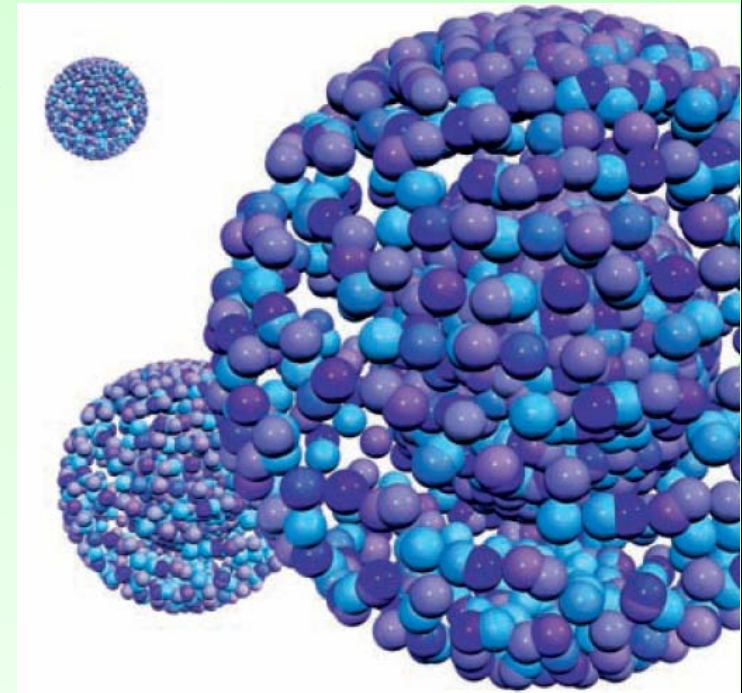


Exposición Laboral a Nanomateriales. Riesgos y Medidas Preventivas

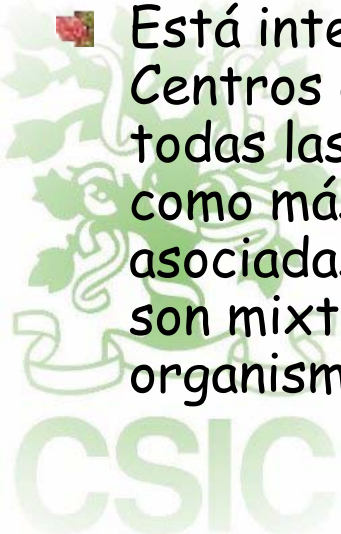


Tania Berlana Llorente
Servicio de Prevención y Salud Laboral de Madrid
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Tania.berlana@orgc.csic.es

¿Qué es el CSIC?



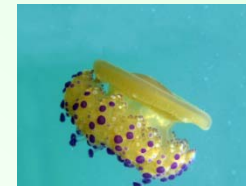
- La Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) es la mayor institución pública dedicada a la investigación en España y la tercera de Europa.
- El CSIC se encuentra adscrito al Ministerio de Economía y Competitividad, a través de la Secretaría de Estado de Investigación.
- Está integrado por más de 130 Centros e Institutos distribuidos por todas las Comunidades Autónomas, así como más de un centenar de unidades asociadas. Algunos de estos Centros son mixtos con Universidades y otros organismos o entidades.



El carácter multidisciplinar del CSIC

Por su carácter multidisciplinar y multisectorial el CSIC cubre todos los campos del conocimiento. Su actividad, que abarca desde la investigación básica hasta el desarrollo tecnológico, se organiza en torno a ocho áreas científico-técnicas:

- 1. Humanidades y Sociales
- 2. Biología y Biomedicina
- 3. Recursos Naturales
- 4. Ciencias Agrarias
- 5. Ciencia y Tecnologías Físicas
- 6. Ciencia y Tecnología de Materiales
- 7. Ciencia y Tecnología de Alimentos
- 8. Ciencia y Tecnologías Químicas



Nanotecnología en España y en el CSIC



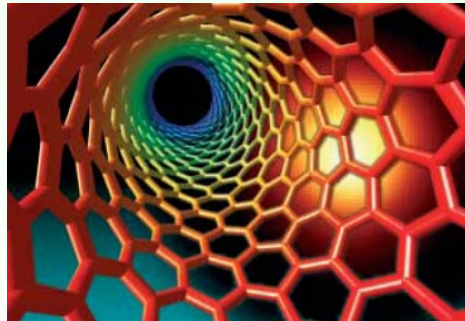
- En España, a partir del año 2000 se organizan en la red Nanospain
- Se incluye en la Acción estratégica de Nanociencia y Nanotecnología en los Planes Nacionales de I+D+i de los periodos 2004-2007 y 2008 y 2011.
- Actualmente España cuenta con más de 300 grupos de investigación en nanotecnología.
- En el CSIC hay más de sesenta de centros que trabajan en nanotecnología.



Introducción a la nanotecnología



- En las últimas décadas se ha producido una rápida expansión de las nanotecnologías, generando una gran cantidad de nanopartículas y nanoproductos.
- Las nanopartículas tienen propiedades y efectos muy diferentes a las de los mismos materiales en tamaños convencionales.
- Estas nuevas propiedades pueden dar lugar a nuevos riesgos para la salud del hombre (los mecanismos biológicos normales de defensa parecen no ser capaces de responder adecuadamente a estas partículas con características tan diferentes).
- Las nanopartículas pueden propagarse y persistir en el medio ambiente, pudiendo tener un importante impacto-medioambiental.

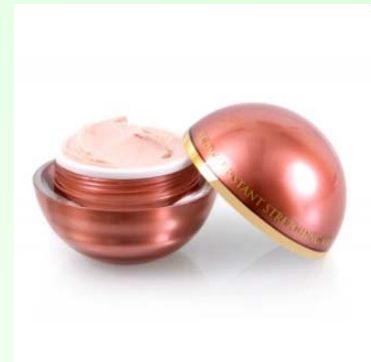


Aplicaciones de la nanotecnología

- En la actualidad se utiliza en diversidad de sectores como la información, las comunicaciones, la medicina, sector agrario y de la alimentación, cosméticos, protectores solares, sector textil, sector automoción, etc.

En 1885, la compañía de neumáticos B.F. Goodrich decidió fabricar ruedas negras para evitar que se notara la suciedad (hasta ese momento eran de color blanquecino debido al caucho). Para ello añadió negro de carbón, un material de carbón que tinte el caucho y le da un color negro. Para sorpresa de esta compañía, se descubrió que las ruedas así fabricadas eran hasta cinco veces más resistentes que las ruedas no coloreadas.

Los neumáticos de hoy día son más sofisticados, con docenas de capas y refuerzos de acero, pero el negro de carbón sigue siendo uno de sus componentes principales.



Nanoarqueología

Ejemplos de síntesis primitiva de nanomateriales

- Copa de Lycurgus (s. IV a.C. Roma), bajo luz diurna presenta tonos verdosos y bajo luz interior tonos rojos, debido a la presencia de nanopartículas de oro de 40-50 nm de diámetro, que se encuentran adheridas en el vidrio, debido a la adición de pequeñas cantidades de oro durante el proceso de fundido de vidrio a alta temperatura.
- Vidrieras de los templos de la Edad Media, presentan variación en la tonalidad de colores debido a la presencia de nanopartículas de plata en la preparación del vidrio.
- Coloración de aspecto metálico de los ceramistas de Manises mediante la adicción de nanopartículas de cobre y plata a las pinturas durante el proceso de cocido.



Nanoarqueología

Ejemplos de síntesis primitiva de nanomateriales

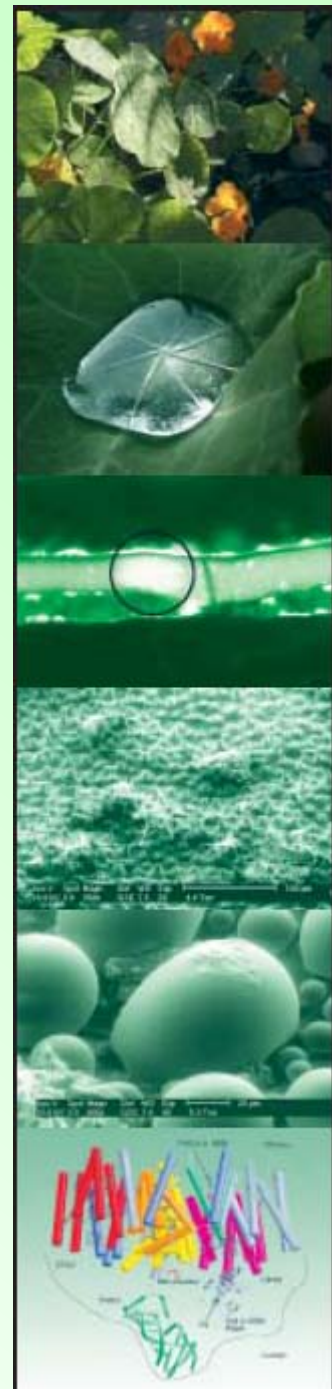
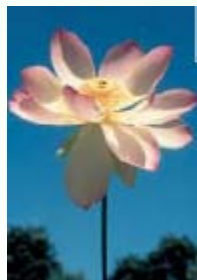
- Espadas fabricadas en Damasco, utilizando antiquísimos métodos de forja importados de la India, eran reconocidas en la Edad Media por su gran tenacidad y su filo indestructible, debido a la presencia de nanotubos de carbono y de carburo de Hierro.
- Los intensos colores azules de los templos mayas en América, llamado azul maya, perduran desde hace más de 12 siglos, a pesar de que se obtenía a partir de un colorante natural, debido a que el lavado del índigo en aguas arcillosas ricas en paligorskita, que proporciona estabilidad y protección a las moléculas del colorante.



Nanoestructuras naturales

Inspiración para el diseño de los nanomateriales

- Tejidos que repelen el agua se inspiran en las características de la hoja del loto, que está recubierta de micro y nanoestructuras con carácter hidrofóbico
- La resistencia de las valvas de los moluscos se obtiene mediante el adecuado ordenamiento de cristales de carbonato cálcico, otros minerales y ciertas proteínas.
- Diseño de adhesivos a partir de la combinación de polímeros y nanoestructuras inspiradas en las extremidades de las salamandras.



¿Cuál es el riesgo derivado de la exposición a nanomateriales?



Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales

Los riesgos son fundamentalmente de dos tipos:

- Riesgos relacionados con la **seguridad**

- Riesgo de incendio y explosión

Derivadas de su condición de partículas materiales en el ambiente de trabajo

- Riesgos **higiénicos**

- Toxicidad (????)

Nanopartículas: Nuevos materiales,
¿nuevos riesgos?



Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales

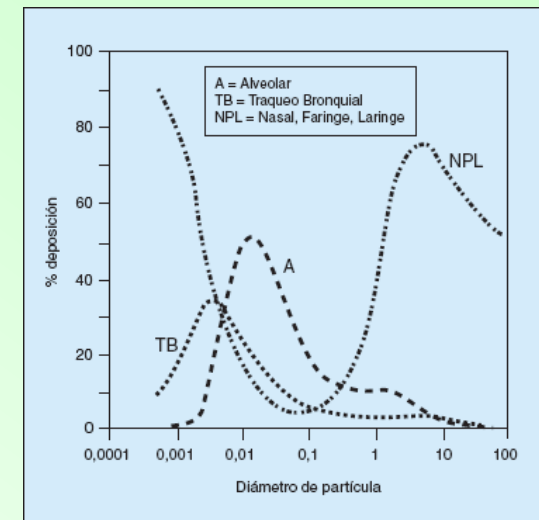
Riesgo por toxicidad: Vía inhalatoria

- Dependiendo de la forma, tamaño y composición son capaces de penetrar y depositarse en las distintas partes del aparato respiratorio.

■ Mecanismos:

- Sedimentación (gravedad)
- Difusión por movimientos aleatorios

- tamaño > 10 nm **deposición región alveolar**
- tamaño < 10 nm deposición en **extratorácica y tranqueo-bronquial**

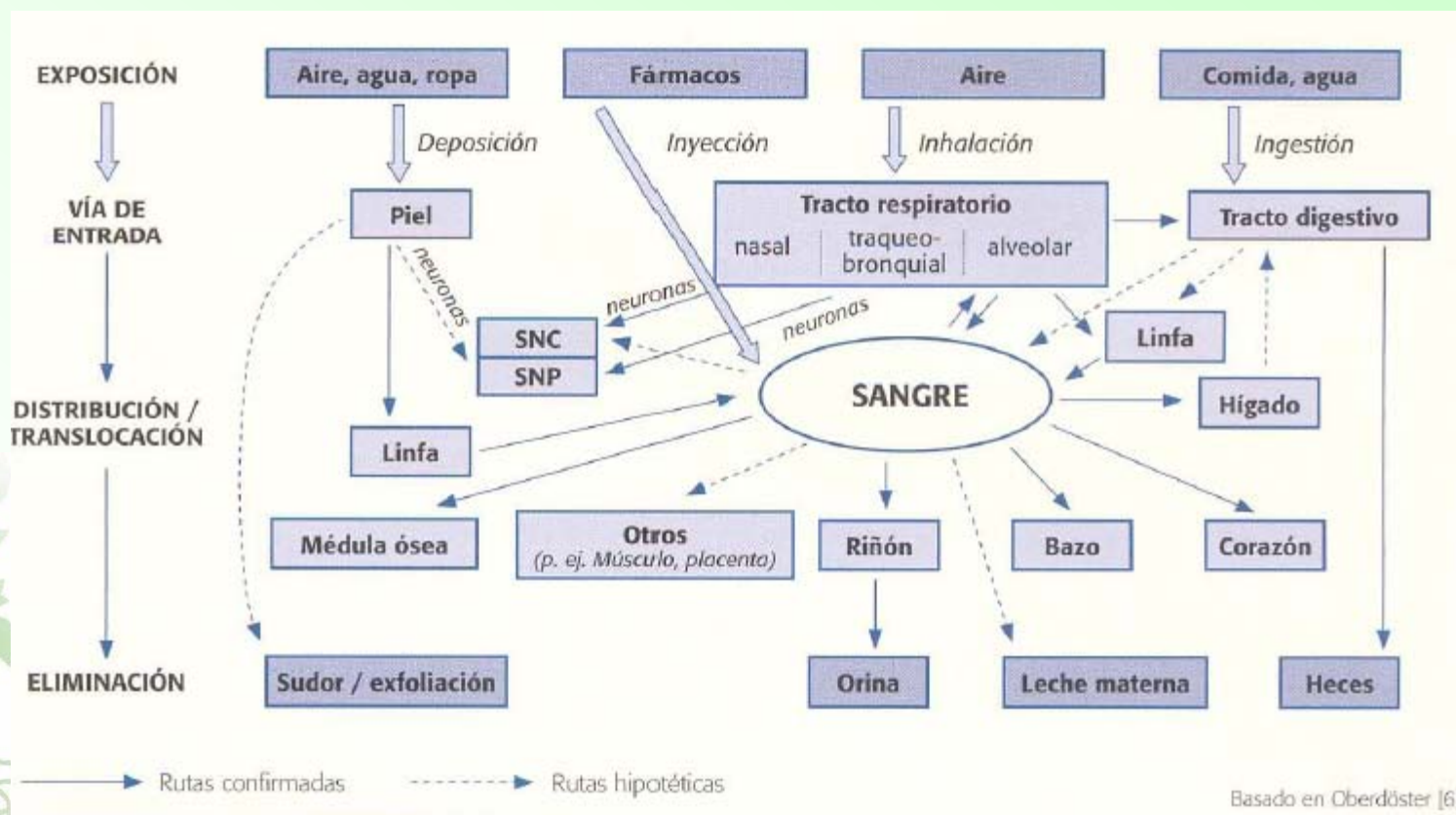


Riesgo por toxicidad: Vía dérmica

- La penetración directa a través de la piel ya está descrita para partículas con un diámetro de 1000 nm (1 μ m)

Riesgos derivados de la exposición a nanomateriales

Biocinética de partículas nanométricas



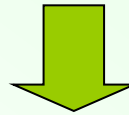
¿Cómo se aborda la evaluación del riesgo desde el Servicio de Prevención ?



Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales

Dificultad de las metodologías de evaluación cuantitativas:

- No se conocen niveles específicos a los que dichas partículas tienen efectos adversos para la salud.
- No existen límites de exposición profesional publicados.
- Los equipos de medida actuales no parecen adecuados para el muestreo personal,



Uso de metodologías Control Banding



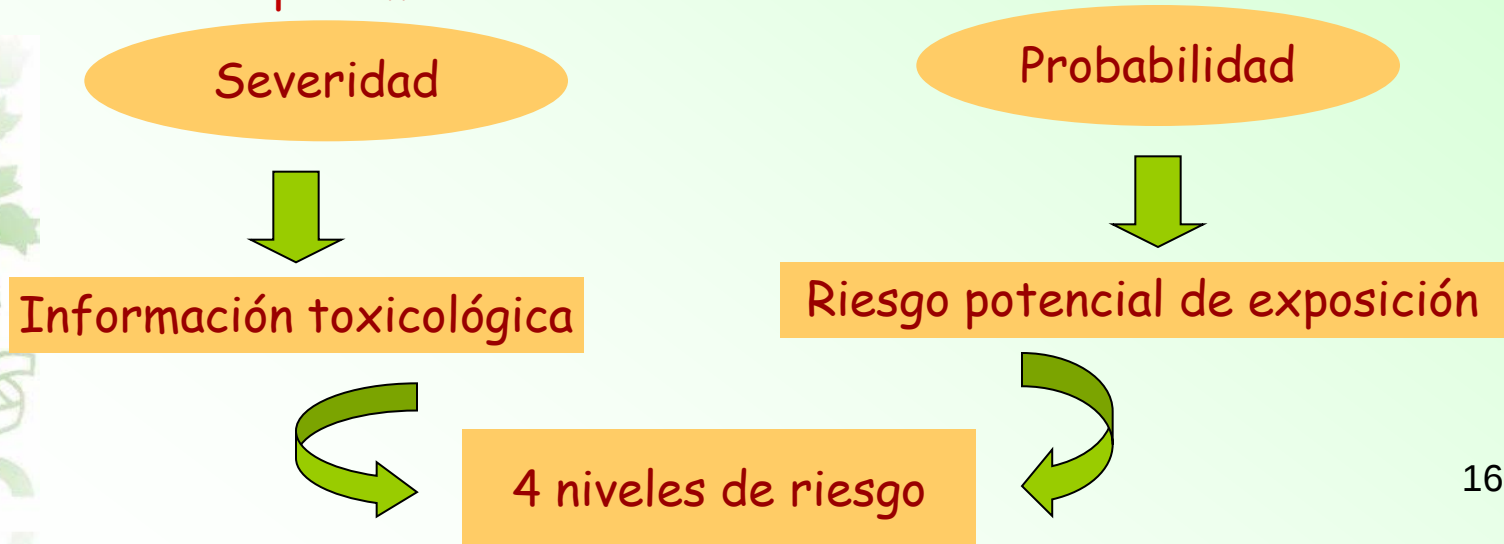
Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales



• Metodología Control Banding

- Se desarrollaron para evaluar nuevos productos sin información toxicológica (Industria farmacéutica)
- Adaptada a la exposición a nanopartículas "Control Banding Nanotool (CB Nanotool)"
- Aceptada internacionalmente. Proyecto de informe ISO.

➤ Se basa en dos parámetros



Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales

- Metodología CB Nanotool

Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad

		Probabilidad			
		Muy improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Posible (76-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
	Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
	Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
	Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales

- **Metodología CB Nanotools**
 - Cálculo de la puntuación de severidad

		Probabilidad			
		Muy improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Posible (76-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
	Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
	Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
	Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

			BAJO	MEDIO	DESCONOCIDO	ALTO
FACTORES A CONSIDERAR	NANOPARTÍCULA	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	0	5	7,5	10
		Forma	0 Esférica o compacta	5 En diferentes formas	7,5	10 Fibrosa o tubular
		Diámetro	0 De 40 a 100 nm	5 De 11 a 40 nm	7,5	10 De 1 a 10 nm
		Solubilidad	0	5 Soluble	7,5	10 Insoluble
		Carcinogenicidad ⁽¹⁾	0 No carcinogénica		4,5	6 Carcinogénica
		Toxicidad para la reproducción	0 no		4,5	6 sí
		Mutagenicidad	0 no		4,5	6 sí
		Toxicidad dérmica	0 no		4,5	6 sí
		Capacidad de producir asma	0 no		4,5	6 sí

Evaluación de la exposición a nanomateriales

Metodología CB Nanotools

- Cálculo de la puntuación de severidad

		Probabilidad			
		Muy improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Posible (76-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
	Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
	Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
	Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

		BAJO	MEDIO	DESCONOCIDO	ALTO
MATERIAL PADRE ⁽²⁾	Toxicidad	2,5 VLA-ED® entre 11 y 100 mg/m³	5 VLA-ED® entre 2 y 10 mg/m³	7,5	10 VLA-ED® entre 0 y 1 mg/m³
	Carcinogenicidad	0 No carcinogénica		3	4 Carcinogénica
	Toxicidad para la reproducción	0 no		3	4 sí
	Mutagenicidad	0 no		3	4 sí
	Toxicidad dérmica	0 no		3	4 sí
	Capacidad de producir asma	0 no		3	4 sí

Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales

Metodología CB Nanotools

- Cálculo de la puntuación de probabilidad

		Probabilidad			
		Muy improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Posible (76-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
	Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
	Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
	Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

	BAJO	MEDIO	DESCONOCIDO	ALTO
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea	6,25 menor de 10 mg	12,5 entre 11 y 100 mg	18,75	25 mayor de 100 mg
Pulverulencia / capacidad de formar nieblas	7,5	15	22,5	30
Número de trabajadores con exposición similar ⁽¹⁾	5 6-10	10 11-15	11,25	15 >15
Frecuencia de las operaciones ⁽²⁾	5 mensual	10 semanal	11,25	15 diario
Duración de la operación ⁽³⁾	5 30-60 min	10 1-4 horas	11,25	15 > 4 horas

- (1) Para menos de 5 trabajadores la puntuación es cero
 (2) Para una frecuencia menor que mensual la puntuación es cero
 (3) Para una duración inferior a 30 minutos la puntuación es cero

Criterios para la evaluación de la exposición a nanomateriales

Metodología CB Nanotool

Matriz de decisiones en función de la severidad y la probabilidad

		Probabilidad			
		Muy improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Posible (76-100)
Severidad	Muy alta (76-100)	RL 3	RL 3	RL 4	RL 4
	Alta (51-75)	RL 2	RL 2	RL 3	RL 4
	Media (26-50)	RL 1	RL 1	RL 2	RL 3
	Baja (0-25)	RL 1	RL 1	RL 1	RL 2

RL 1: Uso de prácticas de higiene industrial adecuadas, ventilación general.

RL 2: Uso de campanas de extracción o ventilación localizada.

RL 3: Proceso cerrado o contención.

RL 4: Consultar ayuda técnica.

Control de la exposición

La Comisión Europea ha financiado diversos proyectos de investigación relacionados con las medidas preventivas más adecuadas :

- **Nanosafe** 1, Nanosafe2, NanoReTox,...
- "Compendium of projects in the European Nanosafety Cluster" (marzo 2010, <http://cordis.europa.eu>)



Control de la exposición

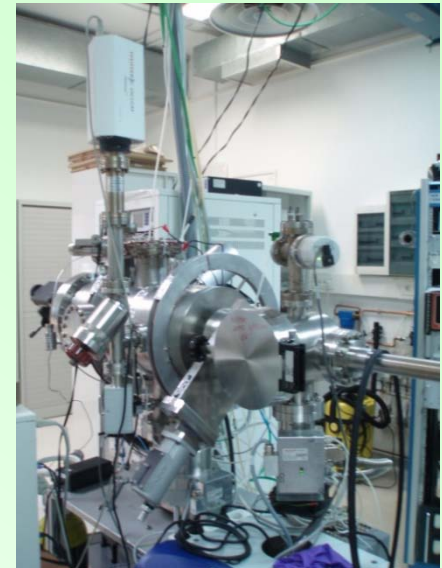
- Medidas de control (STOP)
 - Sustitución de sustancias
 - Eliminar la exposición a nanomateriales
 - Técnicas: Aislamiento o confinamiento
 - Cerramiento del proceso
 - Preparación en medios húmedos
 - Equipamiento con sistemas de ventilación
 - Organizativas
 - Procedimientos de trabajo seguro
 - Protección Personal
 - Doble guante de nitrilo
 - Mascarillas FFP3 con buen ajuste
 - Ropa de trabajo tipo Tyvek



Control de la exposición

Medidas Técnicas:

- Cerramientos del proceso



Se recomienda una velocidad de flujo en la campana entre 0.4-0.6m/s y evitar el flujo laminar horizontal (Harford, 2007)

Se puede alcanzar una reducción en la exposición a nanopartículas Metálicas de hasta un 96% (Methner, 2008)

Control de la exposición

Medidas organizativas: prácticas de trabajo seguras

- ✓ Limpiar el área de trabajo utilizando sistemas de aspiración dotados de filtros HEPA y sistemas de barrido húmedos.
- ✓ Utilizar ropa de protección y cambiarse para acceder a otras áreas de trabajo.
- ✓ No guardar o consumir comida y bebida.
- ✓ Prohibir la aplicación de cosméticos.
- ✓ Evitarse tocarse la cara u otras partes con las manos contaminadas.
- ✓ Control de derrames



Control de la exposición

Medidas de protección individual

- ✓ Utilización de guantes, y doble guante para un uso prolongado, cuando se manejen nanomateriales
 - ✓ Estado líquido: buena resistencia química
 - ✓ Estado pulverulento: guantes de nitrilo
- ✓ Protección ocular: gafas con protección lateral.



- ✓ Ropa de protección: ropa en base de polietileno más eficaz que la de base poliéster o algodón. Preferible tipo Tyvek

- ✓ Complementar con protecciones respiratorias adecuadas al proceso y tipo de nanomaterial con filtros FFP3



Doble guante de nitrilo desechable proporciona protección eficaz

Mascarilla con filtros FFP3 que garantice buen ajuste

Control de la exposición

Eficiencia de la ropa de protección



Figura 11. Ropa de protección de tejido no tejido

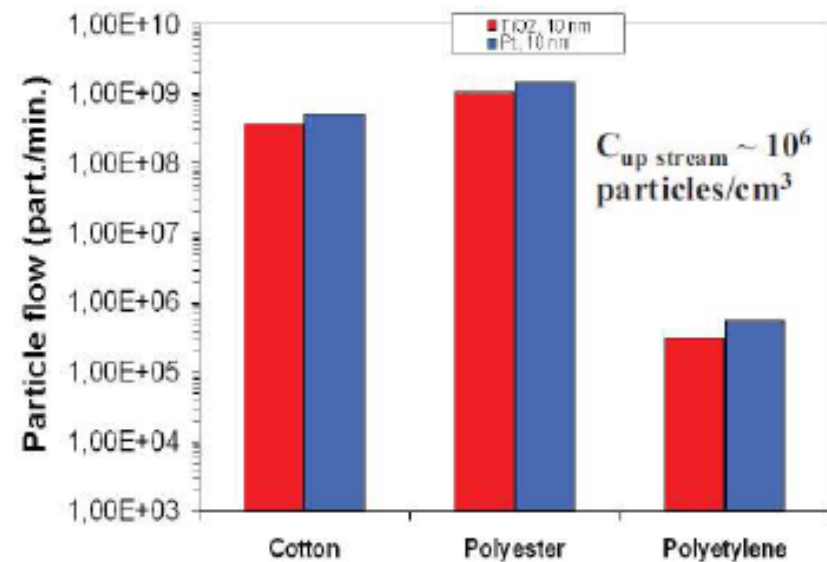


Figura 12. Medida de la eficiencia de la ropa de protección
Fuente: Nanosafe (2008)

Conclusiones

- ✓ No existen valores límites de exposición relativos a los nanomateriales, y los criterios empleados por distintos organismos difieren.
- ✓ Sí se han desarrollado herramientas para facilitar la evaluación de riesgos, a partir de metodologías simplificadas
- ✓ Sí existen sistemas de protección efectivos para el control de la exposición a nanomateriales (extracción localizada, filtros FFP3, doble guante de nitrilo y ropa tipo Tyvek).

Bibliografía



- La nanotecnología. Pedro A. Serena Domingo. CSIC.
- Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas. Revista de Seguridad y Salud en el Trabajo. INSHT. C. Tanarro.
- Problemática en el establecimiento de valores límite: el caso de las nanopartículas. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo. INSHT. C.Tanarro, E.Sousa, J.Tejedor.
- Informe de evaluación de la eficacia de las medidas de gestión de riesgos y recomendación de las medidas de control. Proyecto Nanoscale. Generalitat de Valencia. IMPIVA.
- Caracterización de escenarios de exposición durante el procesado de nanomateriales. Proyecto Nanoscale. Generalitat de Valencia. IMPIVA.
- La seguridad y Salud en la exposición a Nanopartículas. Instituto Riojano de Salud Laboral.
- Safe Production and use of nanomaterials. Proyecto nanosafe. European Strategy for Nanosafe
- NTP 797: Riesgos asociados a la nanotecnología. INSHT. M. Rosell y L. Pujol.
- NTP 877: Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas. C. Tanarro
- Toxicología de las nanopartículas. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo. INSHT. C.Tanarro y V.Gálvez
- Nanopartículas ¿un riesgo pequeño?. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo. INSHT. C.Tanarro y V.Gálvez

Muchas gracias
por su atención

Tania Berlana Llorente
Servicio de Prevención y Salud Laboral de Madrid
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Tania.berlana@orgc.csic.es