y transportar a un laboratorio, los métodos de aplicación son a menudo más efectivos que los métodos de aplicación in situ. Los métodos de aplicación de laboratorio incluyen:

5.1.1. Inmersión

Un método de aplicación de tratamientos en inmersión. Este proceso implica la inmersión completa del material pétreo en el tratamiento. Se suele realizar a presión y temperatura ambiente, aunque se pueden hacer variaciones en estos parámetros. Diferentes condiciones de presión y temperatura. Es aconsejable agregar la solución de tratamiento gradualmente para permitir que el aire escape del sistema poroso.

Una variante de este método es realizarlo bajo vacío, lo que generalmente resulta en una mayor penetración. En este método, es necesario utilizar un recipiente de vacío, un tanque de solución y una bomba. Cuando se alcanza una presión suficientemente baja, se facilita la penetración de la solución. Cuando el objeto está completamente cubierto, la válvula se cierra, manteniendo la presión durante un tiempo, y luego la bomba se cierra, volviendo a la presión atmosférica.

5.1.2. Capilaridad

Otro método de aplicación del tratamiento es la acción capilar. En este caso, el material pétreo se coloca dentro de un recipiente que se puede cubrir para evitar la evaporación del disolvente. La solución penetra en el material a través de la estructura porosa. Como en el caso anterior, la solución se agrega lentamente para permitir que el aire escape del sistema poroso.

5.2. Aplicación in situ

Cuando la aplicación tiene que llevarse a cabo in situ, generalmente es más difícil lograr una alta penetración. Entre los tipos de aplicación in situ más utilizados se encuentran:

5.2.1. Soluciones pulverizadas o aerosolizadas

Este método logra una buena profundidad de penetración. El disolvente puro o una solución muy diluida debe vaporizarse para favorecer la difusión y, por lo tanto, aumentar la penetración. La penetración se incrementa mediante el uso de soluciones calientes y el aumento progresivo de su concentración.



5.2.2. *Aplicación con brocha o rodillo.*

La aplicación con brocha o rodillo generalmente no permite una buena penetración.

5.2.3. *Aplicación directa*

La aplicación directa apunta a un alto tiempo de contacto. Para este propósito, se utilizan tampones cubiertos con material plástico para evitar la evaporación. Este método permite la aplicación sobre grandes superficies siempre que se disponga de un mecanismo que permita la recuperación del exceso de solución.

Este sistema se puede mejorar generando condiciones de presión por debajo de la presión atmosférica para que, una vez aplicado el exceso de solución, se extraiga el aire para que la solución se adhiera a la superficie del material pétreo.



6. RIESGOS ASOCIADOS.

Los datos científicos sobre los efectos de los nanomateriales en la salud y la seguridad de los trabajadores son escasos. Por lo tanto, se debe considerar si la partícula de tamaño nanométrico representa un riesgo diferente al de las partículas de tamaño no nanométrico de la misma composición.

A medida que el tamaño de partícula disminuye, el área de superficie específica aumenta y, por lo tanto, aumenta la reactividad de la partícula. La reactividad aumenta. Debido a este aumento, las partículas de tamaño nanométrico pueden causar efectos adversos en el cuerpo que los causados por partículas no nanométricas de la misma composición. partículas con la misma composición química, ya que pueden interactuar en el cuerpo de diferentes maneras. organismo de diferentes maneras. Si las nanopartículas exhiben nuevas propiedades físico-químicas en comparación con las mismas partículas, existe la posibilidad de que esto pueda ir acompañado de nuevas propiedades toxicológicas. propiedades toxicológicas. Por lo tanto, los riesgos asociados con los nanomateriales estarán relacionados principalmente con el tamaño de partícula. principalmente relacionado con el tamaño de partícula.

6.1. propiedades toxicológicas.

Algunas de las propiedades toxicológicas de los nanomateriales son:

Translocación: Dada su dimensión nanométrica, los nanomateriales pueden alcanzar partes de sistemas biológicos que normalmente no son accesibles para partículas más grandes. Esto incluye una mayor capacidad para cruzar los límites celulares, o para pasar de los pulmones al torrente sanguíneo y de allí a todos los órganos del cuerpo, o incluso a través de la deposición en la nariz, para pasar directamente al cerebro. Este proceso se conoce como translocación, y en general, los nanoobjetos pueden translocarse mucho más fácilmente que otras estructuras más grandes.

Toxicidad: Las nanopartículas tienen un área de superficie mucho mayor que la misma masa de partículas grandes. En la medida en que el área superficial es un factor de toxicidad, esto implica claramente un posible aumento de los efectos tóxicos de las partículas a nanoescala.

-Biopersistencia: algunas nanopartículas n (por ejemplo, nanocables) muestran una alta proporción de apariencia biopersistente, con morfología y durabilidad similares a las fibras de amianto, y por lo tanto es probable que persistan en los pulmones si se inhalan, causando inflamación y, en última instancia, enfermedad.

-Solubilidad: Se ha demostrado que la reducción de tamaño en algunos nanoobjetos está asociada con una mayor solubilidad. Este efecto podría conducir a una mayor biodisponibilidad de materiales que se consideran insolubles o poco solubles en el gran tamaño de partícula.

6.2. Efectos toxicológicos.

Los efectos toxicológicos de los nanomateriales en el cuerpo dependen principalmente de:

Factores relacionados con la exposición: vías de entrada en el organismo, duración y frecuencia de la exposición y concentraciones ambientales. La deposición y absorción de nanopartículas en el cuerpo se produce principalmente a través de tres rutas principales: la inhalación, la vía dérmica y la digestiva.

A través de la vía respiratoria, dependiendo de la forma y composición química del nanomaterial, puede penetrar y depositarse en diferentes partes del árbol respiratorio. Esta es la principal vía de exposición para los trabajadores de la construcción, especialmente durante los trabajos de mecanizado sobre nanomateriales en los que se genera polvo [corte, lijado, taladrado, taladrado, etc.] o neblina [pulverización de pintura].

Hay que tener en cuenta la vía dérmica ya que es más probable que las partículas más pequeñas pasen a través de la piel, por lo que esta vía cobra mayor importancia en tareas en las que una gran parte del cuerpo del trabajador está en contacto con nanomateriales.

Los nanomateriales también pueden entrar en el cuerpo a través del tracto digestivo como resultado de prácticas higiénicas deficientes durante la manipulación de nanomateriales o al tragar los retenidos en el tracto respiratorio superior.

Factores relacionados con el trabajador expuesto: susceptibilidad individual, actividad física en el lugar de trabajo, sitio de deposición y la actividad de ruta en el lugar de trabajo, sitio de deposición y ruta tomada por los nanomateriales una vez que ingresan al cuerpo. penetran en el cuerpo.

Factores relacionados con los nanomateriales: toxicidad intrínseca del nanomaterial.

Aunque hay muy poca información sobre los riesgos de seguridad que pueden plantear los nanomateriales, se sabe que los riesgos de incendio y explosión son los más preocupantes.

El tamaño de partícula o área de superficie específica es uno de los factores involucrados en la facilidad de ignición y la violencia explosiva de una nube de polvo. Debido a su tamaño, pueden permanecer en el aire durante largos períodos de tiempo, lo que aumenta la posibilidad de crear nubes de polvo potencialmente explosivas, y debido a su mayor superficie, las nanopartículas pueden cargarse fácilmente electrostáticamente, lo que aumenta el riesgo de ignición.

Sin embargo, los nanomateriales particulados en forma de polvo pueden plantear riesgos de explosión, mientras que sus materiales correspondientes pueden suponer un riesgo de explosión. riesgos de explosión, mientras que sus materiales correspondientes pueden no hacerlo. Como regla general, las cantidades manejadas son generalmente pequeñas, por lo que el riesgo de explosión se reduce considerablemente. en gran medida.

Debe considerarse que algunos nanomateriales tienen el potencial de causar una explosión y, por lo tanto, requieren condiciones de trabajo especiales, por lo tanto, requieren condiciones



de trabajo especiales (atmósferas inertes). Los estudios sobre las implicaciones tóxicas de los nanomateriales muestran, por ejemplo, que las nanopartículas de dióxido de titanio y óxido de zinc utilizadas en protectores solares podrían causar daños en el ADN en ratones.

Uno de los primeros casos de muerte por exposición a nanopartículas se informó en 2009 cuando dos empleadas de una fábrica en China murieron de fibrosis pulmonar causada por la presencia de nanopartículas de resinas acrílicas.

A continuación, se describen algunos de los riesgos para la salud que plantean los nanomateriales utilizados en la construcción mencionados anteriormente.

- **DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂).** La inhalación puede producir efectos inflamatorios y genotóxicos. La inflamación, que a veces puede ser reversible, depende de la superficie por unidad de masa y de la duración y concentración de la exposición. Los estudios demuestran que la toxicidad de la forma anatasa del TiO₂ es mayor que la de la forma rutilo. En estudios in vitro, la TiO₂ anatasa induce estrés oxidativo en el tejido pulmonar humano con daño en el ADN. En exposiciones a largo plazo de TiO₂ anatasa, se han observado efectos carcinogénicos. El TiO₂ no se absorbe a través de la piel intacta.
- **ÓXIDO DE ZINC (ZnO).** Los estudios demuestran que causa reacciones de estrés oxidativo en el tejido pulmonar y daño al ADN. Por inhalación, se han observado efectos inflamatorios sobre el pulmón y efectos sistémicos; La distribución en el cuerpo se ve afectada por la solubilidad de las partículas. Se han observado efectos genotóxicos en estudios in vitro, mientras que los estudios in vivo fueron negativos. La absorción dérmica es limitada y no se han observado efectos locales.
- **DIÓXIDO DE SILICIO (SiO₂).** La toxicidad depende de la estructura cristalina presente. La sílice amorfa, a diferencia de la sílice cristalina, tiene baja toxicidad y no produce fibrosis progresiva. El humo de sílice está compuesto principalmente de sílice amorfa, aunque puede contener un mayor o menor porcentaje de sílice cristalina, dependiendo del proceso de producción.
- **NANOTUBOS DE CARBONO (CNT).** Pueden ser de pared simple (SWCNT) o de paredes múltiples (MWCNT). Ejercen toxicidad pulmonar: inflamación, fibrosis y granulomas epitelioides. La toxicidad del CNT está relacionada con el tipo de nanotubo (SWCNT o MWCNT), la rigidez y su relación longitud/diámetro. La toxicidad también está influenciada por el proceso de síntesis y la presencia de grupos activos, por ejemplo, ácidos carboxílicos. Durante la síntesis, se utilizan catalizadores como el hierro y el níquel, que pueden permanecer como pequeñas impurezas y aumentar la toxicidad. Se pueden suponer reacciones similares al amianto para nanotubos de cualquier composición que están en forma de fibras sueltas, no como fibras cortas o entrelazadas. Se ha encontrado que los CNT de más de 20 µm están asociados con el mesotelioma.



- **ÓXIDO DE COBRE (CuO).** Las partículas nanométricas de CuO son más tóxicas que el cobre metálico estabilizado. La solubilidad de este nanomaterial y la liberación de cobre son responsables del efecto tóxico, produciendo una respuesta inflamatoria.
- **PLATA (Ag).** Los efectos tóxicos producidos por las partículas de plata de tamaño nanométrico son poco conocidos. Tras la inhalación, se distribuyen a través de la sangre y pueden acumularse en varios tejidos y producir efectos sobre el hígado y el sistema inmunológico. A través del nervio olfativo pueden llegar al cerebro. Se sabe que la plata de tamaño nanométrico tiene un efecto letal sobre las bacterias y los fibroblastos.



7. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

La recopilación de información para identificar los peligros de cada nanoproducto debe centrarse en la búsqueda de datos sobre sus características y propiedades fisicoquímicas. La información puede obtenerse de etiquetas (pictogramas), fichas de datos de seguridad, recomendaciones de la Comisión Europea y otras fuentes, como bases de datos o literatura científica. bases de datos o literatura científica.

Las medidas preventivas que se adopten se adaptarán a cada situación de trabajo en función de los nanomateriales utilizados y de la información disponible sobre la exposición. Para ello, la selección adecuada de estas medidas requerirá el conocimiento del tipo de proceso, las características de los nanomateriales presentes y las características de los nanomateriales presentes, las exposiciones potenciales (frecuencia y duración de las operaciones), la duración de las operaciones, los procedimientos, las características del lugar de trabajo, etc.

Siempre que sea posible, se evitará la exposición a sustancias peligrosas, preferiblemente eliminando la sustancia, evitando la exposición o sustituyendo el material por un material menos peligroso. Si el uso y la generación de nanomateriales no pueden eliminarse o sustituirse por materiales y procesos menos peligrosos, la exposición de los trabajadores se reducirá al mínimo mediante medidas técnicas de control de la fuente, medidas organizativas y equipos de protección individual como último recurso.

En la implementación de medidas preventivas, es aconsejable seguir una jerarquía bien establecida de jerarquía de control de control:

- **Modificación del proceso:** para minimizar la exposición, se pueden realizar cambios en los procedimientos de trabajo, como reducir la cantidad de nanomaterial en determinadas actividades o sustituir los nanomateriales en forma de polvo por otra forma de presentación en la que el nanomaterial se encuentre en un medio líquido o incrustado en una matriz sólida.
- **Aislamiento/confinamiento:** las operaciones que impliquen una posible liberación de nanomateriales en el lugar de trabajo se llevarán a cabo en instalaciones separadas o en instalaciones donde la manipulación se lleve a cabo desde una zona protegida.
- **Medidas técnicas de control:** tienen como objetivo reducir la emisión del contaminante en la fuente de emisión mediante la creación de una barrera física. mediante la creación de una barrera física entre el trabajador y el nanomaterial. Entre las medidas técnicas de control se incluyen los sistemas de extracción localizados.

7.1. Medidas organizativas

- Minimizar el número de trabajadores expuestos.
- Reducir el tiempo de exposición.



- Delimitar y señalar las zonas de trabajo con pictogramas que indiquen la posible presencia de nanomateriales y las medidas de protección a adoptar.
- Minimizar la cantidad de nanomaterial particulado en uso en un momento dado.
- Formar e informar periódicamente a los trabajadores expuestos de los riesgos potenciales, así como de las medidas preventivas a adoptar.
- Mantener los locales de trabajo en condiciones adecuadas de orden y limpieza. Limpie regularmente los pisos, equipos, herramientas y superficies de trabajo con paños húmedos o una aspiradora equipada con un filtro. o una aspiradora equipada con un filtro de aire "absoluto" de muy alta eficiencia del grupo H (HEPA) clase H14 o superior (ULPA). No se debe utilizar aire a presión, escobas, cepillos o chorros de agua potentes. o no se deben utilizar chorros de agua potentes.

7.2. Equipos de protección colectiva:

El diseño del armario de humos y el caudal serán críticos para su correcto funcionamiento. En relación con estos sistemas de control, es importante considerar los siguientes aspectos:

- Use armarios de humos que encierren la fuente tanto como sea posible y estén ubicados lo más cerca posible de la fuente.
- Utilizar sistemas de recolección de filtración con alta eficiencia HEPA clase H14 o filtros ULPA o ULPA.
- Los conductos del sistema de extracción deben ser resistentes a los nanomateriales manipulados, ya que estos pueden ser manipulados, ya que estos pueden ser más reactivos que sus homólogos no nano escala, prestando especial atención a las juntas para evitar posibles fugas. Los sistemas de extracción localizada son probablemente las medidas más utilizadas en la industria. El objetivo de un sistema de extracción localizada es capturar el contaminante lo más cerca posible del punto donde se genera (fuente), evitando que se propague a la zona de exposición del trabajador. La selección del sistema de ventilación más adecuado dependerá del proceso, de la peligrosidad del contaminante, de la fuente a controlar y de los límites de exposición del nanomaterial correspondiente.

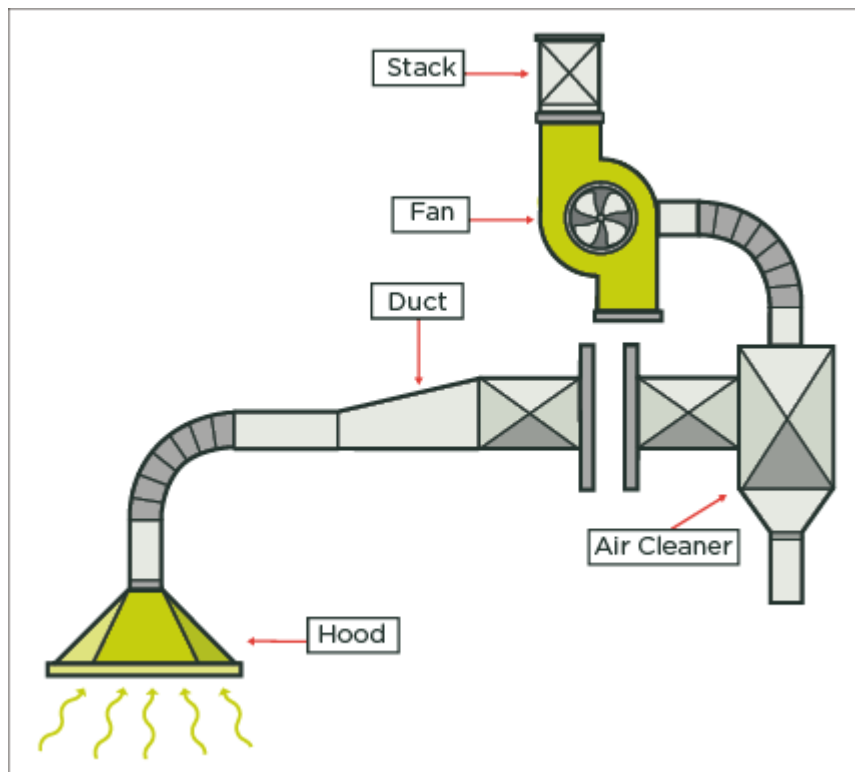


Figura 9. Sistema de extracción localizado. Fuente: ECL

- Utilizar esteras adhesivas fuera de las zonas de uso para evitar la dispersión de nanomateriales.

7.3. Equipo de protección personal:

Para el trabajo rutinario a corto plazo, se pueden usar máscaras completas, medias máscaras y cuartas de máscaras, que incorporan filtros de partículas P3, que se pueden incorporar en filtros intercambiables, como equipo de protección respiratoria. Para una exposición prolongada, se utilizan dispositivos de filtrado motorizados con filtros de partículas P3.



Figura 10. Máscara completa.



Figura 11. Media máscara.

Para la protección de las manos, se recomienda el uso de guantes protectores contra productos químicos y microorganismos, que deben cumplir con la norma EN 374-1:2016, y en el caso de utilizar guantes desechables, se recomienda el uso de dos pares de guantes superpuestos para conferir una mayor resistencia frente al deterioro mecánico de los guantes.



Figura 12. Guantes.



Si el nanomaterial está en forma de polvo, se debe usar ropa protectora.



Figura 13. Ropa protectora.

La protección de las membranas mucosas de los ojos se proporcionará mediante el uso de diferentes tipos de protección ocular dependiendo de la forma en que esté presente el contaminante.

- Gafas de seguridad: gafas de laboratorio con monturas universales.



Figura 14. Gafas de seguridad.

- Gafas de seguridad: tipo "buceo", protección ocular ajustada sostenida por una banda elástica alrededor de la cabeza.



Figura 15. Gafas de seguridad con goma.

- Protectores faciales: se extienden desde las cejas hasta debajo de la barbilla y a lo largo de todo el ancho de la cabeza del empleado.



Figura 16. Protector facial

Las crecientes preocupaciones sobre el impacto en la salud y la seguridad del uso de nanopolvos y otros nanomateriales se centran casi exclusivamente en los posibles efectos tóxicos, pero también debe tenerse en cuenta el riesgo de incendio y explosión de los nanopolvos.

Por otro lado, la producción y el uso de nanomateriales inevitablemente emiten cantidades significativas de nanopartículas al medio ambiente, que, a través de una amplia variedad de rutas, pueden llegar a los humanos y otros organismos.

Además, conduce inevitablemente a la aparición de nanorresiduos, para los cuales el conocimiento sobre su gestión es muy limitado y el panorama legislativo es insuficiente.



8. BIBLIOGRAFÍA

Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H. y Abdel-Mottaleb. (2009). M. NANOMATERIALES, APLICACIONES DE NANOTECNOLOGÍA, productos de consumo y beneficios. Nanomateriales: riesgos y beneficios.

Amoroso, G. y Fassina, V. 1983. Stone decay and conservation: Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection, Materials Science Monographs, vol. 11, Elsevier, Amsterdam, 453 pp

Bartos, P. J. M. (2009). En Bittnar, Z Bartos, PJM Nemecek, J Smilauer, V Zeman, J. (Ed.), Nanotechnology in construction: A roadmap for development

Becerra, J., Zaderenko, A. P. y Ortiz, P. (2019). Protocolo básico para el ensayo in situ de nanopartículas consolidantes sobre el patrimonio cultural de la piedra.

Berlanga Mora, I. 2013. Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias. Departamento de Química Inorgánica.

Broekhuizen, F. V., Broekhuizen, P. V. (2009). Nanoproductos en la industria europea de la construcción. Federación Europea de Trabajadores de la Construcción y la Madera y Federación Europea de la Industria de la Construcción.

Bystrzejewska-Piotrowska, G., Golimowski, J. y L. Urban, P. (2009). Nanopartículas: su potencial toxicidad, residuos y gestión ambiental.

Chih-cheng L., Chun-hsien W., Pei-Yu C., Chien-Wei H. (2012). Un estudio empírico del rendimiento de la comercialización de nanoproductos.

Comisión Europea. (2012a). Políticas. Extraído de http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.htm

Facio, D.S. y Mosquera, M.J. 2013. Estrategia simple para producir recubrimientos nanocompuestos superhidrófobos "in situ" sobre un sustrato de construcción. Interfaces ACS Appl Mater.

Golanski L, Guillot A, Tardif, F. (2010). "Evaluación experimental de dispositivos de protección individual contra diferentes tipos de nanoaerosoles: grafito, TiO₂ y Pt", Enfoque especial: Seguridad de nanopartículas, Journal of Nanoparticle Research.

Hanus, M. J. y Harris, A. T. (2013). Innovaciones nanotecnológicas para la industria de la construcción. Progreso en Ciencia de Materiales.

INSST. Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción. [en línea]. Instituto Nacional de Seguridad y Salud Trabajo (INSST), 2018.

Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G. (2008). Pinturas antimicrobianas de nanopartículas de plata a base de aceite vegetal.



Manoudis, P.N.; Tsakalof, A.; I. Karapanagiotis, I.; Zuburtikudis, I.; Panayiotou, C. 2009b. Fabricación de superficies superhidrófobas para una mayor protección de la piedra. Tecnología de superficies y recubrimientos 203. 1322-1328

Miranda, R. 2006. Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras. Revista Sistema madri+d, Especial Nanociencia y Nanotecnología. Monografía 15: 19-25

Nasibulina, L. I., Anoshkin, I. V., Shandakov, S. D., Nasibulin, A. G., Cwirzen, A., Mudimela, P. R., . . . Kauppinen, E. I. (2010). Síntesis directa de nanofibras de carbono sobre partículas de cemento.

Ripoll Casas, Alba (2020). Piedra de Novelda: evaluación de consolidantes nanoparticulados.

Schmidt M, Amrhein K, Braun T, Glotzbach C, Kamaruddin S, Taenzer R. (2013). Mejora nanotecnológica de materiales estructurales - Impacto en el rendimiento de los materiales y el diseño estructural

Quintil, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño

Ugwu OO, Arop JB, Nwoji CU, Osadebe NN. (2013). La nanotecnología como solución de ingeniería preventiva a fallas de infraestructura vial. J

Villegas, R.; Baglioni, R.; Sameño Puerto, M. 2003. Tipología de materiales para tratamiento. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamiento para la conservación de los edificios históricos. Villegas, R. y Sebastián Pardo, E. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla 2003. Cuadernos técnicos; 8. ISBN: 84-8266-370-4

Wheeler G. Alkoxysilanes y la consolidación de la piedra. (2005). El Instituto de Conservación Getty.

Directrices de la OMS sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos potenciales de los nanomateriales manufacturados. ISBN 978-92-4-155004-8