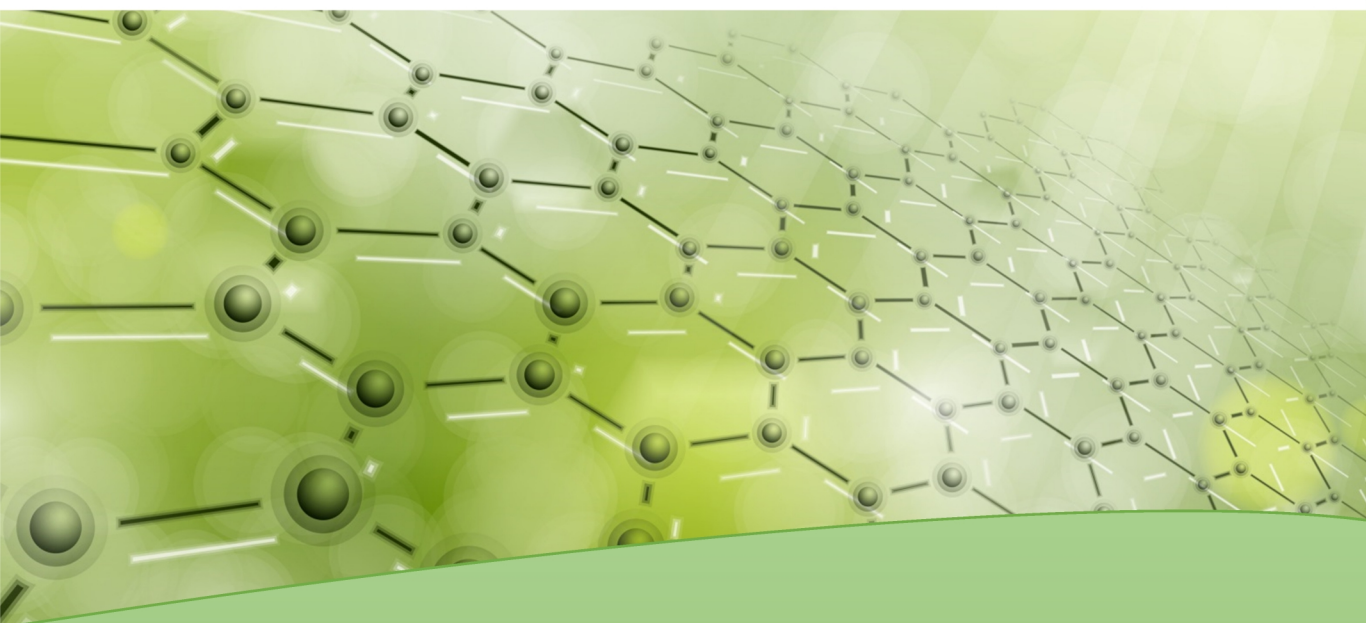




**NANO
SAFE
PACK**

Mini-Guía



**Buenas prácticas
para el manejo y uso
seguro de
nanopartículas
en industrias del
envase y embalaje**

Mini-Guía: Buenas prácticas para el manejo y uso seguro de nanopartículas en industrias del envase y embalaje

La investigación que ha llevado a la publicación del presente documento ha recibido financiación del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (FP7/2007-2013) bajo el acuerdo de subvención No. 286362 - NanoSafePack.

La información y opiniones mostradas en este documento son las de los autores y no necesariamente reflejan la opinión oficial de la Unión Europea. Ni las instituciones y organismos de la Unión Europea ni ninguna persona que las represente serán responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en el presente documento.

La reproducción del presente documento sólo podrá hacerse previa aprobación directa del NanoSafePack Consortium.

ISBN: 978-84-943398-1-3

Impreso en España

© NanoSafePack Consortium

Primera edición, 2014

La presente guía ha sido producida por el NanoSafePack Consortium:



Contenido

1.	Introducción	3
2.	Principales beneficios de la nanotecnología en la industria del envase y embalaje	4
3.	Estructura y contenidos de la Guía de Buenas Prácticas	6
4.	Buenas prácticas recomendadas para el manejo y uso seguro de nanofillers	8

1. Introducción

La nanotecnología es una de las tecnologías más prometedoras y de más rápido crecimiento en nuestra sociedad. Permite el desarrollo de una nueva generación de productos y procesos inteligentes e innovadores que proporcionan un enorme potencial de crecimiento en un gran número de sectores industriales.

En el caso específico de la industria del envase y embalaje, la aplicación de la nanotecnología va asociada principalmente a la incorporación y dispersión de los aditivos a escala nanométrica (comúnmente llamado 'nanofillers') en la matriz polimérica, incluyendo polímeros termoplásticos y termoestables, así como nuevos y prometedores materiales procedentes de fuentes renovables. El uso de estos nanofillers en la matriz polimérica lleva a la obtención de nanocomposites - polímeros reforzados con partículas que tienen una o más dimensiones del orden de 100 nanómetros (nm) o menos- que abren nuevas oportunidades de negocio para la industria ya que permiten el desarrollo de nuevos materiales con mejores propiedades ópticas, barrera, térmicas, mecánicas y/o de estabilidad dimensional.



Junto a los beneficios que la nanotecnología proporciona, se abre un debate sobre los peligros potenciales de los nanomateriales y los nanoproductos sobre la salud humana y el medio ambiente. Estudios sobre efectos nocivos potenciales de algunas nanopartículas de ingeniería han eclipsado en algunos casos los espectaculares beneficios de la aplicación de la nanotecnología en estos materiales, poniendo de relieve la necesidad establecer un enfoque seguro y responsable para el desarrollo de nanocomposites y su aplicación en el sector del envase y embalaje.

En este contexto, en el marco del proyecto NanoSafePack, se ha desarrollado una Guía de Buenas Prácticas para apoyar el manejo y uso de nanomateriales en la industria del envase y embalaje, teniendo en cuenta estrategias integradas para el control de la exposición a las nanopartículas en entornos industriales, y proporcionando a la pequeña y mediana industria datos científicos relevantes para minimizar y controlar la liberación y la migración de nanomateriales desde los nanocomposites poliméricos puestos en el mercado.

La elaboración de la Guía de Buenas Prácticas se basa principalmente en las actividades de investigación llevadas a cabo dentro del proyecto, que incluyeron una evaluación completa de peligros y exposición para obtener nuevos datos científicos sobre la seguridad de los materiales poliméricos reforzados con partículas de tamaño nanométrico. Además se llevó a cabo una evaluación de la eficacia de las medidas de gestión de riesgos así como un análisis del ciclo de vida de dichos nanocomposites con el fin de evaluar los impactos durante su fabricación, uso y eliminación.

El propósito de la presente mini-guía, desarrollada con el fin de acompañar a la versión completa de la Guía de Buenas Prácticas, es el de proporcionar una visión general de:

- Principales beneficios de la nanotecnología en la industria del envase y embalaje;
- Estructura y contenidos de la versión completa de la Guía de Buenas Prácticas;
- Recomendaciones para la manipulación y uso seguros de los nanofillers, demostrado además en diferentes casos de estudio.

Al final de este documento, se proporciona más información sobre cómo obtener la versión completa de la Guía de Buenas Prácticas.

2. Principales beneficios de la nanotecnología en la industria del envase y embalaje

El uso de nanomateriales ofrece nuevas oportunidades en el desarrollo de materiales de envase y embalaje innovadores, principalmente basados en nanocomposites poliméricos. El desarrollo de estos nanocomposites está emergiendo rápidamente y recientemente está ganando importancia en las principales aplicaciones comerciales, en particular en el envasado de alimentos. Varios materiales de envase y embalaje basados en nanotecnología ya están en el mercado.

La incorporación de nanocargas o nanofillers - típicamente materiales orgánicos e inorgánicos tales como metales (Al, Fe, Au, o Ag), óxidos metálicos (ZnO, Al₂O₃, TiO₂), óxidos metálicos mixtos, arcillas y nanotubos de carbono (CNTs) - en matrices poliméricas empleadas comúnmente como material de envase y embalaje proporciona una mejora de éstos en diversas propiedades, incluyendo las de volumen, de superficie, de estabilidad dimensional, de estabilidad química y otras, que dan valor a través de la mejora de la estabilidad fotocatalítica, sus propiedades ópticas, eléctricas y / o de estabilidad térmica.

Los nanofillers se incorporan en la matriz polimérica normalmente en cantidades del 1 a 10 % (en masa) dependiendo del tipo de polímero, que puede ser termoestable como poliésteres (UP), poliamidas (PA) o poliuretano (PUR) o bien termoplástico como el polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS).

Los polímeros reforzados con nanofillers son comparables con los polímeros convencionales en términos de propiedades barrera a gases, flexibilidad, estabilidad térmica y al agua, etc. Por otra parte, las nanopartículas podrían interaccionar deliberadamente con el medio que le rodea, alimento o ambiente, y por lo tanto pueden desempeñar un papel dinámico en la conservación y protección de alimentos (envases activos e inteligentes).

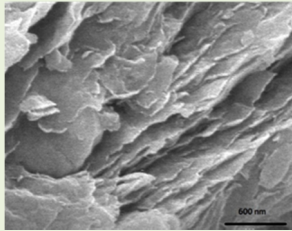
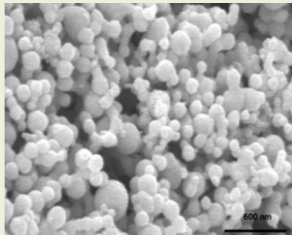
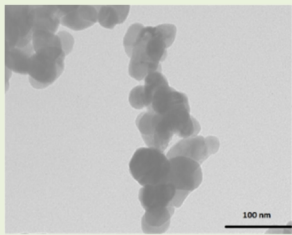
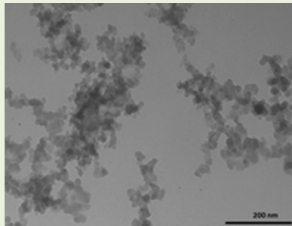
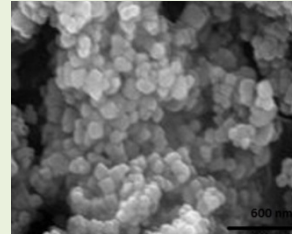
En vista de lo anterior, el uso de nanofillers abre una oportunidad para el desarrollo de nuevos materiales de envase y embalaje innovadores y de alto rendimiento. Las aplicaciones incluyen materiales reforzados con nanofillers (p.e. propiedades barrera), envases activos (p.e. antimicrobiano), envases inteligentes (p.e. indicadores de frescura) y envases biodegradables.

En la Tabla 1 se muestran algunas aplicaciones relevantes y las propiedades que se consigue mejorar en diferentes sistemas polímero-nanofiller. Por otro lado, en la Tabla 2 se describen las principales características de los nanofillers empleados comúnmente en aplicaciones de envase y embalaje, incluyendo información relevante sobre propiedades físico-químicas y composición química.

Tabla 1: Ejemplos de aplicaciones de nanopartículas en diferentes matrices poliméricas y mejora de las propiedades que confieren

Nanofiller	Matriz polimérica	Propiedades que mejoran	Sectores de envase y embalaje
Nanoarcillas (MMT)	Funcionalizada con metilamonio	PLA, PP	Mecánicas; Térmicas; Barrera.
	Funcionalizada con acetilcolina	PLA, PET	Alimentos y bebidas; Cosméticos
Plata (Ag)	PE, PP	Antimicrobiano.	Alimentos y bebidas
Óxido de zinc (ZnO)	PE, PP	Antimicrobiano.	Alimentos y bebidas
Dióxido de silicio (SiO ₂)	PET	Estabilidad térmica; Antimicrobiano.	Alimentos y bebidas
Dióxido de titanio (TiO ₂)	PET, PLA	Antimicrobiano; Protección UV; Resistencia;	Alimentos y bebidas
Nanotubos de carbono (CNT)	PE, PP, PVA, fibras	Resistencia a la tracción; Módulo; Mecánica.	Electrónica
Carbonato cálcico precipitado- CaCO ₃	PE, PP, PET, PLA	Viscosidad; Rigidez; Estabilidad dimensional; Propiedades térmicas.	Alimentos y bebidas; Cosméticos; Químicos

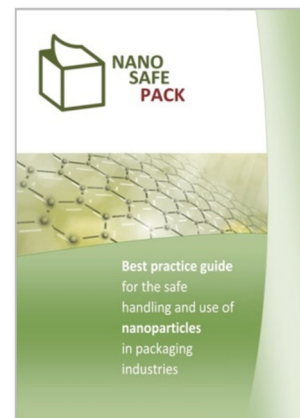
Tabla 2. Principales características de nanofillers empleados comúnmente en aplicaciones de envase y embalaje

Nanoarcillas		
Identificación Número CAS 1318-93-0 (montmorillonita); 57-09-0 (Bromuro de hexadeciltrimetilamonio)	Fórmula y peso molecular Aluminosilicato $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (>500) Modificador $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{Br})(\text{CH}_3)_3$ (364.45)	
Apariencia física Polvo color marrón	Composición química Montmorillonita $\geq 95\%$; Bromuro de hexadeciltrimetilamonio $\geq 1\%$	
Tipo de material Aluminosilicato laminado (montmorillonita) modificado con una sal orgánica (Bromuro de hexadeciltrimetilamonio)	Morfología y tamaño de partícula Platelets; 1nm (espesor) y 42 nm (distancia interlaminar)	
Método de producción Molienda mecánica e intercambio iónico (modificación)	Estructura cristalina Monoclinico (montmorillonite)	
Nano-Ag		
Identificación Número CAS 7440-22-4	Fórmula y peso molecular Ag (107.87)	
Apariencia física Polvo gris oscuro	Composición química Ag $\geq 99\%$	
Tipo de material Nanopartículas metálicas	Morfología y tamaño de partícula Esférica; 49 ± 13 nm	
Método de producción Deposición electroquímica	Estructura cristalina Cúbica centrada en las caras	
Nano-ZnO		
Identificación Número CAS 1314-13-2	Fórmula y peso molecular ZnO (81.39)	
Apariencia física Polvo blanco	Composición química ZnO $\geq 99\%$	
Tipo de material Partículas de óxido metálico	Morfología y tamaño de partícula Partículas de forma redondeada (no-regular); 122 ± 49 nm	
Método de producción Pirólisis por llama	Estructura cristalina Hexagonal-zincita	
Nano-SiO ₂		
Identificación Número CAS 7631-86-9	Fórmula y peso molecular SiO ₂ (60.08)	
Apariencia física Polvo incoloro	Composición química SiO ₂ ≥ 99	
Tipo de material Partículas de óxido metálico	Morfología y tamaño de partícula Partículas redondeadas; 30 ± 4 nm	
Método de producción Pirólisis por llama	Estructura cristalina Amorfo	
Nano-CaCO ₃		
Identificación Número CAS 471-34-1	Fórmula y peso molecular CaCO ₃ (100.09)	
Apariencia física Polvo blanco	Composición química CaCO ₃ $\geq 99\%$	
Tipo de material Sal inorgánica	Morfología y tamaño de partícula Partículas cúbicas; 107 ± 20 nm	
Método de producción Molienda mecánica	Estructura cristalina Calcita	

3. Estructura y contenidos de la Guía de Buenas Prácticas

La versión completa de la Guía de Buenas Prácticas contiene 12 capítulos destinados a apoyar a la industria del envase y embalaje con orientaciones para el manejo y uso seguro de nanofillers. Para ello la Guía incluye información técnica sobre aplicaciones y propiedades específicas de los nanofillers, así como nuevos conocimientos científicos en temas de comportamiento del nanofiller y nanocomposite en el medio ambiente, efectos sobre la salud humana y seguridad generados en el marco del proyecto NanoSafepack.

A continuación se presenta la estructura de la Guía y los contenidos principales de cada capítulo.



1. Introducción y visión

En este capítulo se describe el propósito y alcance de la guía y se define el público objetivo. El capítulo proporciona una introducción a la nanotecnología en la industria del envase y embalaje.

2. Tipos y aplicaciones de los nanomateriales en la industria del envase y embalaje

- 2.1. Nanotecnología y envase y embalaje: aplicaciones actuales y futuras
- 2.2. Tipos y aplicaciones específicas de nanomateriales en composites poliméricos
- 2.3. Aspectos ambientales, de salud y de seguridad de los nanofillers en aplicaciones de envase y embalaje.

En este capítulo se detallan los tipos de nanopartículas más empleadas actualmente en la industria del envase y embalaje como nanofillers, proporcionando información sobre sus aplicaciones y desarrollos actuales y futuros y presentando los posibles peligros asociados a dichos nanofillers.

3. Enfoque general para la Gestión del riesgo asociado a las nanopartículas

- 3.1. Peligros, exposición y riesgos de los nanomateriales
- 3.2. Estrategia de evaluación y gestión del riesgo
- 3.3. Roles y responsabilidades de empresarios y trabajadores
- 3.4. Buenas prácticas de empresa

En este capítulo se ofrece una visión general de los principios básicos de la evaluación y gestión de riesgos de las nanopartículas, y describe una metodología de evaluación del riesgo y estrategia de gestión del mismo como parte de una estrategia global de la empresa enfocada en la gestión de la salud y seguridad.

4. Descripción general del ciclo de vida de los envases y embalajes

En este capítulo se ofrece una visión general del ciclo de vida de los materiales de envase y embalaje, detallando las principales actividades y tareas involucradas en las distintas etapas del mismo, incluyendo la síntesis de los nanomateriales, la fabricación de productos intermedios y finales de envase y embalaje, el uso y vida útil y el tratamiento & eliminación en la etapa de fin de vida útil.

5. Seguridad durante la fabricación de productos de envase y embalaje

- 5.1. Naturaleza del trabajo
- 5.2. Actividades con elevada probabilidad de exposición
- 5.3. Medidas de gestión de riesgos
- 5.4. Efectos potenciales sobre la salud y seguridad en humanos y el medio ambiente
- 5.5. Naturaleza del uso en la etapa de servicio
- 5.6. Aspectos de salud y seguridad durante la etapa de servicio

En este capítulo se proporciona orientación específica sobre el manejo y uso de nanomateriales en la etapa de fabricación en la industria del envase y embalaje. Incluye la identificación de las actividades con mayor potencial de exposición a las nanopartículas, las medidas de gestión del riesgo recomendadas para minimizar la exposición de los trabajadores y la información sobre los posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. En este capítulo se aborda también la etapa del ciclo de vida de servicio, proporcionando información sobre los tipos de productos de consumo desarrollados empleando materiales nanocomposites basados en polímeros así como una visión general de aspectos relacionados con la salud y seguridad durante su uso por parte del consumidor.

6. Seguridad durante el procesamiento y eliminación en la etapa de fin de vida útil

- 6.1 Naturaleza del procesamiento y eliminación
- 6.2 Actividades con elevada probabilidad de exposición
- 6.3 Medidas de Gestión del riesgo
- 6.4 Efectos potenciales sobre la salud y seguridad en humanos y medio ambiente

En este capítulo se proporciona orientación específica sobre el manejo y uso de nanomateriales en la etapa final de vida, procesamiento y eliminación en la industria del envase y embalaje. Esto incluye información sobre las principales rutas de tratamiento y eliminación para envases y embalajes nanocompuestos y la identificación de las principales tareas con riesgo de exposición de los trabajadores durante los procesos de reciclado mecánico. Se ofrece orientación sobre las medidas de gestión del riesgo para minimizar la exposición potencial, y una visión general de aspectos relacionados con la salud y seguridad.

7. Comunicación del riesgo

- 7.1. Importancia de la comunicación de los riesgos
- 7.2. Informar y proteger a los trabajadores / empleados durante la fabricación de productos de envase y embalaje
- 7.3. Información y protección a los usuarios profesionales aguas abajo en la cadena de suministro
- 7.4. Información y protección a los consumidores

Este capítulo pone en relieve la importancia de la comunicación efectiva de los riesgos en la cadena de suministro de envases y embalajes y ofrece orientación en relación con las actividades de informar y proteger a los trabajadores, usuarios profesionales y consumidores. Esto incluye orientación sobre el desarrollo y aplicación de las fichas de datos de seguridad de los materiales, señalización de peligro en el lugar de trabajo y etiquetado de nanomateriales y productos de consumo.

8. Legislaciones, regulaciones y obligaciones europeas que afectan a la industria del envase y embalaje

- 8.1. Resumen de la legislación clave
- 8.2. Sustancias y productos
- 8.3. Seguridad y calidad del producto
- 8.4. Protección del trabajador
- 8.5. Fin de vida útil y medio ambiente
- 8.6. Esquema de informes
- 8.7. Buenas prácticas para el cumplimiento regulatorio

En este capítulo se ofrece una visión general de los reglamentos y legislación europea clave para los aquellos que trabajan en la industria del envase y embalaje. Esto incluye el asesoramiento para el cumplimiento de la legislación relativa a sustancias y productos, seguridad y calidad de productos protección de los trabajadores y del medio ambiente, gestión de residuos así como programas de notificación de los nanomaterial.

9. Normas y directrices para apoyar el desarrollo seguro de nanocomposites

En este capítulo se ofrece una visión general de las principales normas y documentos de orientación de relevancia publicados relacionados con la aplicación de la nanotecnología en la industria del envase y embalaje, incluyendo los de ISO, CEN, BSI y OCDE, que se puede utilizar en combinación con la Guía de Buenas Prácticas para apoyar el desarrollo seguro de nanocomposites poliméricos.

10. Recomendaciones de buenas prácticas

En este capítulo se presenta un resumen de recomendaciones de buenas prácticas para apoyar el manejo y uso seguro de las nanopartículas en la industria del envase y embalaje.

11. Casos de estudio

En este capítulo se recopilan tres casos de estudio que muestran la aplicación de las buenas prácticas durante el manejo de nanomateriales y nanocomposites en aplicaciones a escala laboratorio, planta piloto e industrial.

12. Preguntas más frecuentes

En este capítulo se ofrece una selección de preguntas frecuentes en la industria del envase y embalaje en relación al manejo y uso de nanofillers, relacionándolas con la información de capítulos anteriores de la Guía.

4. Buenas prácticas recomendadas para el manejo y uso seguro de nanofillers

La versión completa de la Guía de buenas prácticas de Nanosafepack contiene información y recomendaciones detalladas de buenas prácticas para el manejo seguro de nanomateriales en la industria del envase y embalaje, cubriendo toda la cadena de valor del producto, incluyendo la fabricación de producto intermedio (masterbatch nanocomposite/pellets), producción de artículos de envase, vida útil y los procesos de tratamiento de residuo y eliminación al final de su vida útil.



A continuación se muestra un resumen de algunas de las principales recomendaciones. Éstas no son exhaustivas y deben considerarse en el contexto de la información que aparece en la versión completa de la Guía de Buenas Prácticas.

De acuerdo con los resultados del proyecto Nanosafepack así como el actual marco legislativo en la UE, se recomiendan las siguientes medidas generales para promover el manejo y uso seguro de nanofillers:

- Reunir información sobre las propiedades fisicoquímicas, toxicológicas y ecotoxicológicas específicas de los nanofillers a emplear. Esto requiere realizar una recopilación y evaluación de toda la información pertinente disponible, que apoye la identificación de los peligros asociados al nanofiller;
- Identificar las fuentes de liberación y evaluar la probabilidad de exposición en el lugar de trabajo en base a las condiciones operativas específicas de la empresa. Aspectos tales como la duración (min / h) de la tarea, la frecuencia (días - semanas) y la cantidad de material manipulado (ng o mg), entre otros, deben definirse debidamente;
- Proporcionar medidas adecuadas para controlar la exposición, incluyendo buenas prácticas de higiene y limpieza, medidas de organización, equipos de protección individual (EPIs) y controles de ingeniería (ventilación general y localizada, sistemas de filtración);

En el caso específico de la industria del envase y embalaje, y en base a los estudios realizados en el marco del proyecto, existe un riesgo potencial de que los trabajadores estén expuestos a los nanomateriales, especialmente durante la etapa de síntesis de los mismos, la etapa de alimentación en el compounding en fundido (donde los nanomateriales se introducen en la extrusora), así como durante las operaciones de limpieza y mantenimiento, tanto de la extrusora como de las instalaciones donde se procesan los nanocomposites. En la etapa de fin de vida útil, la exposición puede producirse por ejemplo durante los procesos de reciclado mecánico (perforación, corte y / o trituración).

En la siguiente tabla (Tabla 3) se muestra un resumen de buenas prácticas y medidas de gestión del riesgo recomendadas para las actividades clave durante la producción de nanocomposites.

Tabla 3: Resumen de medidas para controlar la exposición durante la producción de nanocomposites.

	Consejo de buenas prácticas	Controles de ingeniería	EPI
Síntesis de nanomaterial	• Información, instrucción y formación; • Minimizar la cantidad de material particulado empleado en un momento dado; • Minimizar el número de trabajadores potencialmente expuestos;	• <i>Procesos a pequeña escala:</i> campanas o cajas de guantes; • <i>Procesos a mayor escala:</i> Contención física/ confinamiento de la fuente de emisión/ventilación por extracción localizada (VEL)	• Guantes de resistencia química; • Respiradores de media máscara con filtro de partículas P3; • Textiles de polietileno (PE) (procesos a gran escala); • Batas de laboratorio de material distinto al algodón (procesos a pequeña escala); • Gafas de seguridad.
Compounding en fundido	• Minimizar el tiempo de exposición; • Limpieza: contención de derrames y mantenimiento de las superficies del lugar de trabajo limpias; • Lavado de manos antes de abandonar el laboratorio/lugar de trabajo.	• Confinamiento de la fuente de emisión/ventilación por extracción localizada (VEL)	• Guantes de resistencia química; • Respiradores de media máscara con filtro de partículas P3; • Textiles de polietileno (PE) (procesos a gran escala); • Batas de laboratorio de material distinto al algodón (procesos a pequeña escala);
Mantenimiento & limpieza	• No barrer; • No emplear aire comprimido en la limpieza; • No emplear aspiradores normales en la limpieza; • Emplear aspiradores equipados con filtro HEPA; • Emplear materiales absorbentes/colectores de líquidos; • Información, instrucción y formación.	• Contención física/ confinamiento de la fuente de emisión/ventilación por extracción localizada (VEL)	• Guantes de resistencia química; • Respiradores de media máscara con filtro de partículas P3; • Monos de trabajo de polietileno Tyvek/Tychem no tejido; • Gafas de seguridad.
Tratamiento en etapa fin de vida útil	• Información, instrucción y formación; • Evitar procesos energéticos innecesarios que puedan generar polvo o aerosoles en el aire; • Minimizar la cantidad de nanomateriales particulados en uso en un mismo instante; • Minimizar el número de trabajadores potencialmente expuestos; • Minimizar el tiempo de exposición potencial.	• <i>Procesos con pequeñas cantidades:</i> campanas o cajas de guantes; • <i>Procesos a mayor escala:</i> Contención física/ confinamiento de la fuente de emisión/ventilación por extracción localizada (VEL)	• Guantes de resistencia química; • Respiradores de media máscara con filtro de partículas P3; • Batas de laboratorio de material distinto al algodón (procesos a pequeña escala);

Para demostrar la aplicación de las mejores prácticas en la preparación de nanocomposites en aplicaciones de envase y embalaje en diferentes lugares de trabajo, se han descrito tres casos de estudio (presentados a continuación) que contemplan:

- Actividades a escala laboratorio, incluyendo los análisis de control de calidad, la funcionalización de los nanomateriales y la preparación de mezclas o formulaciones que contienen nanomateriales;
- Actividades a escala planta piloto, incluyendo el procesado de masterbatch de nanocomposites basados en polímeros y su re-procesado para obtener film y
- Actividades a escala industrial, incluyendo el compounding de nanocomposites y la producción de film de nanocomposite basados en polímeros.

Cada caso de estudio incluye una descripción de: procesos de trabajo típicos; riesgos potenciales y recomendaciones de medidas de gestión de riesgos.

Caso de estudio a escala laboratorio

Alcance

Laboratorios que manejan pequeñas cantidades de nanomateriales (en polvo) de menos de 1 Kg por mes. Típicamente estos laboratorios llevan a cabo análisis de control de calidad y otras actividades como funcionalización o la preparación de mezclas o formulaciones.



Procesos de trabajo típicos

- Recepción de nanomateriales;
- Almacenamiento;
- Toma de muestras;
- Análisis / funcionalización / mezcla / formulación;
- Limpieza y mantenimiento;
- Gestión de residuos.

Riesgos potenciales

Actividad	Riesgo
Apertura de los envases de nanomateriales	Fugas/derrames accidentales por agitación del contenedor
Transferencia de envase de nanomateriales	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Pesaje de nanomateriales	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Manipulación de nanomateriales	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Limpieza del lugar de trabajo	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Manipulación de residuos	Generación de aerosoles y contacto dérmico

Recomendaciones para la gestión del riesgo

- **Recomendaciones generales**
Como norma general, los operarios del Laboratorio deben utilizar equipos de protección individual (batas de Laboratorio, gafas de seguridad, respiradores, guantes de nitrilo o látex, zapatos cerrados, etc.) como medida de precaución para evitar el contacto con la piel y en caso de fallo de los controles de ingeniería o derrames accidentales. Los guantes deben cambiarse frecuentemente.
- **Recepción y almacenamiento de nanomateriales**
Los nanomateriales deberían estar en envases herméticos y preferiblemente dentro de un embalaje secundario. Los nanomateriales envasados deberían transportarse al almacén en su envase bien cerrado. El acceso al almacén debe ser restringido a sólo personal autorizado
- **Muestreo**
Los envases de nanomateriales deben ser abiertos y cerrados dentro del lugar de trabajo (campana de Laboratorio, caja de guantes, etc.). Si los nanomateriales deben ser manipulados fuera de este lugar, deben utilizarse los EPIs.
- **Análisis/ funcionalización/ mezcla / formulación**
Los ensayos y procesos debe llevarse a cabo empleando los controles de ingeniería adecuados como contención (caja de guantes, campana de extracción, etc.) o cerramientos. No emplear campanas de flujo laminar horizontal (bancos limpios) ya que éstas dirigen el aire hacia el trabajador.
- **Mantenimiento y limpieza**
Deben establecerse y aplicarse procedimientos de trabajo para la limpieza de las áreas donde se manejan nanomateriales. Las superficies de trabajo deben limpiarse con aspiradores equipados con filtro HEPA y/o bayetas húmedas. Nunca barrer o utilizar aire comprimido.
- **Waste management**
Todos los envases usados o cualquier otro artículo que haya entrado en contacto con nanomateriales (por ejemplo guantes) deben mantenerse en bolsa de plástico cerrada en el área de trabajo hasta que sean recogidas por una empresa gestora de residuos autorizada. El lavado de las batas de laboratorio debería realizarse por un servicio de lavandería especializado o bien en la propia empresa por personal capacitado para ello.

Caso de estudio a escala piloto

Alcance

Planta piloto de compounding y procesamiento de film, trabajando con cantidades de hasta 10 Kg de nanomateriales en polvo por semana. Típicamente estas plantas piloto procesan masterbatch nanocomposite en base polímero y posteriormente lleva a cabo su reproceso para la obtención de film. Esa planta piloto en particular tiene dos extrusoras.



Procesos de trabajo típicos

- Recepción de nanomateriales;
- Re-ensado;
- Compounding;
- Mantenimiento y limpieza;
- Almacenamiento;
- Acondicionado (pesaje y secado);
- Procesado de film;
- Gestión de residuos.

Riesgos potenciales

Activity	Risk
Apertura de los envases	Fugas/derrames accidentales por agitación del contenedor
Transferencia de nanomateriales desde el envase	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Pesaje de nanomateriales	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Manipulación de nanomateriales	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Alimentación de nanomateriales en la extrusora	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Mantenimiento y Limpieza del lugar de trabajo	Generación de aerosoles y contacto dérmico
Manipulación y eliminación de residuos	Generación de aerosoles y contacto dérmico

Recomendaciones para la gestión del riesgo

- **Recomendaciones generales**
Sólo los operarios capacitados en aspectos técnicos y de seguridad pueden trabajar en este área. Los trabajadores deben usar los EPIs (batas de laboratorio con puños, gafas de seguridad, mascarillas, guantes de nitrilo o látex, zapatos cerrados, etc.) durante toda la actividad con carácter preventivo para evitar la exposición en caso de fallo de los controles de ingeniería o derrames accidentales. Los guantes deben cambiarse con frecuencia. Deberían existir dos salas dentro de la sala de procesamiento para el almacenamiento de la materia prima y de residuos. Debería designarse un almacén específico contiguo a la sala principal de trabajo para el almacenamiento de nanocomposites (masterbatch y films).
- **Controles en la planta de procesamiento**
 - Campana de laboratorio;
 - Varios puntos de extracción localizada sobre las extrusoras, incluyendo el alimentador de nanomateriales, tornillo gemelos y la boquilla, y sobre el punto de corte del masterbatch
 - Ventilación general;
 - Filtros HEPA;
 - Control de parámetros ambientales: temp. aproximada 20°C, área seca;
 - Restricción de accesos.
- **Controles en los almacenes**
 - Almacenes independientes para material prima y para residuos localizados preferiblemente en la planta piloto;
 - Ventilación general;
 - Control de parámetros ambientales: temp. aproximada 20°C y oscuridad, área seca;
 - Restricción de accesos.
- **Recepción y almacenamiento de nanomateriales**
Los nanomateriales deberían estar en envases herméticos y preferiblemente dentro de un embalaje secundario. Los nanomateriales envasados deberían transportarse al almacén en su envase bien cerrado, y mantenerse alejado de los productos acabados.
- **Alimentación de nanomateriales en la extrusora**
El operario debe llevar mono de trabajo. Siempre transportar los nanomateriales en su envase bien cerrado y abrir y cerrar el mismo con cuidado y bajo la extracción localizada. Si es posible, trabajar con los nanomateriales dispersos en solución líquida en el disolvente adecuado.
- **Mantenimiento y limpieza**
Deben establecerse y aplicarse procedimientos de trabajo para la limpieza de las áreas donde se manejan nanomateriales. Las superficies de trabajo deben limpiarse con aspiradores equipados con filtro HEPA y/o bayetas húmedas. Nunca barrer o utilizar aire comprimido. Los operarios deberían utilizar mono de trabajo en lugar de bata de laboratorio para mayor protección además del resto de EPIs recomendados. El agua empleada en las operaciones de mantenimiento y limpieza debe recuperarse y gestionarse de forma correcta por un gestor de residuos autorizado, no ser liberada al ambiente.
- **Gestión de residuos**
Los residuos generados son principalmente envases, restos de procesamiento, EPIs usados, materiales de muestreo contaminados, filtros de aire y nanomateriales. Deberían mantenerse en recipientes cerrados en almacén designado para ello hasta su recogida por un gestor de residuos autorizado. La ropa de trabajo re-usable debe limpiarse en lavanderías industriales o en servicio de limpieza propio en la empresa, realizado siempre por personal entrenado.

Caso de estudio a escala industrial

Alcance

Industrias que manipulan grandes cantidades de nanomateriales (en polvo), mayores a 25000 kg por mes. Estas empresas pueden llevar a cabo compounding y/o procesado de film/lámina. Esta industria en particular tiene dos extrusoras. Recibe los nanomateriales en camión cisterna y los almacena en silos exteriores hasta su uso.



Procesos de trabajo típicos

- Recepción de nanomateriales;
- Compounding (masterbatch);
- Gestión de residuos.
- Almacenamiento;
- Mantenimiento y limpieza;

Riesgos potenciales

Actividad	Riesgo
Llenado de los silos con nanomateriales	Fugas al aire y suelo durante la descarga de los nanomateriales desde las cisternas. Contacto dérmico e inhalación.
Almacenamiento en el silo	Fugas al ambiente e incorrecta manipulación por personal no autorizado
Transferencia de nanomateriales o masterbatch nanocomposite al silo de alimentación de la extrusora	Generación de aerosol
Alimentación de la extrusora con nanomateriales o masterbatch nanocomposite	Liberación de nanomateriales o nanocomposites en polvo al ambiente de la fábrica
Salida del nanocomposite (boquilla extrusora)	Nanomateriales contenidos en los humos
Corte del nanocomposite	Liberación de nanomateriales y partículas en el ambiente
Limpieza y mantenimiento del lugar de trabajo	Generación de aerosoles. Contacto dérmico e inhalación
Manipulación y eliminación de residuos	Contacto directo con los nanomateriales y riesgo de exposición del trabajador (inhalación, dermal, ingestión) o liberación al ambiente

Recomendaciones para la gestión del riesgo

• Recomendaciones generales

Sólo los operarios capacitados en aspectos técnicos y de seguridad pueden trabajar en este área. Los trabajadores deben usar los EPI (batas de laboratorio con puños, gafas de seguridad, mascarillas, guantes de nitrilo o látex, zapatos cerrados, etc.) durante toda la actividad con carácter preventivo para evitar la exposición en caso de fallo de los controles de ingeniería o derrames accidentales. Los guantes deben cambiarse con frecuencia. Deberían existir dos salas dentro de la sala de procesado para el almacenamiento de la materia prima y de residuos. Debería designarse un almacén específico contiguo a la sala principal de trabajo para el almacenamiento de nanocomposites (masterbatch y bobinas). Si se reciben los nanomateriales en big-bags, debería existir un cuarto cerrado contiguo a la sala principal de trabajo con ventilación general y VEL sobre el punto donde se alimenta el silo. El acceso a dichas áreas debe ser restringido. Las salas deben contar con ventilación general.

• Controles en la planta de procesado

- Silos localizados sobre pavimento resistente al agua, en un área vigilada (acceso restringido)
- Varios puntos de extracción localizada (VEL) sobre la extrusora, incluyendo sobre el punto de alimentación de nanomateriales, sobre el cuerpo de la extrusora y la boquilla de salida. También sobre el lugar de corte;
- Ventilación general;
- Filtros HEPA;
- Control de los parámetros ambientales: temperatura aproximada 20°C, ambiente seco;
- Restricción de accesos.

• Controles en los almacenes

- Almacén de residuos localizado preferentemente dentro de la planta;
- Ventilación general;
- Control de los parámetros ambientales: temperatura aproximada 20°C, ambiente seco y oscuridad;
- Accesos restringidos. Sólo personal autorizado debe poder acceder a la planta y almacenes.

• Recepción y almacenamiento de nanomateriales

Los nanomateriales deberían recibirse en camión cisterna. La zona de llenado y los silos deberían estar emplazados sobre pavimento resistente al agua, en un área vigilada (acceso restringido). Debe existir un sistema de recolección de aguas residuales. Los nanomateriales deberían mantenerse en silos controlados y bien cerrados hasta su uso. Una vez fuera del silo, los nanomateriales deben mantenerse en un almacén controlado, separado de los nanocomposites finales.

• Alimentación de las extrusoras

Los operarios deben vestir monos de trabajo. Transportar siempre los nanomateriales en envases bien cerrados. El proceso de alimentación de la extrusora debería realizarse en cerrado, y siempre con precaución y bajo extracción localizada.

• Mantenimiento y limpieza

Deberían establecerse procedimientos de Limpieza y mantenimiento correctos en la planta industrial donde se manipulan nanomateriales. Las superficies de trabajo deben limpiarse empleando trapos húmedos y/o empleando aspiradores con filtro HEPA. Nunca barrer en seco ni emplear aire comprimido. Los operarios deben vestir mono de trabajo para mayor protección, además del resto de EPIs recomendados. El agua empleada en las operaciones de mantenimiento y limpieza debe recuperarse y gestionarse de forma correcta por un gestor de residuos autorizado, no ser liberada al ambiente.

• Gestión de residuos

Los residuos generados son principalmente envases, restos de procesado, EPIs usados, materiales de muestreo contaminados, filtros de aire y nanomateriales. Deberían mantenerse en recipientes cerrados en almacén designado para ello hasta su recogida por un gestor de residuos autorizado. La ropa de trabajo re-usable debe limpiarse en lavanderías industriales o en servicio de limpieza propio en la empresa, realizado siempre por personal entrenado.

Más información

La Guía de buenas prácticas para el manejo y uso seguro de nanopartículas en industrias del envase y embalaje está disponible en:

Angel Lozano, Director
CEP - Centro Español de Plásticos
Enrique Granados, 101. Barcelona
E-mail: alozano@cep-plasticos.es
Página web: www.cep-plasticos.com

Isabel Ferreira da Costa, Director
APIP - Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos
Edifício Libersil - Torre B. Rua de S. José. 35 - 2º C. Lisboa
E-mail: isabelfcosta@apip.pt
Página web: www.apip.pt

Alexandre Dangis
European Plastics Converters
Avenue de Cortenbergh 71. Brussels, Belgium
E-mail: info@eupc.org
Página web: www.plasticsconverters.eu

Más información del proyecto NanoSafePack:

<http://www.nanosafepack.eu>

Jose Luis Romero, Coordinador del proyecto
Tecni-Plasper S.L. Pol.Ind.Font de la Parera.
C/Bonaventura Aribau s/n. La Roca del Vallés (Spain)
E-mail: JoseLuis.Romero@plasper.com



Funcionalidades de los nanocomposites:

- Relación nanopartícula (NPs)-propiedades
- Estructura de las NPs (tipos específicos)
- Agentes de funcionalización
- Proceso de producción



Seguridad del consumidor:

- Migración de NPs
- Liberación de NPs de nanomateriales comercializados
- Información en etiquetado
- Nuevas aplicaciones



Seguridad del trabajador:

- Establecimiento del escenario de exposición
- Medidas de gestión del riesgo
- Gestión de residuos
- Procedimientos de seguridad



Sostenibilidad:

- Liberación de NPs (medio ambiente)
- Destino ambiental de NPs
- Toxicidad/ecotoxicidad
- Análisis de costes

