

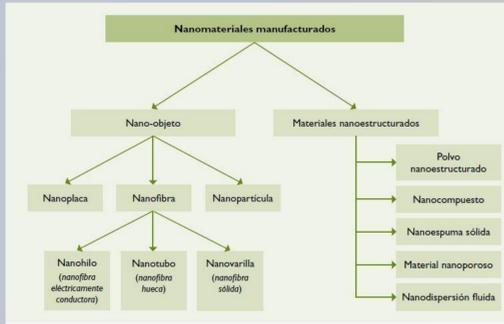


EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE NANOPARTÍCULAS

DIEGO ANTONIO GARCÍA ORTIZ

INTRODUCCIÓN

El término nanomaterial se aplica a una amplia variedad de materiales de composición y propiedades diferentes pero con la característica común de que al menos una dimensión externa de todas o parte de las partículas que lo constituyen sea inferior a 100 nanómetros.

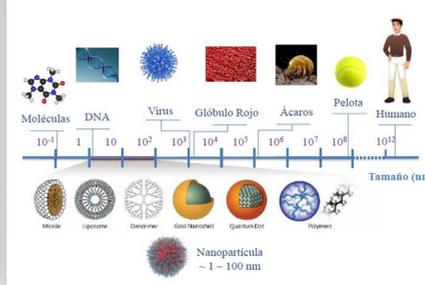


Los nanomateriales se pueden clasificar según su procedencia: pueden ser de origen natural, incidental o de origen manufacturado, también conocidos como ENM (Engineered Nanomaterial)

El tamaño nanométrico proporciona propiedades fisicoquímicas como área superficial específica, distribución, agregación, reactividad, poder de penetración o efectos cuánticos.

Entre los ENM más utilizados, encontramos el grafeno, nanotubos de carbono, nanopartículas (NPs) metálicas o micelas poliméricas. Además, tienen múltiples aplicaciones como en biomedicina, en dispositivos electrónicos, como superconductores o como sensores químicos

Es necesario realizar una evaluación de las nanopartículas por su mayor presencia en el mundo industrial así como comercial. Actualmente existen productos comercializados con nanomateriales y el número de estudios e información publicada ha ido aumentando por el interés que genera en investigación y en el desarrollo de nuevas tecnologías.



OBJETIVOS

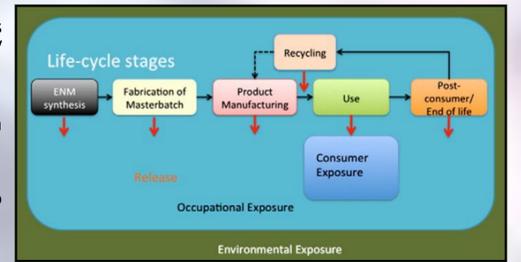
- Analizar el ciclo de vida de los nanomateriales manufacturados
- Analizar su presencia en el medio ambiente
- Evaluar cuál es el impacto que tienen en el medio ambiente
- Estudiar los actuales modelos de investigación toxicológica: in vitro, in vivo e in silico

CICLO DE VIDA DEL NANOMATERIAL

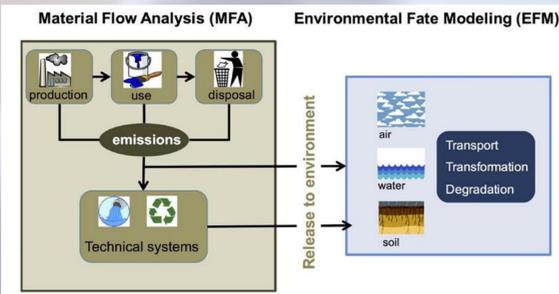
El ciclo de vida del producto puede dividirse en tres fases generales: manufacturación, uso del producto y final de vida/post-consumición/eliminación.

Es importante destacar la exposición ocupacional y durante la síntesis existe mayor probabilidad de liberación del ENM.

La exposición ambiental es mayor en fases posteriores al uso por la gestión de vertederos, la incineración y el reciclaje.



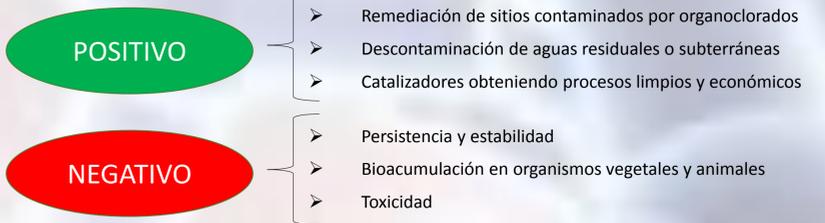
PRESENCIA E IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE



Cuantificar la liberación durante todas las etapas del ciclo de vida es uno de los principales factores para definir la exposición en los compartimentos ambientales.

Estudios documentados detallan la liberación al aire, NPs TiO₂ de filtros solares y al agua, NPs Ag tras lavado de prendas de vestir y otros textiles.

Debido a las diferentes propiedades fisicoquímicas de los distintos tipos de nanomateriales es difícil hacer afirmaciones genéricas del impacto que tendrán en el medio ambiente



MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Línea celular	NPs	Efectos
Fibrosarcoma y carcinoma epidérmico	Ag	Las células se volvieron menos poliédricas, más fusiformes, encogidas y redondeadas
Modelo BHE de rata	Ag	Respuesta inflamatoria, aumento de la permeabilidad y toxicidad tamaño-dependiente.
Epitelial humana	Ag ZnO	Daño mediado por estrés oxidativo por generación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Toxicidad dosis-dependiente.
Neuronas piramidales de rata	ZnO	Alteración de la homeostasis y las funciones fisiológicas de las neuronas.
Neuroblastoma humano	SiO	El efecto neurotóxico resultó del incremento de daño del DNA, apoptosis y detención del ciclo celular pero sin inducción de ROS.
Neuronas dopaminérgicas de rata	SiO	Daño oxidativo e incremento de la respuesta inflamatoria. Probable entrada en el cerebro vía intranasal y alteración de niveles bioquímicos.
Endotelio microvascular de cerebro humano	AlO	Alteración del potencial mitocondrial, inducción del estrés oxidativo y disminución de la expresión de proteínas de unión.
Neuroblastoma de ratón	CuO	Fragmentación del DNA, peroxidación lipídica y formación de micronúcleos.

ESTUDIOS IN VITRO

Modelo de estudio	NPs	Efectos
Bacterias	TiO ₂ ZnO Ag	Reducción de la biomasa, alteración de la diversidad y composición microbiana. La toxicidad está influenciada por los parámetros del suelo.
Diatomeas	MWCNT	Decrecimiento celular, células vacías visibles, presencia de objetos esféricos y reducción de la actividad física.
Especies vegetales y marinas	TiO ₂ Ag GO	Reducción del crecimiento celular, pigmentos fotosintéticos y actividad de enzimática. Bioacumulación del nanomaterial y generación de especies ROS. Efecto tóxico dosis dependiente.
Crustáceos y moluscos	TiO ₂ Ag CuO	Efecto tóxico que reduce la reproducción y la supervivencia cuanto mayor sea la concentración. Daño genotóxico en cadenas DNA, mediado por estrés oxidativo y el tiempo de exposición.
Dípteros	Ag	Incapacidad de terminar el ciclo de desarrollo y disminución de la fertilidad.
Especies acuáticas	Ag MWCNT TiO ₂ ZnO	Efecto tóxico dosis dependiente y daño por generación de especies ROS. Posible biomagnificación y entrada en la cadena alimentaria. El análisis genómico demostró daños en los genes de la fotorrecepción y regulación del reloj circadiano. Retarda la eclosión, provoca malformaciones e induce la muerte de embriones.
Ratones de laboratorio	MWCNT TiO ₂ ZnO AlO Ag	Formación de depósitos en la mucosa olfatoria y translocación al bulbo olfatorio, potencial ruta de entrada al SNC. Daños fisiopatológicos en hígado, pulmón y alteración de la permeabilidad de la barrera alveolar-capilar. Alteración de la microbiota intestinal. Alteración conductual relacionado con el deterioro mitocondrial, daño oxidativo y muerte celular.
Ratones gestantes	MWCNT TiO ₂	Inflamación materna y daños patológicos duraderos a nivel pulmonar y hepático. Exposición durante el periodo prenatal influye en la expresión de genes de la descendencia relacionados con las funciones y el desarrollo del SNC.

ESTUDIOS IN VIVO

Estudio toxicológico	Características
Permeación de las NPs en la BHE	Mecanismo extremadamente complejo. Depende de la capacidad para entrar en las células, tamaño, estado de agregación, carga superficial, potencial zeta
Agregación de las NPs en la BHE	Depende del potencial zeta, dispersión e interacción con proteínas. Genera especies ROS e induce apoptosis.
Citotoxicidad de las NPs en la BHE	Efectos citotóxicos y disrupción de la membrana lipídica relacionados con las propiedades moleculares

ESTUDIOS IN SILICO

BIBLIOGRAFÍA

- Oropesa-Núñez R, Jáuregui-Haza U, "Las nanopartículas como portadores de fármacos: características y perspectivas" Revista CENIC Ciencias Biológicas, 2012.
- INSHT, "Seguridad y Salud en el trabajo con Nanomateriales" 2015; NIPO: 272-15-054-5.
- Arora S, Rajwade J, Paknikar K; DOI: 10.1016/j.taap.2011.11.010
- Bhatia S; DOI: 10.1007/978-3-319-41129-3_2
- Villafuerte L, "Nanotecnología farmacéutica" Razón y palabra, 2009
- Mendoza C, Correa B, Nanotecnología y nanoseguridad en Uruguay. Nanoevaluación y propuesta de plan de nanoseguridad", 2013.
- Nowack B, David R, Fissan H, Morris H, Shatkin J, Stintz M, Zepp R, Brouwer D; DOI: 10.1016/j.envint.2013.04.003
- Nowack B; DOI: 10.1016/j.impact.2017.06.005
- Golokhvast KS, Kuznetsov VL, Chaika VV, Razgonova SA, Orlova TY; DOI: 10.1016/j.ijeri.2014.09.021
- Jahan S, Yusoff IB, Alias YB, Bakar AFBA; DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.04.001
- Arora S, Rajwade JM, Paknikar KM; DOI: 10.1016/j.taap.2011.11.010
- Arora S, Jain J, Rajwade JM, Paknikar KM; DOI: 10.1016/j.toxlet.2008.04.009

*** Bibliografía completa en la memoria.

CONCLUSIONES

- La emisión de nanopartículas puede ocurrir en cualquier punto de su ciclo de vida, siendo más probable durante la manufacturación. En ese punto, la exposición ocupacional es mayor que la ambiental.
- Debido a la variabilidad de propiedades fisicoquímicas es difícil hacer una afirmación general sobre el impacto en el medio ambiente.
- Estudios toxicológicos in vivo e in vitro concluyen con efectos perjudiciales en el sistema nervioso central, fertilidad, descendencia, entrada en la cadena alimentaria, daño celular por estrés oxidativo y muerte celular. Por otro lado, los estudios in silico son una buena herramienta para predecir y evaluar efectos toxicológicos.
- El número de estudios toxicológicos de nanopartículas de plata se aleja de los estudios de otras nanopartículas. Esto puede deberse al interés científico y comercial por sus propiedades fisicoquímicas y antibacterianas.
- Las futuras investigaciones tienen que ir encaminadas al estudio de las nanopartículas en general para poder prevenir daños a largo plazo por la continua emisión y exposición de los nanomateriales.