

# MANOMATERIALES

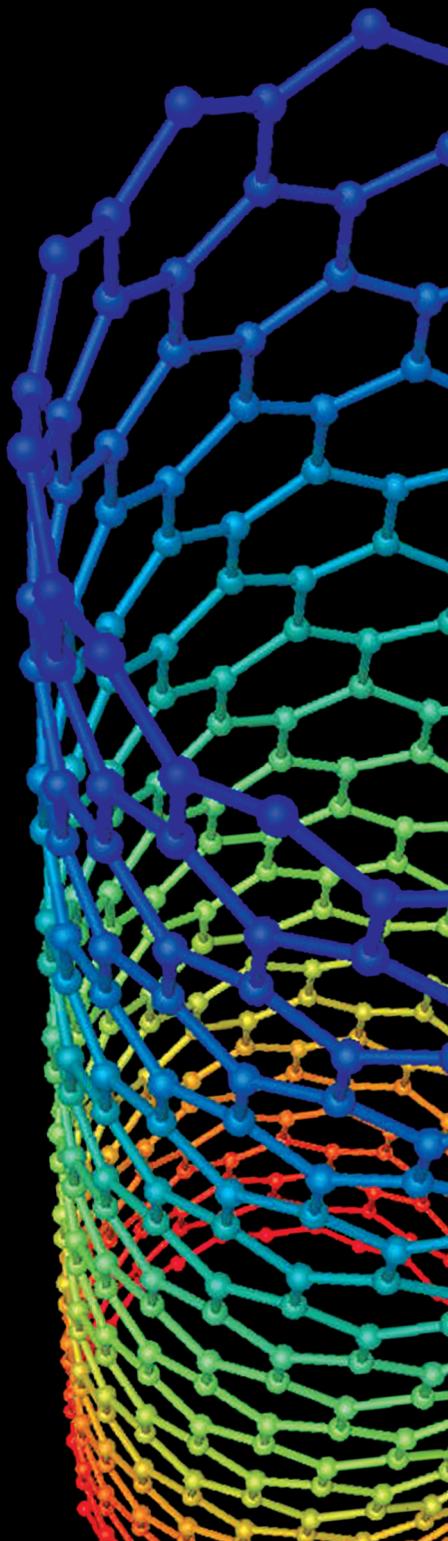
Identificación y prevención de los riesgos  
para la salud de los trabajadores



Gobierno  
de La Rioja  
Industria, Innovación  
y Empleo  
[www.larioja.org](http://www.larioja.org)



Instituto Riojano  
de Salud  
Laboral



# NANOMATERIALES: IDENTIFICACIÓN Y PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS PARA LA SALUD DE LOS TRABAJADORES

## Los nanomateriales

Son materiales producidos intencionadamente, que presentan una o más dimensiones en la nanoescala (que va de 0,2 nanómetros a 100 nanómetros).

El nanómetro es la unidad de longitud equivalente a una millonésima de milímetro ( $10^{-9}$  m). Símbolo: nm.

Podemos hablar de varios tipos de nanomateriales: las nanoláminas, las nanofibras (nanotubos, nanohilos), las nanopartículas (NPs),...

Se pueden presentar de forma individual o en grupos, como agregados o aglomerados que pueden alcanzar tamaños superiores a 100 nm. Estos materiales se pueden manejar en forma de polvo, en suspensión líquida, o en forma de gel, entre otras.

El paso de la materia a la dimensión nanométrica trae consigo un cambio en las propiedades físicas y químicas respecto a la de los mismos materiales a escalas más grandes.

Por lo que los nanomateriales se pueden considerar como nuevos productos químicos.

Los nanomateriales se pueden utilizar como tal o para desarrollar nuevos materiales, confiriéndoles propiedades mejoradas y específicas propias de la dimensión nanométrica.



### La nanoescala en perspectiva

¿Cuánto de pequeño es un nanómetro? Por definición, un nanómetro es una millonésima parte de un metro, aunque es un concepto muchas veces difícil de entender, podemos ver algunos ejemplos:

Una hoja de papel tiene un grosor aproximado de 100.000 nanómetros.

Un cabello rubio tiene un diámetro de 15.000 a 50.000 nanómetros; y si es negro su diámetro es probable que esté entre los 50.000 y 180.000 nanómetros.

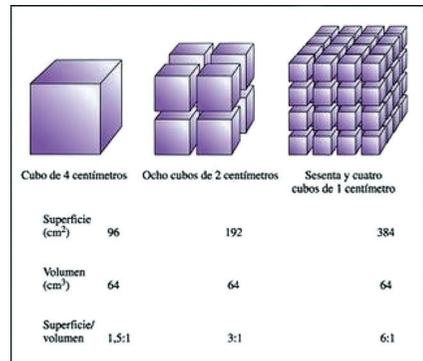
# NANO

La nanotecnología consiste en el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control del tamaño y la forma a una escala nanométrica, que va aproximadamente desde 1 a 100 nanómetros (nm).

## ¿Qué hay de especial en la nanoescala?

La respuesta rápida es que los materiales pueden tener diferentes propiedades a nanoescala, algunos conducen mejor el calor o la electricidad, otros son más fuertes, algunos tienen diferentes propiedades magnéticas, y otros reflejan mejor la luz o cambian de color al cambiar el tamaño.

Los materiales a nanoescala tienen una mayor área superficial en relación con volúmenes similares de materiales a mayor escala, lo que significa que tienen mayor superficie disponible para interactuar con los materiales que les rodean.



*El número de átomos superficiales en los nanomateriales es mucho mayor que en materiales convencionales.*

## ¿Qué riesgos puede haber para la salud?

Hay que indicar que no existen datos sobre los efectos de los nanomateriales sobre humanos. Los datos toxicológicos de la mayoría de los nanomateriales provienen de estudios realizados en células in vitro y en animales, por lo que es difícil extrapolarlos directamente a los seres humanos.

Según los estudios experimentales realizados, los objetos nanométricos presentan una toxicidad mayor debido a que éstos presentan entre otros, efectos inflamatorios mayores que los objetos de tamaño superior con la misma naturaleza química.

Los estudios experimentales en animales demuestran que la respuesta biológica a ciertas NPs es mayor que para las mismas en tamaños convencionales, debido al aumen-

to del área superficial, además por su solubilidad, forma, carga, superficie química, propiedades catalíticas, contaminantes adsorbidos y grado de aglomeración.

**Todo ello conlleva a que estos nanomateriales puedan exhibir mayores niveles de toxicidad al estar implicados en procesos de inflamación pulmonar, estrés oxidativo y daño tisular.**

Las vías respiratorias constituyen la principal vía de entrada de las nanopartículas en el organismo, depositándose en los diferentes compartimentos del sistema respiratorio dependiendo de su tamaño y forma.

También pueden ser ingeridas. La penetración transcutánea de nano-objetos es todavía una hipótesis objeto de estudio, aunque se puede pensar que las NPs penetrarán con mayor facilidad.

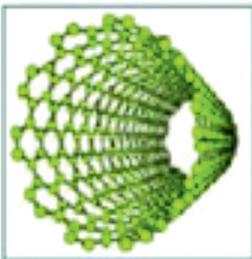
Una propiedad específica de las NPs es su capacidad para atravesar las barreras biológicas (nasal, alveolar,...) mediante un proceso conocido como translocación, pudiendo pasar a la sangre y linfa y migrar por todo el organismo, pudiendo alcanzar varios órganos como el corazón, hígado o bazo e incluso llegar hasta el cerebro por medio del nervio olfativo, manteniendo su integridad como partícula y por lo tanto manteniendo sus características toxicológicas.

La toxicidad también se ve afectada por la presencia de otros compuestos químicos adheridos sobre su superficie, como impurezas de síntesis, metales de transición, que dan lugar a la formación de compuestos reactivos de oxígeno que originan procesos de inflamación.

Por otra parte se ha comprobado que la toxicidad es mayor para NPs con forma tubular; seguida de formas irregulares y sería menor para NPs esféricas, considerando igual el resto de parámetros toxicológicos. La toxicidad parece estar agravada por la forma fibrosa o filamentososa de las NPs.

#### **Nanomateriales presentan:**

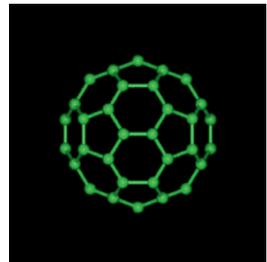
- Procesos inflamatorios (inflamación generalizada, aguda, pulmonar,...).
- Daños en tejidos.
- Estrés oxidativo.
- Inducción de daño en el ADN.



*Nanotubo de pared sencilla.*



*Nanotubo de pared múltiple.*



*Fullereno.*

## Exposición a nanopartículas

Parámetros que influyen en el grado de exposición:

- La naturaleza de los nanomateriales o NPs (polvo, suspensión líquida,...).
- Los métodos de síntesis utilizados.
- Las cantidades manejadas.
- La duración y frecuencia de la exposición.
- La capacidad que tienen estos materiales para estar en el aire o sobre las superficies de trabajo (si están en forma de aerosoles o como gotitas).
- Los medios de protección que se hayan establecido.

## La exposición ocupacional a los nanomateriales

Hay dos tipos de exposiciones ocupacionales:

- Procesos cuyo objetivo no es la producción ni aplicación de nanomateriales, pero cuya aplicación genera partículas ultrafinas, PUF (las partículas ultrafinas son emitidas involuntariamente en algunos procesos industriales, especialmente durante procesos mecánicos y térmicos o durante la combustión. Por ejemplo, en soldadura, mecanizado, lijado, fundiciones, emisiones de motores diesel,... Las PUF pueden presentar tamaños inferiores a los 100 nm, por lo que serían nanopartículas, diferenciándose de las nanopartículas artificiales al aparecer de forma natural o no intencionada en determinados procesos y operaciones industriales.
- La exposición durante la fabricación y el uso intencional de nanomateriales. En este caso la exposición se puede dar en todas las etapas de producción. Desde la recepción y almacenamiento de materias primas hasta el envasado y transporte de productos terminados.

Ejemplos de situaciones de exposición:

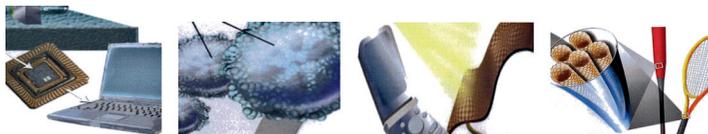
- Muestreo, pesado, incorporación en una matriz mineral o como nanopulvos orgánicos (formación de aerosoles).
- Transvase, agitación, mezcla y secado de una suspensión líquida conteniendo nanopartículas (formación de nieblas).
- Carga o descarga en un reactor.
- Mecanizado de nanocompuestos: corte, pulido, taladrado,...
- Empaquetado, embalaje, almacenamiento y transporte de productos.
- Limpieza de equipos e instalaciones: limpieza de un reactor,...
- Mantenimiento y conservación de equipos y locales: desmontaje de un reactor, cambio de filtros usados,...
- Tratamiento de residuos: recolección, embalaje, almacenamiento y transporte de residuos.
- Funcionamiento inadecuado o incidentes: fugas en un reactor.



Sectores donde se utilizan nanomateriales, pudiendo haber exposición a NPs:

## APLICACIONES QUE UTILIZAN LA NANOTECNOLOGÍA, POR SECTOR DE ACTIVIDAD

SECTOR DE ACTIVIDAD	EJEMPLOS DE APLICACIONES ACTUALES Y PROPUESTAS
<b>Automoción, aeronáutica</b>	Materiales reforzados, más ligeros; pinturas más brillantes, con efectos de color; resistentes a arañazos, anticorrosivas y anti-incrustantes; aditivos para diesel que permiten una mejor combustión; neumáticos más duraderos y reciclables.
<b>Electrónica y comunicación</b>	Memorias de alta densidad y procesadores miniaturizados, células solares, tecnología inalámbrica, pantallas planas.
<b>Química y materiales</b>	Pinturas anticorrosión e ignífugas, catalizadores, textiles con recubrimientos antibacterianos y ultraresistentes. Materiales más ligeros y resistentes.
<b>Farmacia, biomedicina y biotecnología</b>	Medicamentos a medida liberados en órganos específicos, kits de autodiagnóstico, biosensores, prótesis, implantes.
<b>Cosmética</b>	Cremas solares transparentes, nanoesferas con antioxidantes.
<b>Salud</b>	Dispositivos de diagnóstico y detección miniaturizados, destrucción de tumores por calor; terapia génica, microcirugía y medicina reparadora: nano implantes y prótesis, membranas para diálisis.
<b>Energía</b>	Generación de energía fotovoltaica, nuevos tipos de baterías, ventanas inteligentes, materiales aislante más eficaces.
<b>Medio ambiente y ecología</b>	Disminución de las emisiones de CO <sub>2</sub> , producción de agua ultrapura a partir de agua de mar; pesticidas y fertilizantes más eficaces y menos dañinos, sensores para la limpieza del medio ambiente.
<b>Defensa</b>	Sistemas de vigilancia miniaturizados, sistemas de orientación más precisos.
<b>Alimentación</b>	Envases con propiedades antimicrobianas, detección de contaminantes patógenos, envases interactivos con sensores, etc.  Liberar de forma controlada nuevos aromas o sabores mediante nanocapsulas, conservantes más eficaces, potenciadores de sabor, etc.



# La Nanotecnología: aplicaciones y productos

**Técnicas de entrega de fármacos:** los dendrímeros son un tipo de nanoestructura que pueden ser diseñados para tratamiento del cáncer y otras enfermedades. Se pueden diseñar dendrímeros que transportan diferentes materiales, pudiendo reconocer células enfermas, diagnosticar estados de enfermedad, entregar fármacos e informar de los resultados de la terapia.

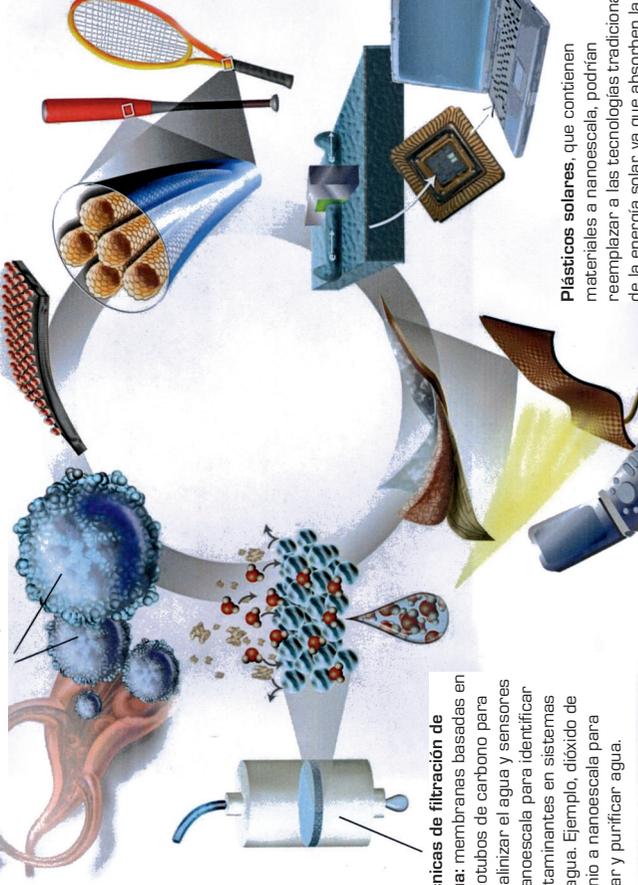
**Nanopelículas:** diferentes materiales a nanoescala pueden ser utilizados en películas delgadas dándoles características de repelentes al agua, anti-reflejos, auto-limpieza, anti-microbianos, resistencia a radiación UV o IR o conductor de la electricidad. Las nanopelículas actualmente se aplican en gafas, pantallas de ordenador y cámaras, para proteger las superficies.

**Los nanotubos:** los nanotubos de carbono (CNT) se utilizan en bates de beisbol, raquetas de tenis y piezas de automóviles debido a su mayor resistencia mecánica y menor peso que los materiales convencionales. Sus propiedades electrónicas han ampliado sus aplicaciones en pantallas planas de televisores, baterías y otros aparatos electrónicos.

**Transistores a nanoescala:** con grandes aplicaciones en el campo de la electrónica y la informática, por ejemplo, dando lugar a ordenadores más rápidos y potentes.

**Plásticos solares,** que contienen materiales a nanoescala, podrían reemplazar a las tecnologías tradicionales de la energía solar, ya que absorben la luz solar y, en algunos casos la luz interior, convirtiéndola en energía eléctrica. Tiene aplicaciones en baterías recargables, etc.

**Técnicas de filtración de agua:** membranas basadas en nanotubos de carbono para desalinizar el agua y sensores a nanoescala para identificar contaminantes en sistemas de agua. Ejemplo, dióxido de titanio a nanoescala para filtrar y purificar agua.



# Como evitar los riesgos para la salud

La manera de abordar la prevención de los riesgos por exposición a NPs se puede asemejar a la que se utilizaría para el control de la exposición a aerosoles. En este sentido el principio preventivo, de primero eliminar el riesgo y evaluarlo cuando lo anterior no haya sido posible, ha de ser aplicado también a las nanopartículas.

## Sustitución (actuación en el proceso)

- Manipular los nanomateriales en forma de suspensión líquida, en gel, en forma de agregados o aglomerados, en pastillas o en disolución, en lugar de en forma de polvo.
- Utilizar los métodos de fabricación en fase líquida en lugar de las técnicas en fase vapor o los métodos mecánicos.
- Reducir las posibles fugas o fuentes de contaminación mediante la sustitución de los equipos obsoletos o deteriorados.
- Modificar los equipos para fabricar en continuo, reduciendo el número de paradas
- Eliminar o limitar ciertas operaciones críticas como los trasvases, pesadas, automatizando el proceso
- Optimizar los procesos a fin de utilizar pequeñas cantidades de nanopartículas.

## Filtrar el aire de los lugares de trabajo

- Utilizar filtros de alta eficiencia (HEPA, ULPA o SULPA).

## Aplicar las normas higiénicas básicas

- Prohibición de comer o beber en el lugar de trabajo, excepto en áreas reservadas exclusivamente para tal fin.
- No llevar la ropa contaminada a casa.

## Trabajar de forma aislada

- Aislar y mecanizar los procesos de fabricación y utilización de nanomateriales.
- Las operaciones de riesgo preferiblemente deben realizarse en circuito cerrado. Si no es posible, se efectuarán en locales cerrados y equipados con sistemas de ventilación que impidan el paso a otras áreas.

## Captación de los contaminantes en la fuente

- En el laboratorio, instalar vitrinas de gases o dispositivos de flujo laminar.
- En centros de trabajo, manipular los nanomateriales en recintos o cabinas a presión negativa y equipados con ventilación por extracción localizada.

## Mantener el lugar de trabajo en adecuadas condiciones de limpieza

- Delimitar, señalizar y restringir el área de trabajo a los trabajadores estrictamente necesarios.
- Instalar vestuarios dobles junto a la zona de trabajo (para separar la ropa de calle de la ropa de trabajo).
- Limpiar con regularidad el suelo y superficies de trabajo con medios húmedos o aspiración con filtros de alta eficacia, prohibiendo la utilización de medios que puedan dispersar los contaminantes (prohibido el uso de aire comprimido, cepillo, escoba,...).

## Productos almacenados

- Almacenar los productos en tanques o contenedores dobles totalmente impermeables, cuidadosamente cerrados y etiquetados (en el etiquetado debe mencionarse la presencia de nanopartículas y los potenciales peligros asociados).
- Almacenar estos tanques y contenedores en un área fresca y bien ventilada, lejos de la luz solar y de fuentes de calor o ignición y de materiales inflamables.

## Tratamiento de residuos

- Considerar los residuos (envases, filtros de los sistemas de ventilación, las bolsas de la aspiración, equipos de protección) como residuos peligrosos.
- Clasificar, empaquetar y eliminar los residuos del área de trabajo en sacas cerradas, estancas y etiquetadas (el etiquetado puede ser similar a los envases originales).

## Utilización de equipos de protección individual

- Se recomienda utilizar equipos de protección individual respiratoria contra partículas, de tipo P3, perfectamente ajustados ya que las NPs pueden pasar a través de pequeños intersticios.
- Ropa de trabajo: buzo tipo 5 (Tyvek 5), ajustado en muñecas y tobillos, sin bolsillos ni pliegues, con cubre zapatos.
- Guantes, que serán de látex, nitrilo u otros que impidan la penetración. Se aconseja el uso de dos pares de guantes.
- Gafas con protectores laterales.

## Formación e información de los trabajadores

- Formar e informar a los trabajadores sobre los riesgos para la salud y seguridad, así como sobre las medidas de prevención a adoptar (por ejemplo, seguir procedimientos de trabajo óptimos con el fin de minimizar la generación y suspensión en el aire de nanopartículas).
- Las incertidumbres derivadas de la falta de conocimiento sobre las nanopartículas, los efectos sobre la salud y su evaluación, hacen más necesaria la información y formación de los trabajadores, así como su participación en todas las actividades de evaluación y gestión de los riesgos.

# Riesgo de incendio y explosión

La extrapolación directa de las medidas adoptadas en la prevención de explosiones de polvos finos y ultrafinos a las nanopartículas no ofrece garantías suficientes debido a los cambios que sufren las partículas al ingresar en la categoría de nanopartículas (ya que el número de átomos superficiales en los nanomateriales es mucho mayor que en materiales convencionales).

No obstante, teniendo en cuenta el principio de precaución y que la energía mínima de ignición de un gas es inferior a la necesaria para la ignición de una nube de polvo, se puede suponer que el riesgo de explosión e incendio asociado a una nube de nanopartículas, puede ser importante.

Por otra parte, la tendencia general es que con la reducción del tamaño de partícula la violencia explosiva y la facilidad de ignición se incrementa.

En consecuencia, como medidas de prevención frente a este riesgo en el tratamiento y almacenamiento de nanopartículas, se recomienda:

- Disponer de instalaciones eléctricas antiexplosivas y equipos eléctricos protegidos frente al polvo e incluso, en ciertos casos, que sean estancos para vapores.
- Seleccionar cuidadosamente los equipos contra incendios.
- Si es posible, obtener, manipular y almacenar los nanomateriales en un medio líquido.
- Manipular y almacenar los nanomateriales en atmósferas controladas.
- Envolver los nanomateriales en una capa protectora constituida por sales o diferentes polímeros que puedan eliminarse rápidamente antes de la utilización del producto.
- Evitar situaciones en las que se pueda generar electricidad estática.
- Utilización de ropa y en especial de calzado anti-estático para evitar electricidad estática y posible fuente de ignición.
- Limpieza periódica y ventilación general para evitar la acumulación de polvo y nubes explosivas.



En este caso será obligatorio el cumplimiento del Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados por atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

## Vigilancia de la salud

La vigilancia de la salud de todos los trabajadores debe considerarse allí donde exista riesgo de exposición a nanopartículas y donde se haya demostrado que hay una relación entre la exposición a la sustancia y un indicador biológico medible.

Se recomienda el establecimiento de un programa de vigilancia de la salud para los trabajadores, si las NPs contienen productos químicos o componentes para los que los protocolos actuales recomiendan la vigilancia de la salud.

Dado que el impacto de las nanopartículas sobre la salud humana no está claro, la vigilancia periódica de la salud (incluyéndose pruebas de la función pulmonar, renal, hepática y hematopoyética) de los trabajadores es importante para detectar cualquier efecto adverso de las nanopartículas.

El NIOSH ha desarrollado una guía para el seguimiento médico de trabajadores potencialmente expuestos a nanopartículas manufacturadas teniendo en cuenta el principio de precaución, desarrollando una serie de recomendaciones:

- Tomar medidas adecuadas para controlar la exposición de los trabajadores a nanopartículas.
- Utilizar la vigilancia de la salud como una base para implementar medidas de control.
- Considerar el establecimiento de unas pautas de vigilancia de la salud que ayuden a evaluar si las medidas de control son efectivas e identificar nuevos problemas y efectos sobre la salud.

## Trabajadores sensibles

Se debe tener especial cuidado de evitar la exposición a nanopartículas y nanomateriales por parte de trabajadores sensibles, y trabajadoras embarazadas y en período de lactancia, debiendo estar identificados en la evaluación de riesgos.

Las nanopartículas inhaladas pueden depositarse en los pulmones y de ahí pasar a otros órganos (cerebro, hígado, bazo), existiendo la posibilidad de que puedan pasar al feto en mujeres embarazadas.

# NANOMATERIALES

**Identificación y prevención de los riesgos  
para la salud de los trabajadores**

“Cumpliendo ganamos todos”

## Información y asesoramiento

Instituto Riojano de Salud Laboral (IRSAL)

Área de Higiene Industrial

C/Hermanos Hircio, 5

26071 Logroño

Tfno. 941 291 801 Fax. 941 291 826

e-mail: [irsal@larioja.org](mailto:irsal@larioja.org)

[www.larioja.org](http://www.larioja.org)



**Gobierno  
de La Rioja**  
Industria, Innovación  
y Empleo  
[www.larioja.org](http://www.larioja.org)



**Instituto Riojano  
de Salud  
Laboral**



**Sistema Riojano  
de Innovación**