

# Riesgos higiénicos emergentes y su control en la micro y nanoingeniería



**Aguayo González, Francisco**

Departamento de Ingeniería del Diseño.  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.  
c/Virgen de África 7, 41010, Sevilla. España.  
+34 95 455 28 27 / [faguayo@us.es](mailto:faguayo@us.es)



**Martín Gómez, Alejandro Manuel**

Departamento de Ingeniería del Diseño.  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.  
c/Virgen de África 7, 41010, Sevilla. España.  
+34 95 455 28 27 / [ammartin@us.es](mailto:ammartin@us.es)



**Lama Ruiz, Juan Ramón**

Departamento de Ingeniería del Diseño.  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.  
c/Virgen de África 7, 41010, Sevilla. España.  
+34 95 455 28 27 / [jrlama@us.es](mailto:jrlama@us.es)

## ABSTRACT

Las continuas investigaciones en el campo de la nanotecnología para la obtención de nuevos materiales con procesos que operan en las escalas nanométricas y la implementación de la micro y nanoingeniería derivada de las precedentes investigaciones, esta determinando riesgos higiénicos emergentes sobre la salud humana. La modificación de los materiales y los procesos asociados en escalas tan pequeñas, con objeto de obtener nuevas propiedades, se presenta como uno de los principales factores de riesgo por la posible existencia de su carácter toxicológico. El trabajo presentado pretende ofrecer una visión de los riesgos higiénicos emergentes que existen en el campo de la nanoingeniería. Evaluando a continuación las mejores técnicas disponibles de extracción localizada para el control de riesgos higiénicos derivados de la micro y nanoingeniería.

### Palabras clave

Riesgos higiénicos emergentes, extracción localizada, control de riesgos, nanoingeniería.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías se ha centrado desde su inicio en la búsqueda de soluciones en la dimensión macroscópica, realización de grandes sistemas técnicos a través de la macroingeniería, y microscópica, orientada a la creación de sistemas en pequeña escala, e incluso a la obtención de soluciones macroscópicas desde el conocimiento del ámbito de la microingeniería.

Las tecnologías emergentes hoy en día, proporcionan opciones impensables años atrás. Evolucionado desde el mundo macroscópico y visible a simple vista hacia un mundo microscópico con infinitud de posibilidades.

En el contexto de trabajo de la microingeniería surgen términos como microtecnología y nanotecnología [1], que son utilizados para definir la manipulación controlada y producción de objetos materiales, instrumentos, estructuras y sistemas en pequeña escala. Los ámbitos de aplicación de estas tecnologías no se encuentran limitados a ciertos sectores o ámbitos del conocimiento, las mismas se han incorporado rápidamente en muchos sectores, como el sanitario, agronómico, textil, químico, farmacéutico, construcción, mecánico alimentario, etc.

La modificación de los materiales a escalas tan pequeñas, con objeto de obtener nuevas propiedades, se presenta como uno de los principales factores de riesgo por la posible alteración de las propiedades toxicológicas y potencial de exposición de los mismos. Además del desconocimiento del alcance de daño que pueden provocar las nanopartículas por ser la nanotecnología relativamente reciente. Si bien, existen indicadores que muestran que pueden ocasionar toxicidad, efectos autoinmunitarios, alteración de las estructuras proteicas, efectos cardiopulmonares y cánceres.

La nanotecnología presenta un gran potencial en sí misma pudiendo suponer un gran beneficio para la sociedad, en áreas tan diversas como la sanidad o la electrónica. Sin embargo, el hecho de que la nanoingeniería esté en continuo desarrollo, hace que aparezcan de forma ininterrumpida nuevos materiales que presentan propiedades distintas de los que fueron obtenidos. Es por ello que existe una amplia investigación en el campo de la nanotecnología [2] con objeto de estudiar cómo puede afectar a las personas estas nuevas sustancias y los procesos en los que intervienen. Centrándose principalmente en la fase de producción.

El trabajo presentado pretende ofrecer una visión de los riesgos higiénicos emergentes existentes en el campo de la nanoingeniería. Para ello se realiza un análisis de los riesgos emergentes, a los que están expuestos los trabajadores, derivados del empleo de nanomateriales, identificando las principales nanosustancias y nanopartículas que son generadas en los nanoprocesos. Mostrándose la inhalación de nanopartículas respirables provenientes de nanomateriales como uno de los principales riesgos para la salud de los trabajadores. Seguidamente se evalúan las mejores técnicas disponibles de control de los agentes contaminantes identificados, dedicando un trato preferente a la extracción localizada, al ser ésta la medida de control que goza de mayor reconocimiento por parte de los especialistas en lo que respecta a la protección frente al riesgo higiénico emergente de mayor peligrosidad [3-4].

## NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología es un cuerpo de conocimiento aplicado que tiene como cimiento el conocimiento base derivado de la nanociencia. Siendo la nanociencia la aplicación de la nanotecnología a problemas prácticos concretos. El estudio de las propiedades de los objetos y fenómenos que suceden en la nanoescala corresponde a la nanociencia,

ámbito en el que surgen nuevas relaciones y propiedades entre las nanopartículas (átomos y moléculas). La nanociencia como disciplina del conocimiento básico, ha posibilitado la fundamentación teórica y el desarrollo de la nanotecnología, que constituye un saber hacer para la producción de objetos, materiales, instrumentos, estructuras y sistemas a dicha escala con una finalidad práctica [5].

Este tipo de tecnología centra su actividad en el diseño, fabricación y aplicación de nanomateriales, nanoestructuras y nanosistemas. Su objetivo [1] es diseñar y construir nuevas herramientas para la caracterización de las nanoestructuras y nanomateriales. Esta nueva tecnología tiene importantes diferencias respecto a la microtecnología, fundamentalmente las ocasionadas por la diferencia de escala. La nanotecnología opera a nivel atómico y molecular, pero en principio nada impide que el nivel operacional descienda hasta el nivel de partículas subatómicas.

La nanotecnología permite trabajar la materia en las dimensiones comprendidas entre 1-100 nanómetros, y se orienta a explorar, sintetizar y transformar nuevas propiedades en los materiales, como consecuencia de la nanoescala. Estas propiedades son diferentes a las que poseen los materiales a escalas mayores. En estas escalas los materiales y sustancias presentan una mayor reactividad química, como consecuencia de su mayor área superficial, y se manifiestan efectos cuánticos, puesto que a estas escalas los materiales no se rigen por las leyes de la física clásica, sino por las leyes de la física cuántica.

## ÁMBITOS DE ACTIVIDAD

Los ámbitos de aplicación de estas tecnologías no se encuentran limitados a determinados sectores del conocimiento. Éstas se han implantado a gran velocidad en multitud de sectores, como son el sanitario, textil, alimentario, mecánico, químico, farmacéutico, electrónico, construcción, etc. Concretamente, sus ámbitos de trabajo [1], en lo que respecta a la investigación y desarrollo tecnológico son:

- Manipulación y dinámica de nanopartículas para electrónica, comunicaciones y sensores.
- Análisis y síntesis multiescala de procesos acoplados y sistemas complejos.
- Estudio y caracterización de las propiedades mecánicas, eléctricas y electrónicas de nanodispositivos, nanoestructuras y sistemas biológicos.
- Análisis de superficies y reactividad en la micro y nano escala.
- Modelado y simulación a diferentes escalas de sistemas nanométricos y materiales nanoestructurados.
- Fabricación, caracterización y aplicaciones de microcapas y nanocapas y recubrimientos.
- Diseño y fabricación de dispositivos, circuitos y sistemas.
- Integración de dispositivos nanométricos en sistemas microscópicos y mesoscópicos.
- Diseño, síntesis y caracterización de nanopartículas y su aplicación en procesos de catálisis.
- Aplicaciones en el campo de la energía de nanopartículas y nanoestructuras.
- Diseño de equipos para obtener, manipular y caracterizar nanomateriales y nanoestructuras.

Existen distintos ejemplo de aplicaciones y propuestas que utilizan la nanoingeniería, dependiendo fundamentalmente, del tipo de sector de actividad de que se trate. Por ejemplo, la industria alimenticia se beneficia de la nanoingeniería en aplicaciones como la protección contra la oxidación, control en la liberación de nutrientes encapsulados (humedad o pH engatillado), enmascaramiento del gusto, seguridad alimenticia,

análisis de calidad, envases mejorados, nano aditivos, envases autolimpiador y antibacterial, etc.

## PROCESOS EN NANOTECNOLOGÍAS

Los métodos generales de trabajo para la producción de nanopartículas, que están unidos al concepto de propiedades emergentes y complejidad nanométrica, son los métodos "top-down" y "bottom-up" [6-7].

Los métodos de fabricación "top-down", tienen como punto de partida una pieza de material macroscópico, siendo el objetivo diseñar y miniaturizar el tamaño de estructuras para obtener a nanoescalas sistemas funcionales. Este procedimiento es el empleado en la actualidad para la fabricación de circuitos integrados. Pudiendo encontrar las técnicas de ingeniería de precisión y la litografía de materiales en un estado importante de desarrollo.

Los métodos de fabricación "bottom-up", pertenecen a la nanotecnología molecular, siendo el objetivo la construcción de objetos y estructuras átomo a átomo o molécula a molécula. Este tipo de procesos constituyen el enfoque principal de la nanoingeniería, puesto que permiten el control de la materia de forma precisa. Como ejemplo de estos procesos se encuentra la suspensión coloidal utilizada para sintetizar nanopartículas.

Como conjunción de ambos se encuentran los procesos híbridos "bottom-up" y "top-down", que permite obtener soluciones que se encuentran articulando los métodos con técnicas como la litografía. El diseño y construcción de la estructura molecular y de su organización para formar nuevos materiales, puede apoyarse en ambos enfoques, "top-down", a partir de estructuras grandes que se procesan mediante procesos de molienda ultrafina, láseres, vaporización seguida de enfriamiento, etc. Para la formación de nanopartículas con estructuras complejas se prefiere emplear el enfoque "bottom-up" partiendo de moléculas que se ensamblan para conformar las estructuras buscadas.

Actualmente existen tres grupos de procesos de fabricación de nanomateriales en función de las leyes que rigen su obtención [8], así se encuentran:

- Procesos químicos: Reacciones en medio líquido, hidrólisis, coprecipitación, reacciones en estado sólido, fluidos supercríticos mediante reacción química, técnicas de sol-gel, reacciones en fase de vapor, métodos de soluciones, método hidrotermal, etc.
- Procesos físicos: Evaporación, condensación, descargas eléctricas, ablación por láser, combustión por llama, pirolisis por láser, deposición física de vapor, descomposición catalítica, microondas, etc.
- Procesos mecánicos: Molienda de alta energía, consolidación, densificación, torsión, fricción, laminados, etc.

Los procesos físicos y químicos están basados en el enfoque ascendente (bottom-up), mientras que los procesos mecánicos están apoyados principalmente en el enfoque descendente (top-down).

Además de los procesos de generación intencionada de nanomateriales, existen en la industria otros grupos de procesos que, no siendo su cometido la producción de nano productos ni la utilización de éstos, si presentan la posibilidad de generar partículas ultrafinas. Entre las principales fuentes de generación involuntaria de partículas

ultrafinas se encuentran:

- Procesos mecánicos: mecanizado, perforación, lijado, pulido, etc.
- Procesos de combustión: Emisiones de motores diesel o gas, plantas de cremación, calefacción de gas, etc.
- Procesos térmicos: Galvanizado, tratamientos superficiales, fundición de metales, soldaduras, corte de metales, etc.
- Otros procesos: Polvos emitidos en procesos de manejo de pigmentos, pinturas, cementos, etc.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO

El Observatorio de Riesgos, creado por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA), tiene la misión de detectar riesgos nuevos y emergentes en lo relacionado con la seguridad y salud en el trabajo, con el fin de adelantarse a los cambios laborales y a aumentar la validez de las medidas preventivas.

El último informe sobre riesgos nuevos y emergentes del Observatorio de Riesgos indica que existen diez grupos principales de sustancias químicas que pueden afectar gravemente a la salud del trabajador. Dentro de este grupo aparecen sustancias nuevas en continua evolución, cuyos riesgos siguen siendo objeto de investigación, y sustancias ya existentes cuyos últimos estudios muestran el efecto nocivo que pueden presentar para la salud de los trabajadores.

Los diez grupos principales de riesgos higiénicos en el ámbito químico [9], enunciados de mayor a menor riesgo según la escala de Likert, son: nanopartículas, control químico en PYME, subcontratación, resinas epoxi, sustancias peligrosas en el tratamiento de residuos, exposición dérmica, gases de escape de motores diesel, isocianatos, fibras minerales artificiales y sustancias peligrosas en el sector de la construcción. Presentándose la nanoingeniería como el principal riesgo emergente a nivel europeo.

### **Nanotoxicología**

La producción de nanopartículas permite la obtención de materiales con mejores propiedades físico/químicas y funcionales, encontrando multitud de aplicaciones en un gran número de productos comerciales. Pero estas alteraciones también pueden resultar perjudiciales para la salud humana. En el caso de los nanomateriales la incertidumbre es grande puesto que sus características, tanto en magnitud como en tipología, pueden ser distintas de las de los materiales de mayor tamaño que presentan la misma composición química. La falta de estudios toxicológicos sobre nanomateriales hace que la información toxicológica del mismo material a escala macroscópica pueda emplearse para realizar aproximaciones sobre la toxicidad de la nanopartícula [10], debiendo de complementarse con estudios in vivo e in vitro.

Existen estudios que caracterizan la condición de las nanopartículas respecto a su tamaño, carga superficial y grado de aglomeración [11], indagando en los parámetros que afectan directamente a las nanopartículas, en función de distintos factores a los que se ven sometidos los materiales. Posibilitando el avance y la mejora en los estudios sobre toxicología de nanomateriales.

Otros autores proponen métodos de análisis para la toma de decisiones formal basados

en análisis multicriterio [12], de modo que se puedan clasificar los nanomateriales en distintas categorías de riesgo. El sistema de clasificación se basa en la medición de las características toxicológicas y físico/químicas de los materiales originales, atendiendo al impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto. Entre los parámetros utilizados para el análisis se encuentran: la aglomeración, carga reactiva, grupos funcionales críticos, contaminante de disociación, potencial de biodisponibilidad, potencial de bioacumulación, potencial tóxico y tamaño.

Identificados y caracterizados los materiales a los que se encuentran expuestos los trabajadores, es necesario indicar que existen otros factores que influyen en mayor o menor medida en la toxicología de las nanopartículas, incluidos los dependientes del material como se ha expuesto. Se distinguen los siguientes grupos:

- Factores dependientes de la exposición: Concentración, duración de la exposición y vía de penetración (inhalatoria, dérmica y digestiva).
- Factores dependientes del organismo expuesto: Susceptibilidad individual, realizar actividades físicas en el lugar de trabajo, vías que siguen las partículas en el organismo y metabolización.
- Factores dependientes de los materiales: Toxicidad intrínseca de la sustancia.

### **Detección y medición de nanopartículas**

El proceso de detección de nanopartículas es una tarea compleja y que presenta en la actualidad ciertas limitaciones, tanto a la hora de medir gases como líquidos. Existen instrumentos capaces de detectar partículas a niveles nanométricos, incluso de 1nm, aunque con la utilización de espectrómetros de masas es posible cuantificar con un alto grado de precisión la composición de las nanopartículas de ciertos tamaños en el interior de un gas.

### **Valores límites**

En la actualidad no existe un listado de valores límites de los nanomateriales como en el caso de las sustancias químicas a escalas macroscópicas (VLA). Sin embargo, en otros países se han definido algunos valores límites de exposición para alguna clase de nanopartícula [8]. Por ejemplo, el Instituto Alemán de Seguridad (BGIA, establece algunos límites de referencia para nanomateriales:

- Metales, óxidos metálicos y otros nanomateriales con densidad superior a los 6.000 kilogramos por metro cúbico, se establece un límite de 20.000 partículas por centímetro cúbico.
- Nanotubos de carbono, una concentración de fibras de 10.000 fibras por metro cúbico.

Así como el NIOSH propone a su vez valores límites para algunos compuesto, como por ejemplo:

- Partículas de dióxido de titanio. Estableciendo para partículas finas, con diámetro mayor de 0,1  $\mu\text{m}$ : OEL = 1,5 miligramos por metro cúbico. Y para partículas ultrafinas, con diámetro menor de 0,1  $\mu\text{m}$ : OEL = 0,1 miligramos por metro cúbico

No obstante, estudios realizados muestran la importancia del área superficial en la toxicología de nanopartículas [13]. Poniendo en duda la validez del enfoque clásico, donde se consideran las concentraciones personales en masa por unidad de volumen,

en función de las partes de entrada al organismo definidas en la norma de muestreo de aerosoles UNE-EN 481 para la evaluación del riesgo.

### **Evaluación mediante metodologías simplificadas**

La falta de uniformidad a la hora de definir un índice que defina adecuadamente la exposición (masa, número de partículas o superficie), la ausencia de publicación de límites de exposición, entre otros motivos porque en general se desconocen los niveles en lo que las nanopartículas presentan efectos sobre la salud, así como las limitaciones que presentan los actuales equipos de muestreo personal, hace que el uso de metodologías “control banding” o metodologías simplificadas de evaluación del riesgo pueda ser una alternativa válida [13-14]. Estando propuesto por el INSHT como método válido para la evaluación del riesgo frente a nanopartículas a pesar de ser un método de análisis cualitativo [15].

Este tipo de metodología toma como parámetros cualitativos para la evaluación la severidad y la probabilidad, limitando el número de factores considerandos con objeto de disminuir la complejidad. La probabilidad viene determinada en función del riesgo potencial de exposición y la severidad se determina mediante parámetros toxicológicos. Como resultado el método puede dar lugar a cuatro niveles de riesgo, exponiendo en cada caso las medidas preventivas que habrán de considerarse [16].

### **TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA**

Identificado el riesgo al que se puede ver sometido el trabajador, habrá que controlarlo mediante el uso de técnicas adecuadas que reduzcan o prevengan la exposición a nanomateriales en el lugar de trabajo. Para ello puede hacerse uso de la norma ISO/TR 12885 sobre prácticas de seguridad y salud en lugares de trabajo relacionados con las nanotecnologías [17]. Las medidas preventivas frente a riesgos derivados de los nanomateriales comprenden la prevención de incendios y explosiones, como consecuencia de su condición de partículas en el ambiente de trabajo, y las relacionadas a su posible toxicidad. Entre las principales medidas técnicas que se proponen se encuentran la sustitución de las sustancias, procesos y equipos, el aislamiento o encerramiento del proceso, la extracción localizada y la recirculación del aire y filtración. Así como las medidas organizativas, protecciones personales, control de derrames, vigilancia de la salud, atención a trabajadores sensibles y formación e información de los trabajadores.

Tales medidas de prevención y protección se definen como consecuencia de la evaluación de riesgos y en gran parte de las situaciones serán las mismas que las que se podrían definir para el control de la exposición a aerosoles [8]. Puesto que la naturaleza misma de los materiales descritos y su forma de obtención y manipulación, hace que buena parte de ellos se extiendan en forma de vapores, aerosoles, polvos y gases.

El método de control de los agentes químicos, que se presentan en forma de humos, gases, vapores, etc. más común en la industria, suele ser mediante el empleo de sistemas de ventilación [18]. Principalmente existen dos técnicas de ventilación, en función de si la medida de control es colectiva (ventilación general) o individual (extracción localizada). Aunque para el caso de riesgos químicos de alta contaminación, como son los descritos, se recomienda el uso de sistemas de extracción localizada [19], puesto que elimina el contaminante en el origen, impidiendo que éste se propague a otros puestos de trabajo colindantes.

En las siguientes líneas se exponen distintas variantes de los sistemas de extracción localizada que se pueden encontrar en el mercado. La elección de uno u otro dependerá principalmente de las características del proceso productivo en estudio y de la exposición del trabajador al contaminante [19].

Aspiración por bajo vacío. Este tipo de aspiración consta básicamente de un aspirador y una unidad de filtración. Se emplea para capturar aire contaminado en el que existen pequeñas partículas en suspensión, ligeras y que viajan por los conductos a baja velocidad. Se caracterizan por mover elevados volúmenes de aire ( $600-1.900\text{ m}^3/\text{h}$ ) y unas velocidades en los conductos relativamente bajas ( $10-25\text{ m/s}$ ).

Aspiración por alto vacío. Los sistemas de aspiración por alto vacío son empleados para la captación de partículas pesadas como son los polvos, la viruta metálica o la limpieza en general. La mayoría de las industrias, como el sector farmacéutico, alimentario, fundiciones, etc. utilizan este tipo de sistemas para la limpieza. Se caracterizan por mover reducidos volúmenes de aire ( $100-250\text{ m}^3/\text{h}$ ) y unas altas velocidades de captura ( $25-90\text{ m/s}$ ).

Pantalla con unidad de aire fresco. Es esencialmente un sistema autónomo de ventilación que el trabajador lleva incorporado sobre sí mismo. Presenta la ventaja de un aislamiento completo para el trabajador, pero en contra partida carga al trabajador con el peso del propio equipo y no elimina el contaminante del ambiente.

Extracción mediante campanas móviles. Sistema compuesto por campana de captación, conducto, filtro y aspirador. Existen multitud de formas de campana de captación en función de los requerimientos de extracción. Estos sistemas presentan la ventaja de poder aproximar lo máximo posible la boca de extracción al origen del contaminante, por lo que se impide de forma eficaz la propagación del mismo al ambiente.

Vitrinas de laboratorio. Las vitrinas se diferencian del resto de sistemas de extracción en que ofrecen un encerramiento para el proceso. En función del proceso a encerrar y de los contaminantes a eliminar encontramos las vitrinas de sobre suelo, convencionales, de sobremesa o para almacenamiento [20].

Extracción localizada en la torcha. Las torchas de soldadura con extracción localizada permiten la absorción de humos y gases, mediante aspiración por alto vacío, en la propia pistola sin necesidad de incorporar nuevos accesorios. Existiendo en el mercado pistolas con toma de aspiración de reducido tamaño y peso.

Sistemas de extracción de gases de vehículos. Como mecanismo de control de los gases y humos generados por los motores de los vehículos en el interior de los talleres o garajes (por ejemplo, parques de bomberos), existen en el mercado soluciones, que mediante sistemas de railes aéreos y mangueras extensibles, permitan captar estos contaminantes en el origen. Son sistemas muy efectivos. Pudiendo encontrar algunos que utilizan el propio raíl como conducto de ventilación, evitando así la instalación de tuberías. En contra partida, la inversión necesaria para instalar estos sistemas es relativamente alta.

Todos estos tipos de sistemas de extracción, excepto los centralizados, presentan la ventaja de poder ser portátiles, caracterizándose por su reducido volumen y peso, facilitando el que puedan ser utilizados en cualquier lugar de trabajo (soldadura en buques, limpieza de grandes superficies, etc.). Los centralizados por su parte se distribuyen por las zonas de trabajo con riesgo mediante un sistema de tuberías y unos aspiradores centralizados que proporcionan tomas de extracción localizada en los



diferentes puntos. Existiendo en ambos casos una amplia gama de brazos de extracción para cubrir todas las necesidades, incluyendo iluminación y sistemas de arranque-paro automático.

## CONCLUSIONES

Los continuos avances en el área de la nanoingeniería, con la constante aparición de nuevas sustancias que presentan distintas propiedades, dificulta la tarea de definición del nivel de riesgo intrínseco que pueden suponer estas sustancias para las personas. La falta de suficientes estudios toxicológicos y, por su reciente aparición, de los adecuados estudios epidemiológicos, hace que las nanotecnologías estén presentes en el ámbito laboral sin un conocimiento preciso de los posibles riesgos que pueden provocar para la salud.

La clarificación por parte de los especialistas de los índices que han de escogerse para cuantificar la exposición a los nanomateriales, así como la definición de los correspondientes valores límites ambientales, posibilitarán la evaluación de la exposición por parte de los trabajadores a este tipo de sustancias de forma cuantitativa.

En cualquier caso, a pesar de no poder cuantificar el riesgo, existe consenso respecto a la utilización de sistemas de ventilación para la eliminación de los contaminantes, generados en este caso por la presencia de nanopartículas en el ambiente de trabajo. El adecuado diseño del sistema de extracción localizada y la ergonomía del mismo son factores claves para garantizar un adecuado uso por parte de los trabajadores y evitar así que se generen atmósferas peligrosas para la salud, ocasionadas por una utilización deficiente de los sistemas de extracción. Puesto que el control eficaz de los agentes químicos mediante el uso de extracción localizada no depende únicamente del correcto diseño del sistema de extracción, sino que se ve condicionado además por su adecuada utilización por parte del trabajador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguayo, F., & Zarzuela, E. (2011). Técnicas y aplicaciones de la microingeniería y la nanoingeniería. *Técnica Industrial*, 295, 24-32.
2. Savolainen, K. (2010). Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies. A review. *Toxicology*, 269, 92-104.
3. Su-Jung, T. (2010). Airborne Nanoparticle Exposures while Using Constant-Flow, Constant-Velocity, and Air-Curtain-Isolated Fume Hoods. *The Annals of Occupational Hygiene (Oxford Journals)*, 54, 1, 78-87.
4. Rosell, M., & Pujol, L. (2009). *Riesgos Asociados a la Nanotecnología Notas técnicas de prevención*. INSHT, NTP-797, 2009.
5. Alegría, J.R. (2004). *La convergencia nanocientífica y nanotecnológica en la investigación*. Consejo nacional de Ciencia y Tecnología. Universidad Politécnica de El Salvador.
6. Ahmed, W., & Jackson, M. (2009). *Emerging nanotechnologies for manufacturing*. Oxford: William Andrew.
7. Antonovic, V., Pundiene, I., Stonys, R., & Cesniene, J. (2010). A review of the posible applications of nanotechnology in refractory concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16, 4, 595-602.
8. Instituto Riojano de Seguridad Laboral. (2011). La seguridad y la salud en la exposición a nanopartículas. Logroño.
9. European Agency for Safety and Health at Work. (2009). *Expert forecast on emerging chemical risks related to occupational safety and health*. EASHW.

10. Gálvez, V. (2010). Toxicología de las nanopartículas. *Seguridad y Salud en el Trabajo*, 56, 6-12.
11. Jiang, J. (2009). Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticles dispersions for toxicological studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 11, 77-89.
12. Tervonen, T. (2009). Risk-based classification system of nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*, 11, 757-766.
13. Tanarro, C. (2010). Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas. *Seguridad y Salud en el Trabajo*, 58, 22-27.
14. Zalk, D. (2009). Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*, 11, 1685-1704.
15. INSHT. *NTP 877: Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas*. Ed. INSHT.
16. Busto, N. (2011). Aplicación práctica de metodología cualitativa para la evaluación higiénica de exposición a nanopartículas. *Prevención*, 196, 14-24.
17. UNE-ISO/TR 12885 IN. (2010). Prácticas de seguridad y salud en lugares de trabajo relacionados con las nanotecnologías.
18. INSHT. (2002). *Agentes Químicos. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con agentes químicos*. Ed. INSHT.
19. Falagán Rojo, M.J. (2009). *Higiene industrial aplicada*. Editorial Fundación Luis Fernández Velasco, España.
20. INSHT. (2002). *NTP 672: Extracción localizada en el laboratorio*. Ed. INSHT.