

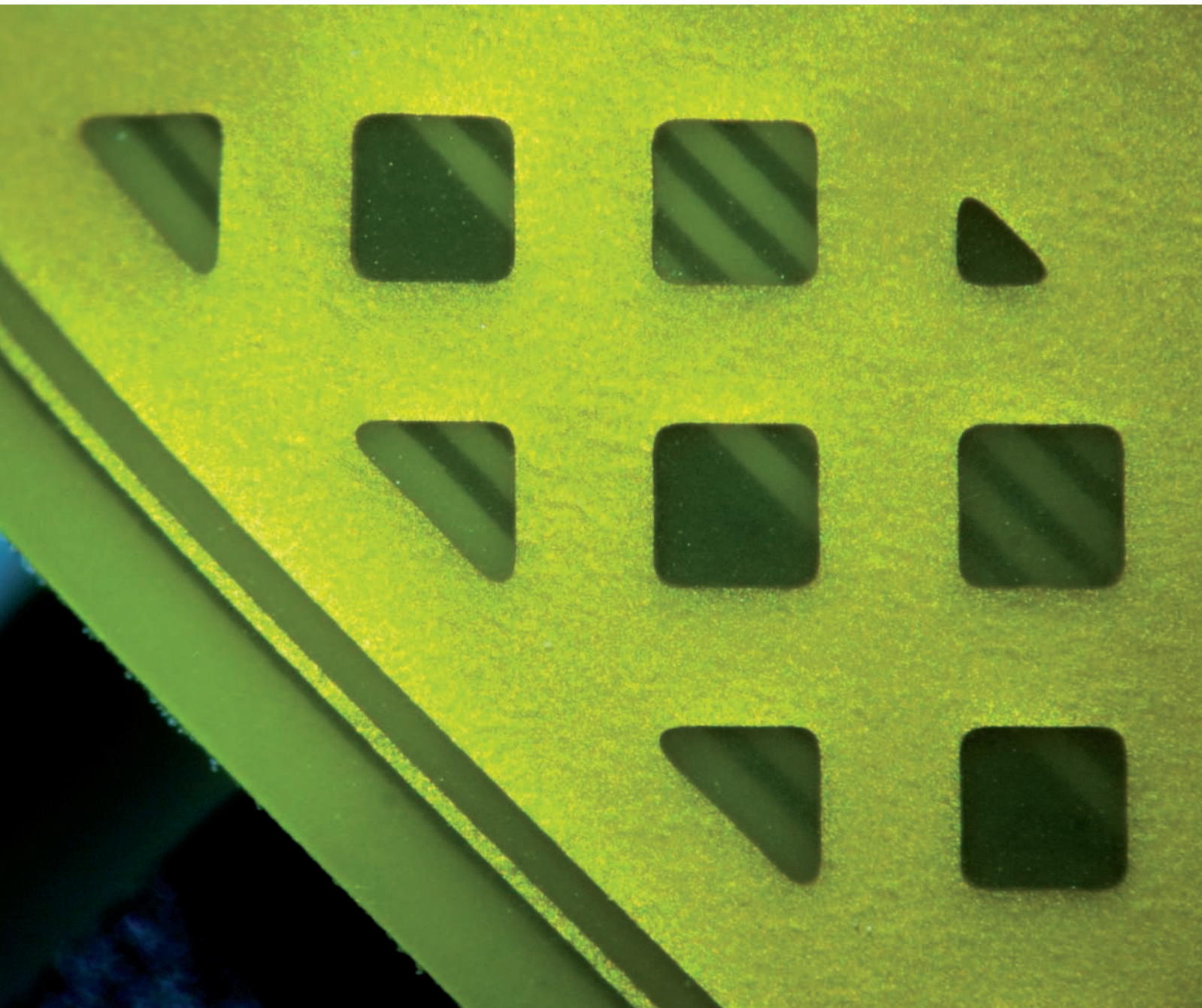
DOSSIER

# Técnicas y aplicaciones de la microingeniería y la nanoingeniería

Francisco Aguayo González, Elías Zarzuela Roldán, Juan Ramón Lama Ruiz y Antonio Córdoba Roldán

*Techniques and applications of micro engineering and nano engineering*

Foto: Pictelia



## RESUMEN

La creciente mejora de los productos y sistemas en los últimos años es consecuencia de la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas que permiten la implementación de innovaciones tecnológicas en las escalas micrométricas y nanométricas, complementarias a las obtenidas por el diseño industrial. La microingeniería y nanoingeniería (MNI) constituyen un ámbito de conocimiento que permite desarrollar nuevos productos derivados del conocimiento de las propiedades y los procesos de estas escalas. En el presente trabajo se expone una visión del estado actual de esta tecnología, su aplicación en el ámbito de la química, ambiente inteligente, con mención a los riesgos laborales que de su aplicación devienen.

Encargado: 8 de abril de 2011  
Recibido: 27 de junio de 2011  
Aceptado: 3 de agosto de 2011

## ABSTRACT

*The increasing improvement of products and systems during these last years is a consequence of the research and development of new techniques that allow implementing technological innovations on micrometric and nanometric scales, complementary to those obtained through industrial design. Macro engineering and nano engineering (MNI) constitute a knowledge area that allows developing new products derived from knowing properties and processes about these scales. In this work it is exposed a view of the present condition of this technology, its application in chemistry, intelligent environment and mentioning work risks derived from its application.*

Commissioned: April 8, 2011  
Received: June 27, 2011  
Accepted: August 3, 2011

## Palabras clave

Microingeniería, macroingeniería, nanoquímica, nanomáquinas, inteligencia ambiental, nanotecnología

## Keywords

Micro engineering, macro engineering, nanochemistry, nanomachines, ambient intelligence, nanotechnology

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 (figura 1).

Las tecnologías emergentes hoy en día, proporcionan opciones impensables años atrás. Dichas tecnologías han 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”, 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 ciertas parcelas del conocimiento; las mismas se han incorporado rápidamente a muchos sectores, como son el sanitario, textil, mecánico, alimentario, agronómico,

electrónico, químico, farmacéutico, construcción, electrónico, etcétera.

Sus ámbitos de trabajo, en lo que respecta a la investigación y desarrollo tecnológico son:

- Manipulación y dinámica de nanopartículas para electrónica, comunicación y sensores.
- Estudio y caracterización de las propiedades mecánicas, eléctricas y electrónicas de nanodispositivos, nanoestructuras y sistemas biológicos.
- Análisis y síntesis multiescala de procesos acoplados y sistemas complejos.
- Análisis de superficies y reactividad en la escala *nano* y *micro*.
- Simulación y modelización multiescala de sistemas nanométricos y materiales nanoestructurados.
- Fabricación, caracterización y aplicaciones de microcapas y nanocapas y recubrimientos.
- Fabricación y diseño de dispositivos, circuitos y sistemas.
- Integración de dispositivos nanométricos en sistemas microscópicos y mesoscópicos.
- Diseño, síntesis y caracterización de nanopartículas y su aplicación en catálisis.

– Aplicaciones en el campo de la energía de nanopartículas y nanoestructuras.

– Diseño de equipos para obtener, manipular y caracterizar nanomateriales y nanoestructuras.

– Riesgos ocupacionales asociados a la microingeniería y nanoingeniería.

– En una primera aproximación podríamos definir la microingeniería y la nanoingeniería (MNI) como el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a microescala y nanoescala, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia en escalas micrométricas y nanométricas con fines prácticos.

## Antecedentes históricos de la microingeniería y nanoingeniería (MNI)

Como en otros muchos aspectos de la ciencia y la técnica, es posible identificar precursores de la microingeniería y nanoingeniería a través de la historia de la tecnología. Sirve a modo de ilustración los siguientes casos representados en la figura 2:

a) *Copa de Licurgo (siglo IV)*. Presenta un color verde con luz reflejada y un rojo rubí con luz transmitida. Esto se

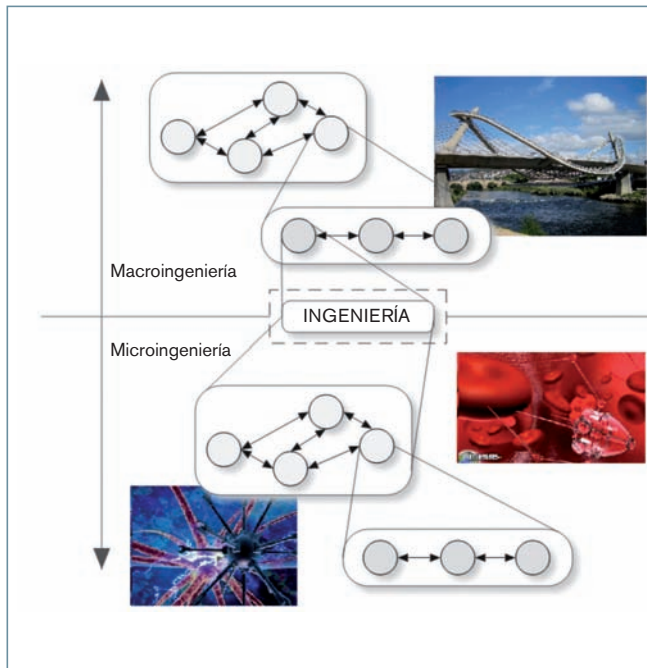


Figura 1. Visión global de la ingeniería.



Figura 2. Antiguas aplicaciones de la nanotecnología.

debe a la presencia de nanopartículas de una aleación de oro y plata en el vidrio.

*b) Coloración por cementación en piezas cerámicas*, también conocida como lustre. En esta técnica, con la progresión del tratamiento térmico reductor se producía el crecimiento de un tamaño aproximado de 10 nm de cristales de  $\text{Ag}_2\text{O}$  y  $\text{Cu}_2\text{O}$ , dentro de una capa de grosor comprendido entre 200 y 500 nm del vidriado, que son los responsables de las especiales características ópticas del lustre. Se puede considerar, por tanto, como la primera capa metálica nanoestructurada y reproducible realizada por el ser humano.

*c) Coloración por cementación en las vidrieras medievales*. Estas coloraciones son un ejemplo de la aplicación de la coloración por cementación en vidrio. Se produce un intercambio iónico, nucleación y un posterior crecimiento/agregación de nanopartículas metálicas dispersas en la matriz de vidrio. El desarrollo de esta metodología permitió a los maestros de la época disponer por primera vez de una herramienta para obtener diversas tonalidades de color en el mismo espesor.

Los principales hitos históricos más recientes con relación a la microingeniería y la nanoingeniería son:

*a)* La construcción de la guitarra más pequeña del mundo, aproximadamente del tamaño de un glóbulo rojo, para demostrar la posibilidad de fabricar minúsculos aparatos mecánicos utilizando técnicas de diseño de circuitos microelectrónicos, por investigadores de la Universidad de Cornell (EEUU)

*b)* En 2001 James Gimzewski inventa y construye la calculadora más pequeña del mundo.

### Nanociencia y nanotecnología

En los contextos disciplinares y práctica profesional se distingue entre ciencia e ingeniería, cuyo objeto, método y resultados del conocimiento son claramente distintos. En el dominio de la MNI, es factible hacer la misma distinción.

La microtecnología y la nanotecnología (MNT) son un cuerpo de conocimiento aplicado que tiene como base el conocimiento básico derivado de la microciencia y nanociencia. La MNI es la aplicación de la MNT a problemas prácticos concretos.

El estudio de las propiedades de los objetos y fenómenos a escalas micrométrica y nanométrica corresponde a la microciencia y nanociencia, marco en el que surgen nuevas relaciones y propiedades entre las nanopartículas (átomos y moléculas). La microciencia y la nanociencia como disciplina de conocimiento básico ha permitido la fundamentación teórica y el desarrollo de la MNT y MNI, que constituye un saber hacer para la producción de objetos, materiales, instrumentos, estructuras y sistemas a dicha escala (Alegria, 2004; Cremades, 2007) con una finalidad práctica.

La MNT y la MNI tienen por objeto el diseño, fabricación y aplicación de micronanomateriales, micronanoestructuras o sistemas. La nanotecnología tiene diferencias importantes con la microtec-

nología, fundamentalmente derivadas de la diferencia de escala y el con la MNI la finalidad última. La nanotecnología opera en los ámbitos atómico y molecular, pero en principio nada impide que el grado de operación descienda hasta las partículas subatómicas, los "ladrillos del universo" (Zehe, 2004). Su objetivo es diseñar y construir nuevas herramientas para la caracterización de las nanoestructuras y los nanomateriales.

La figura 3 puede dar una idea aproximada de lo que representa el microuniverso y el nanouniverso en el que operan estas tecnologías (MNT) e ingenierías (MNI). Para manipular este nanouniverso, existen diversas técnicas.

La nanotecnología y la nanoingeniería permiten trabajar la materia en las dimensiones comprendidas entre 1 y 100 nanómetros, y se orienta a explorar, sintetizar y transformar nuevas propiedades en materiales, que surgen debido a la nanoescala. Estas propiedades, son diferentes de las de los materiales compactos. En estas escalas los materiales y sustancias presentan:

*a)* Una mayor reactividad química, debido a su mayor área superficial.

*b)* Se manifiestan efectos cuánticos cuando la materia se encuentra a niveles nanométricos. El mundo nano no es regido por las leyes de la física clásica, sino por las leyes de la física cuántica. Si un electrón se lanza contra un muro, en lugar de chocar con este, lo traspasa. A estos niveles, la cerámica se hace transparente como el vidrio, y este es tan resistente como el pegamento y los metales

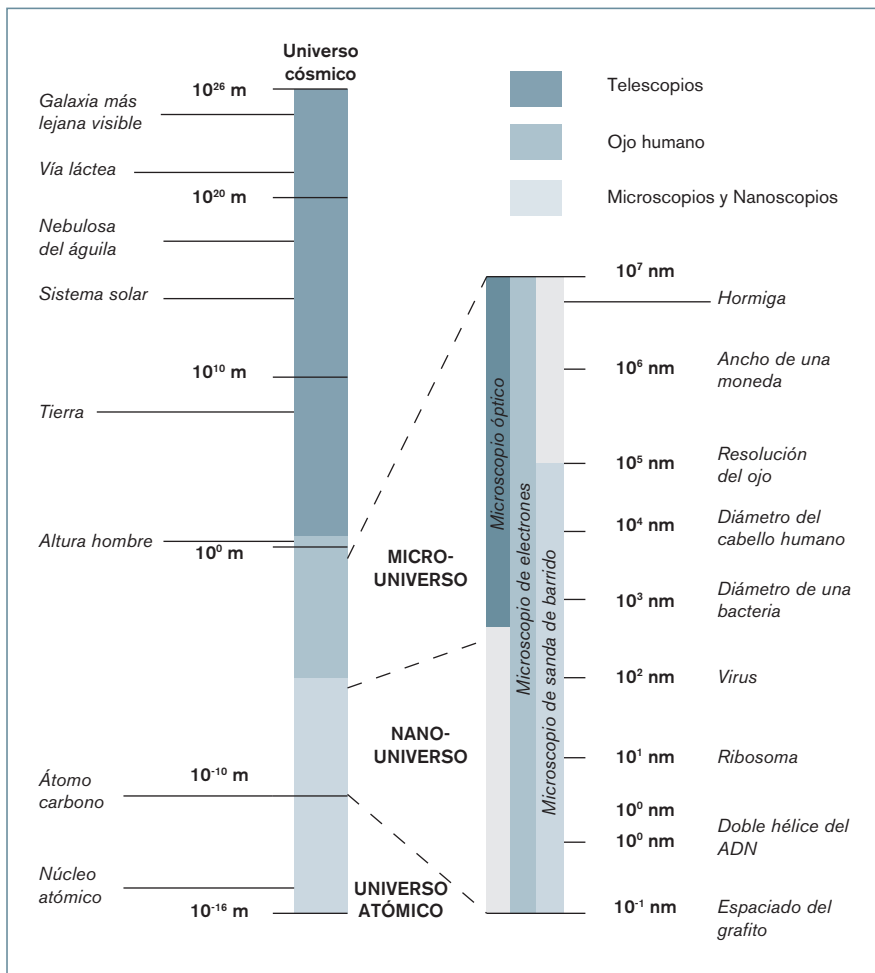


Figura 3. Escala nanométrica.

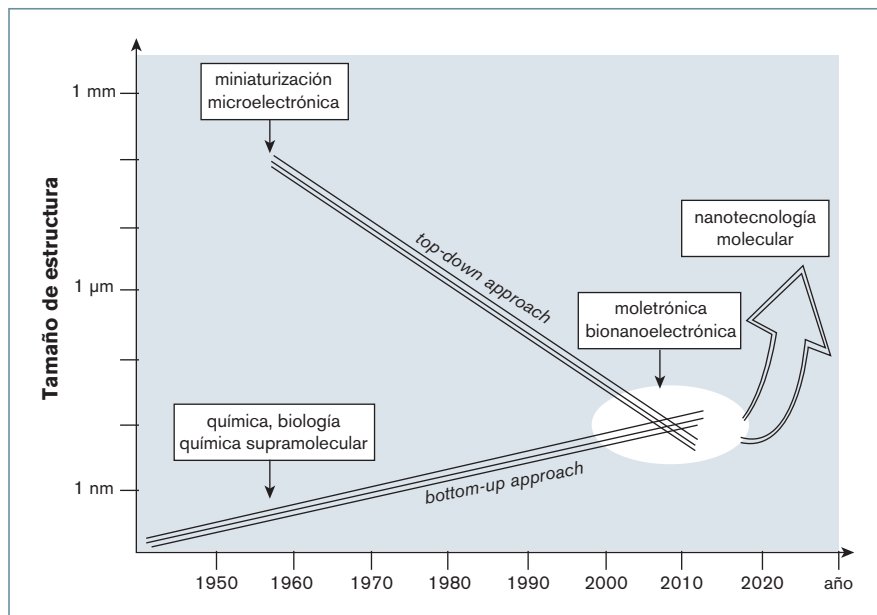


Figura 4. Métodos nanotecnológicos.

se convierten en colorantes y poseen propiedades magnéticas que se pueden activar o desactivar a voluntad.

Como en todas las tecnologías, en la nanotecnología y nanoingeniería es posi-

ble caracterizar los elementos que la constituyen como tal y que se concretan en:

a) Las realizaciones tecnológicas, por ejemplo en el sector de la alimentación las nanopartículas comestibles se usan

para crear bebidas inteligentes (con sabores y colores específicos). En la industria del cuero se están *empaquetando* aromas en nanopelículas de poliurea que forman microesferas (con cinco micrómetros de diámetro). Al pulverizar sobre el cuero u otras fibras textiles, las nanoesferas quedan incorporadas entre las fibras. Una vez terminadas se podrían utilizar para formar la tapicería de un automóvil.

b) Los métodos generales de trabajo, que están ligados al concepto de propiedades emergentes y complejidad nanométrica, son los métodos *bottom-up* y *top-down*.

c) Las técnicas específicas pueden ser diversas según el sector de aplicación o el ámbito del conocimiento al que se aplica, tales como: **nanotecnología húmeda** y **nanotecnología seca**.

El instrumental tecnológico que permite ampliar las capacidades sensoriales y cognitivas (de cálculo) para poder operar a la escala nanométrica y abordar los problemas de cálculo y simulación bajo la complejidad de estos sistemas son las técnicas e instrumentos microscópicos y la nanotecnología computacional. Dentro de estas, hay que considerar las técnicas de caracterización mecánica y térmica.

### Los métodos o enfoque generales

Los rasgos más característicos de los métodos aplicables en la nanotecnología son (Sawhney et al, 2008; Antonovic et al, 2010, Sozer y Kokine, 2009):

- **Bottom-up.** Pertenece a la nanotecnología molecular. Se centra en la construcción de estructuras y objetos a partir de sus componentes atómicos y moleculares. Este tipo de metodología es acogida como el enfoque principal de la nanotecnología, ya que ha de permitir que la materia pueda controlarse de manera precisa. Se denominan *bottom-up* las tecnologías que ensamblan estructuras pequeñas para hacer estructuras mayores (supramoléculas, nanorobots). Una metodología de este tipo sería la suspensión coloidal utilizada para sintetizar nanopartículas.

- **Método top-down.** El enfoque metodológico *top-down* trata de diseñar y miniaturizar el tamaño de estructuras para obtener a nanoescala sistemas funcionales. Algunas de sus aplicaciones se presentan de forma clara en la producción de nanoelectrónica (miniaturización de sistemas electrónicos a nanoescala) o en el molido mecánico ultrafino.

- **Método híbrido bottom-up y top-down.** En muchas ocasiones las solu-

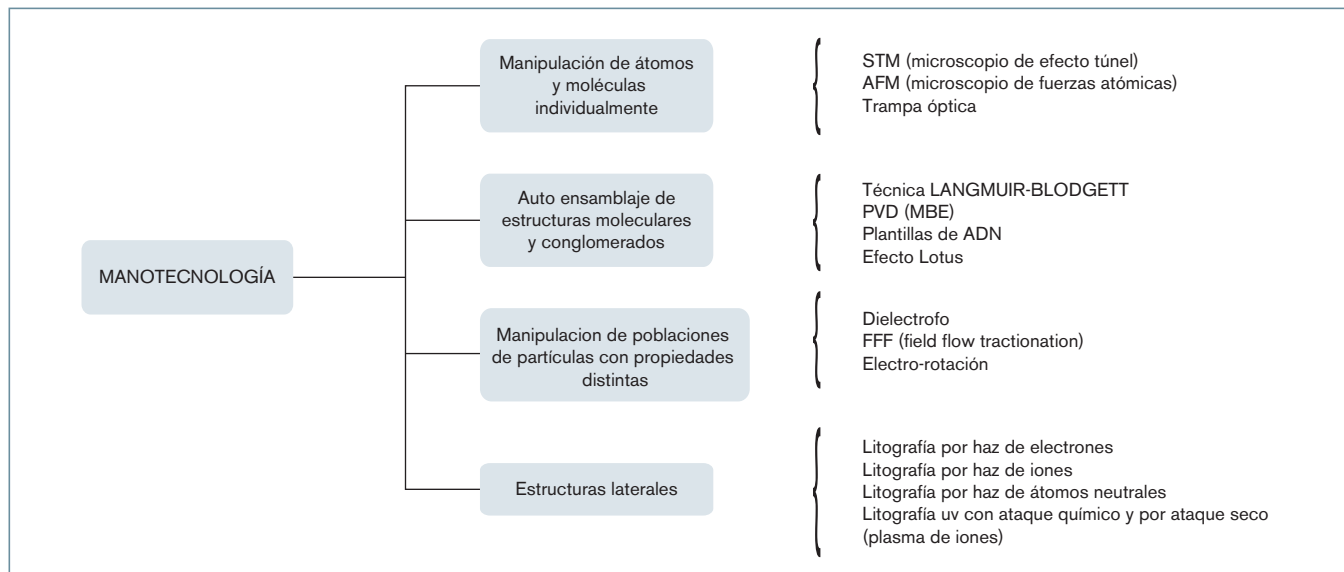


Figura 5. Otras técnicas complementarias de nanotecnología.

ciones se encuentra articulando ambos métodos con técnicas como la litografía.

Así, en el diseño y construcción de la arquitectura molecular y de su organización para constituir nuevos materiales, se pueden seguir ambos enfoques, de arriba abajo (*top-down*), partiendo de estructuras grandes sobre las que se opera usando dispositivos de molienda ultrafina, láseres, vaporización seguida de enfriamiento, etcétera. Para la formación de nanopartículas con estructuras complejas se prefiere utilizar el enfoque de abajo arriba (*bottom-up*) partiendo de moléculas que se ensamblan o autoensamblan para formar las estructuras deseadas.

– **Métodos de nanotecnología computacional.** En esta aproximación de la nanotecnología se trabaja en el modelado y la simulación de estructuras complejas a escala nanométrica. Se puede manipular átomos utilizando nanomanipuladores controlados por ordenador. Puede soportar métodos *bottom-up* y *top-down* o híbridos.

Además de estos métodos o aproximaciones globales de manipulación y procesado de las nanopartículas, se pueden incluir un sinnúmero de técnicas que permiten un uso más específico de los medios que proporciona la nanotecnología, como queda recogido en la figura 4.

### Técnicas específicas

Estas son específicas del ámbito de conocimiento, sector o dominio material de operación. Entre las mismas cabe mencionar:

– **Nanotecnología húmeda.** La nanotecnología húmeda va dirigida al desarrollo de sistemas biológicos para la manipulación de material genético,

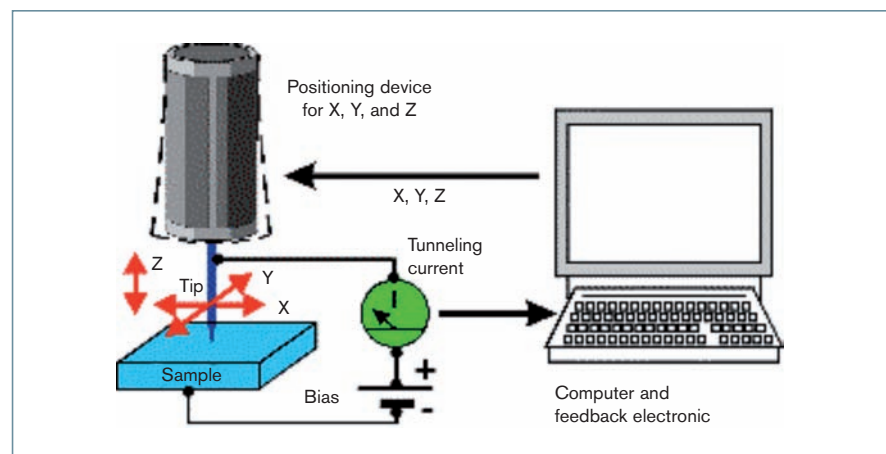


Figura 6. Esquema de un microscopio de barrido de túnes (STM).

membranas, enzimas y componentes celulares y a todo sistema que necesite un medio acuoso. También se basan en organismos vivos cuyas formas, funciones y evolución son gobernados por las interacciones de estructuras de escala nanométrica.

– **Nanotecnología seca.** Deriva de la ciencia de superficies y química-física. La nanotecnología seca se centra en la fabricación de estructuras de carbono (por ejemplo, fullerenes y nanotubos), silicio y otros materiales inorgánicos. Permite el uso de metales y semiconductores que poseen electrones que proporcionan las propiedades físicas que resultan interesantes para aparatos electrónicos, magnéticos y ópticos. La denominación de “nanotecnología seca” se emplea frecuentemente al referirse al diseño de dispositivos mecánicos, diminutos pero tradicionales, con pequeñas cantidades de átomos.

En la figura 5 se mencionan otras complementarias de nanotecnología.

### Técnicas de caracterización manoestructural

Entre las técnicas y herramientas para visualizar y manipular objetos (nanopartículas) (Fonseca y Cané, 2006; Moon et al, 2006; Lu y Liu, 2006; Ito y Fukusaki, 2004), sus relaciones y procesos a escalas nanométricas, cabe mencionar los STM y los AFM. Estos son llamados colectivamente como microscopios de sondas de barrido, los cuales pueden mover átomos, y son dispositivos no mayores que un ratón de ordenador que se conecta a un puerto USB.

Los microscopios de sondas de barrido son una familia de instrumentos usados para medir propiedades de superficies (figura 6).

El microscopio de barrido de túnel (STM) es una técnica microscópica que

permite la investigación de superficies conductoras de electricidad por debajo de la escala atómica.

El microscopio de fuerza atómica (AFM) es particularmente útil para ver muestras biológicas.

Estas últimas, junto a la microscopía electrónica TEN y HREM son conocidas como técnicas de caracterización estructural de nanomateriales.

### Técnica de caracterización micromecánica y nanomecánica

Entre las técnicas de caracterización micromecánica y nanomecánica (Ito y Fukusaki, 2004; Thomas et al, 2009; FMA, 2009; Pamies, 2008; Enríquez, 2006; Tomalia, 2009; Torres, 2002; Navarro y Cao, 2007), cabe considerar las técnicas tradicionales de caracterización micromecánica y nanomecánica, los modelos de determinación de propiedades y la microindentación y nanoindentación.

Los nanoindentadores (figura 7) son una potente herramienta de caracterización nanomecánica capaz de determinar propiedades mecánicas de una muestra en la escala nanométrica (principalmente dureza y módulo de Young).

### Aplicación de la microingeniería y nanoingeniería

Como ya se comentó anteriormente, las aplicaciones de estas tecnologías emergentes son muy amplias.

**Industria alimentaria:** es utilizada para aplicaciones en los alimentos; se puede aplicar mediante los dos métodos explicados anteriormente: *bottom-up* y *top-down*.

Figura 7. Equipo de nanoindentación.

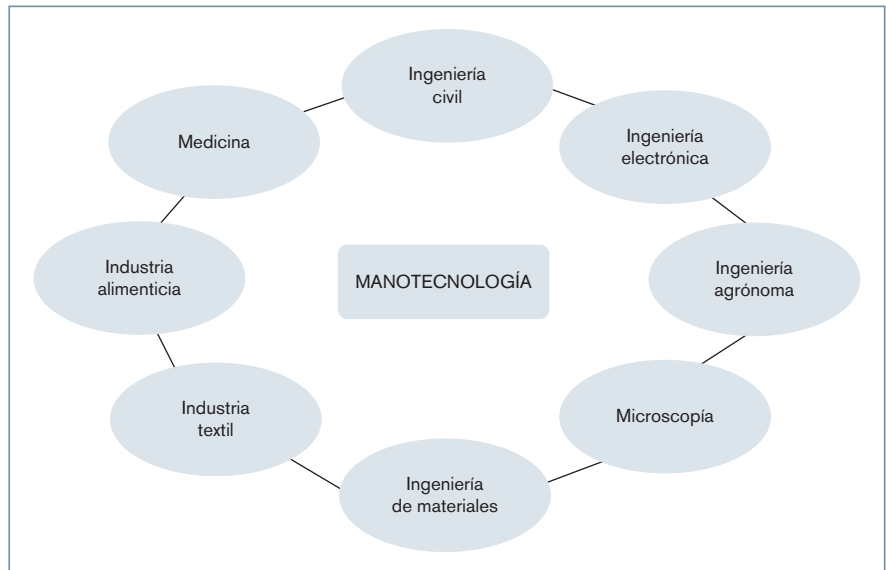


Figura 8. Aplicaciones de la nanotecnología.

El método *top-down* se aplica principalmente al procesado físico de materiales alimenticios, como la molienda. En contraste, el método *bottom-up* está basado en el autoensamblaje y la autoorganización. La organización de micelas de caseína o almidón y el pliegue de proteínas globulares y agregados proteínicos son ejemplos de estructuras autoensamblables que crean entidades estables. Estos métodos permiten que la industria alimentaria se beneficie de la nanotecnología en dos principales campos (Sozer y Kokini, 2009; Fonseca y Cané, 2006):

Dentro de las aplicaciones alimenticias cabe considerar:

- Protección contra la oxidación.
- Control en la liberación de nutrientes encapsulados (humedad o pH engatillado).
- Enmascaramiento del gusto.
- Envío de vitaminas y sabores nanoencapsulados.
- Detección de patógenos en sistemas alimenticios.
- Seguridad alimentaria y análisis de calidad.

Aplicaciones en los embalajes alimenticios:

- Embalajes mejorados (barreras de gases y de humedad).
- Nanoaditivos.
- Embalaje inteligente.
- Envío y liberación controlada de neutraceuticos.
- Embalaje autolimpiador y antibacterial.

Monitorizar las condiciones del producto durante el transporte.

**Industria textil:** las aplicaciones en las fibras textiles se dan esencialmente

durante su fabricación. Es conocido que las fibras de algodón proporcionan buenas propiedades: elevada absorción, transpiración, suavidad al uso y confort; sin embargo, para aplicaciones no clásicas, estas fibras están muy limitadas debido a su escasa resistencia, poca durabilidad, facilidad de ensuciarse e inflamabilidad. En consecuencia, se requiere la creación de nuevas fibras que satisfagan estas necesidades, como las nanofibras, las cuales se fabrican mediante un proceso de electrohilado. Las fibras utilizadas son fabricadas a partir de nanotubos de carbono que aportan resistencias muy elevadas (Sawhney et al, 2008).

Las principales aplicaciones de la nanotecnología en la industria textil son las siguientes:

- Textiles electrónicos.
  - Chaquetas, guantes, gorras, etcétera.
  - Camuflajes y tiendas de campaña.
  - Equipamiento militar y de combate.
  - Ropa deportiva.
  - Fabricados médicos e ingeniería del tejido.
  - Ropa de control térmico.
  - Ropa interior.
  - Ropa protectora.

**Ingeniería civil:** las aplicaciones en la ingeniería civil van referidas a las mejoras en la aplicación de materiales de construcción cementosos.

La nanotecnología se aplica para obtener propiedades que no es posible obtener de otra forma como: alta resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y ductilidad relativamente elevadas, una hidratación del cemento más eficiente, mejor unión entre fases, control de fractura y autocurado. De esta forma,

es posible obtener morteros y hormigones de alta calidad.

En el caso de materiales refractarios, tienen la misma propiedad que los anteriores añadiendo una alta resistencia al choque térmico, abrasión y corrosión química (Antonovic et al, 2010).

**Ingeniería agrónoma:** a pesar de que la madera tiene grandes cualidades estéticas, su atributo más importante son sus propiedades mecánicas. La nanotecnología es muy importante para una producción económica y sostenible de materiales forestales de nueva generación y para ayudar a la sociedad a alcanzar una economía basada en la biomasa.

La nanotecnología ofrece el potencial de transformar la industria de productos forestales en prácticamente todos sus aspectos, por ejemplo para producir madera y productos basados en madera de forma tecnológica, para nuevas aplicaciones de compuestos y productos de papel, para nuevas generaciones de lignocelulosas funcionales a nanoescala, desarrollo de productos inteligentes basados en madera y papel con un conjunto de nanosensores construidos para medir fuerzas, cargas, niveles de humedad, temperatura, presión, emisiones químicas y el ataque de hongos a la madera (Moon et al, 2006).

**Medicina:** las necesidades que han proliferado en el sector médico han llevado a la investigación médica hacia la búsqueda de nuevas respuestas, algunas de las cuales se han hallado en la nanotecnología, cuyas aplicaciones han ido aumentando conforme las tecnologías lo han permitido.

Las aplicaciones en medicina son inmensas, y destaca sobre todas ellas su aplicación a la cura del cáncer mediante la "ontología de nanopartículas"; así como pequeñas bombas hidráulicas que mejoren el flujo sanguíneo o que eliminen células dañadas, o incluso el uso del propio ADN como nanomaterial (Lu y Liu, 2006; Ito y Fukusaki, 2004; Thomas et al, 2009).

**Electrónica:** en el campo de la electrónica, la nanotecnología cobra aun más fuerza, teniendo implicaciones mucho más importantes, sobre todo en informática. En este ámbito es imprescindible subrayar el uso de nanomateriales en la generación y obtención de energía eléctrica a partir de la energía solar. Esto se consigue mediante el uso de células nanocristalinas y células orgánicas (FMA, 2006; Navarro y Cao, 2007; ISO/TC 229).

### Nanomáquinas

Como se dijo anteriormente, la nanotecnología es una ciencia en crecimiento, pues las nuevas investigaciones han llevado al ser humano a buscar nuevas respuestas para las necesidades y preguntas que se le plantean. Es esta búsqueda de respuestas la que lo ha llevado a encontrar soluciones antes impensables, pero que el crecimiento tecnológico ha hecho posible.

Hoy en día se plantea el uso de nanomáquinas capaces de realizar tareas que eran difíciles de imaginar. Estos *nanobots* se utilizarían como *cazadores* de células (figura 10) o de virus y bacterias (Pamies, 2008).

Las nanomáquinas también serán utilizadas a modo de motores de los espermatozoides (figura 11), en hombres con casos de astebizisemia.

También se utilizarán como bombas hidráulicas que mejoren el flujo sanguíneo de personas con problemas vasculares (figura 13).

### Nanoingeniería

Las micromáquinas y nanomáquinas no son el único logro de la nanotecnología. Las mejoras tecnológicas también han permitido que la manipulación molecular sea algo cotidiano que ha hecho posible la creación incluso de engranajes moleculares y nanomecanismos (Alegría, 2004; Ito y Fukusaki, 2004; Martín et al, 2001).

Realizaciones de este ámbito la constituyen los Sistemas microelectromecánicos MEMS, nanodispositivo y nanomáquinas, computadores moleculares y supramoleculares.

### Nanoquímica

La nanoquímica es una disciplina de gran interés para todas las nanotecnologías; ello se debe al hecho de que:

a) La química es una disciplina que estudia los átomos, sus agrupaciones, interacciones, procesos, estados energéticos y propiedades emergentes de los agregados de los mismos.

b) La química constituye la ciencia central que interacciona con otras ciencias como la biología, ciencia de los materiales, ciencia agrícola, medioambiental, etcétera.

Esta situación hace que la nanoquímica constituya una disciplina de gran interés para la nanotecnología. La nanoquímica permite junto con la nanofísica el conocimiento de las leyes nanoescalares, en las que las propiedades de la materia están regidas por una combinación compleja y rica de física clásica y de



Figura 9. Célula orgánica de captación solar.

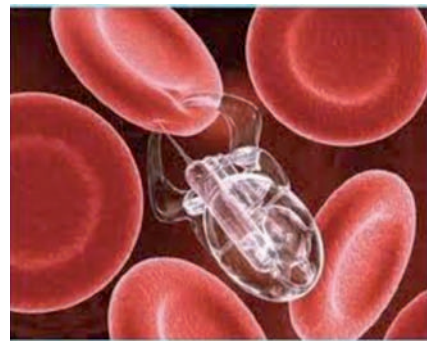


Figura 10. Nanomáquinas cazadoras.



Figura 11. Nanomáquinas impulsoras.



Figura 12. Nanomáquina bombeadora.

mecánica cuántica. Estos trabajos están posibilitando el descubrimiento de leyes de la mesoescala construyendo un marco teórico para los sistemas atómicos complejos y poco habituales, y caracterizando en ellos su nuevo comportamiento.

Cuando se descubran y comprendan las leyes científicas subyacentes a la nanotécnica, podrá llevarse a la práctica la visión anticipada de Richard Feynman: la

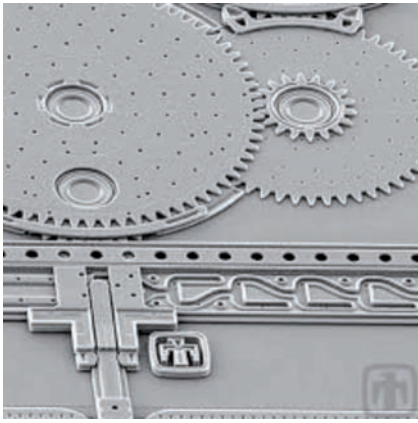


Figura 13. Nanoengranaje fabricado mediante técnica *top-down*.

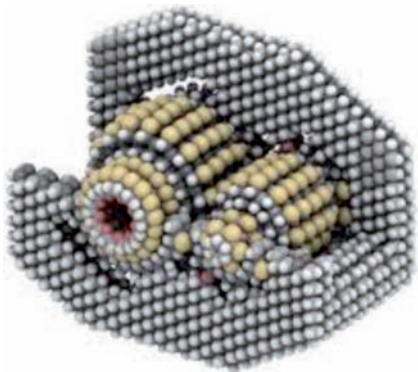


Figura 14. Nanoengranaje molecular fabricado mediante técnica *bottom-up*.

naturaleza ha dejado en el nanomundo sitio sobrado para crear dispositivos prácticos (Torres 2002).

Bajo el término de nanoquímica se engloban todas aquellas actividades de la nanociencia y la nanotecnología que poseen en común la utilización de las aproximaciones y las herramientas tradicionales de la química para crear, desarrollar y estudiar objetos que presenten propiedades útiles debido a sus dimensiones nanoscópicas.

Los estudios de la nanoquímica se centran principalmente en el método *bottom-up*, ya explicado anteriormente, y que tiene como objetivo organizar la materia a escala nanoscópica a partir de átomos o moléculas con el fin de conseguir con ellos nuevas propiedades y aplicaciones.

Los químicos han conseguido controlar el tamaño y la forma de los materiales a escala molecular. Por ello, la nanoquímica constituye una herramienta de gran valor para la elaboración de máquinas moleculares y artificiales (Tomalia, 2009). Pronto, los químicos proveerán de sistemas autoensamblados a los físicos del estado sólido y a los

ingenieros electrónicos que serán utilizados como “ladrillos” a escala molecular para la construcción de dispositivos electrónicos y optoelectrónicos miniaturizados.

El último medio siglo, ha quedado marcado por ser la época de los polímeros, semiconductores y la microelectrónica, la superposición de estas áreas se convertirá con el tiempo en uno de los soportes básicos de la tecnología más avanzada.

Dentro de la nanotecnología los polímeros desempeñan un papel muy importante, ya que son conocidos como materiales moleculares, lo que hace que su manipulación a partir del método *bottom-up* sea más sencilla. Estas unidades moleculares pueden ser sintetizadas aisladamente y organizadas en algún tipo de fase en la que presenta propiedades no convencionales.

Las aplicaciones de la nanoquímica son muy grandes y dado el carácter horizontal de la nanoquímica, se prevé que esta disciplina tendrá una influencia muy notable en los siguientes sectores socioeconómicos: energía, tecnologías de la comunicación e información, salud y cuidados personales, calidad de vida, seguridad y protección ciudadana y transporte.

Uno de los estudios más importante en nanoquímica fue el que condujo al descubrimiento y desarrollo de los polímeros conductores por Heeger, MacDiarmid y Shirikawa (ganadores del premio Nobel de Química en 2000).

Las aplicaciones de los polímeros conductores son muchas: células solares, transistores orgánicos, fotodiodos, pantallas de teléfonos móviles y televisores de pequeño formato y blindajes electromagnéticos, por citar algunas (Navarro y Cao, 2007; Martín et al, 2001; ISO/TC 229).

La nanoquímica ha permitido añadir nuevas funcionalidades a productos ya existentes y desarrollar con ellos nuevas aplicaciones totalmente inesperadas hace unos pocos años. Otro de los avances conseguidos ha sido la detección en tiempo real de moléculas de diversa índole, lo que ha tenido una gran repercusión en campos como el de la salud y el medio ambiente.

En general, puede afirmarse que el interés que despierta la nanoquímica incide principalmente en las grandes perspectivas que proporciona para incrementar la productividad de nuestra industria dándole un valor añadido superior a muchas de sus actividades y conseguir con ello un desarrollo más sostenible de nuestra sociedad. La nanoquímica será en el

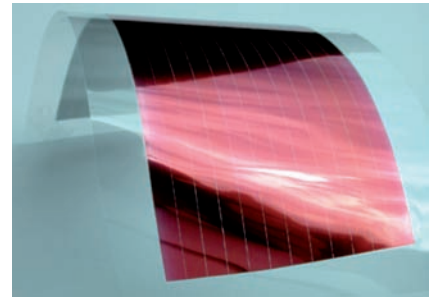


Figura 15. Célula solar orgánica.

futuro próximo una de las disciplinas clave para conseguir mayor competitividad de la industria europea y, por ello, es sumamente importante para el crecimiento económico de Europa. Por otra parte, esta nueva disciplina creará nuevas oportunidades de empleo aportando puestos de trabajo muy cualificados.

### La inteligencia ambiental

Inteligencia ambiental (Venturini, 2009) es una frase utilizada para describir un mundo en el cual lo inteligente se encuentra embebido prácticamente en todo lo que nos rodea y se postula como un entorno que pudiera estimular y favorecer el desarrollo cognitivo.

La inteligencia ambiental o *ambient intelligence* (AML) (Venturini, 2009) describe un entorno en el que las personas estarán envueltas y asistidas por inteligentes e intuitivas interfaces embebidas (incrustadas internamente) en objetos cotidianos con comunicación entre sí, que conformarán un medio ambiente electrónico que reconocerá y responderá a la presencia de individuos inmersos en él de una forma invisible y anticipatoria. Esto significa que ha de ser:

a) Embebido: dispositivos distribuidos por el entorno e integrados en el mismo. Esto determina su ubicuidad.

b) Personalizado: el sistema te reconoce y se diseña en función de las necesidades de los usuarios.

c) Adaptable: que puede cambiar según las características del ambiente en que se encuentra.

d) Predictivo: que se anticipa a los deseos e intereses del usuario.

Estos sistemas crean entornos inteligentes que se adaptan continuamente a las necesidades del individuo en la vida cotidiana. Además, aprenden y evolucionan para anticipar las necesidades del usuario.

Entre sus aplicaciones cabe mencionar: tecnología para cuartos de baño inteligentes, ropa inteligente, sensores textiles en cubrecamas, dispositivos asociados para



el seguimiento biomédico ambulatorio, tecnología para entornos inteligentes como la casa, oficina, colegios, etcétera.

El desarrollo de la inteligencia ambiental implica:

a) La miniaturización de los sensores y actuadores y demás elementos de tecnología y sistemas distribuidos. Esto plantea el problema general de analizar cuán pequeño se puede hacer un dispositivo EIS (Embeded Internet System) y qué funcionalidades requiere. La solución a estos problemas se encontrará en la MNT y MNI, con estructuras como los nanotubos.

b) El tiempo de respuesta de los sistemas y su capacidad de cómputo, la conectividad, donde los avances de la nanociencia y de la nanotecnología será de vital importancia.

c) Sensorización, computación e interacción deliberativa orientada al usuario. Esto significa por una parte evolución tanto del *microhardware* y *nanohardware* como del *software* embebido en el mismo.

La ingeniería de entornos inteligentes constituye un claro ejemplo de la integración de las nanotecnologías para la obtención de innovaciones tecnológicas.

### Riesgos de nanotecnología y nanoingeniería

La nanotecnología es un avance tan importante que su impacto podría llegar a ser comparable con la Revolución Industrial, pero con una diferencia destacable, que en el caso de la nanotecnología el enorme impacto se notará en cuestión de unos pocos años, con el peligro de que la humanidad se encuentre desprevenida ante los peligros que tal impacto conllevaría.

Los riesgos que ésta puede suponer son diversos:

- Riesgo por uso de la nanotecnología por parte de criminales o terroristas.
- Desequilibrio social por nuevos productos o formas de vida.
- Posible causa de una nueva carrera de armamentos entre dos países competidores.
- Daños medioambientales colectivos derivados de productos no regulados.
- La sobreexplotación de productos baratos podría causar importantes daños al medio ambiente.
- Un potencial mercado negro de la nanotecnología, el abandono o la ilegalización de la nanotecnología aumentarían la posibilidad y el peligro de otros riesgos.

Los productos nanotecnológicos tienen riesgos evidentes. Algunos más inmediatos, como su toxicidad intrínseca, y otros a un plazo más largo, la llamada

plaga gris en la que las células de los seres vivos no los detectan como materia extraña y no desarrollan anticuerpos contra ellos. Pero hay un riesgo peor, el de su uso para el control y la clasificación, ya sea directamente sobre los humanos o mediante nanosensores y nanochips.

Los riesgos de la nanoquímica quedan reflejados en la normativa ISO TC-229. En ella se recogen todos los aspectos relacionados con la nanotecnología, tales como:

- Terminología para las nanotecnologías.
- Protocolos de ensayos de toxicidad de nanopartículas.
- Protocolos normalizados para evaluar el impacto ambiental de las nanopartículas.
- Métodos de ensayo para dispositivos a nanoescala y materiales nanoestructurados.
- Técnicas e instrumentos de medición.
- Procedimientos de calibración y materiales de referencia certificados.
- Nuevas normas para sistemas y dispositivos multifuncionales.

Dentro de este conjunto de normas, se pueden encontrar las normas respectivas a los riesgos dentro de la salud humana y los riesgos ambientales, la ISO/TC 212 y la ISO/TC 194, respectivamente, (ISO/TC 229; AENOR, 2006).

### Bibliografía

- Aenor (2006). *Normalización sobre nanotecnologías*.
- Alegria JR (2004). *La convergencia nanocientífica y nanotecnológica en la investigación*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Universidad Politécnica de El Salvador.
- Antonovic V, Pundiene I, Stonys R, Cesniene J, Keriene J (2010). A review of the possible applications of nanotechnology in refractory concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*. October 2010, vol. 16, n° 4, p. 595-602.
- Cremades A (2007). *Aspectos básicos y aplicaciones de una ciencia emergente*. Sustain Labour.
- Enriquez E (2006). *Nanochemistry. Roundtable Discussion on Nanotechnology*.
- FMA (2006). *Nuevas soluciones fotovoltaicas basadas en la nanotecnología. Innovación en Energías Renovables*. Fundación Metal Asturias.
- Fonseca, L.; Cané, C. (2006) *Nanotecnología y Agroalimentación: ¿Cómo agua y aceite?*. Semana de la ciencia.
- Ito Y, Fukusaki E (2004). DNA as a "Nanomaterial". *Journal of molecular catalysis*. April 2004, vol. 28, p. 155-166.
- Lu Y, Liu J (2006). Functional DNA nanotechnology: emerging applications of DNAszymes and aptamers. *Current opinion in Biotechnology*. October 2006, vol. 17, p. 580-588.
- Martín N, Segura JL, Gómez R (2001). Células solares de plástico: Un reto para los nuevos materiales orgánicos del siglo XXI. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*.
- Moon RJ, Frihart CR, Wegner T (2006). Nanotechnology Applications in the Forest Products industry. *Forest Products Journal*. May 2006, vol. 56, n° 5, p. 4-10.

- Navarro AE, Cao R (2007). *Nanoquímica y arquitectura molecular: Sus aplicaciones*.
- Pamies R (2008). *Nanotecnología y patentes. La nueva frontera tecnológica*. IKERGAIA Patente Gunea. Septiembre 2008.
- Sawhney APS, Condon B, Singh KV, et al (2008). Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal*. 2008, vol. 78, n° 8, p. 731-739.
- Sozer N, Kokini JL (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*. January 2009, vol. 27, n° 2, p. 82-89.
- Thomas DG, Pappu RV, Baker NA (2009). *Ontologies for cancer nanotechnology research*. 31<sup>st</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS. September 2009, p. 4158-4161.
- Tomalia D (2009). In quest of a systematic framework for unifying and defining nanoscience. *Journal of nanoparticles research*. May 2009, vol. 11, p. 1251-1310.
- Torres T (2002). *Nanoquímica y nanotecnología: Nuevos materiales, polímeros y máquinas moleculares*. Encuentros multidisciplinares. Septiembre 2002, n° 12.
- Venturini VM (2009). *Inteligencia Ambiental y Nanotecnología: El paso del Bit al átomo*. URL: <http://www.ucasal.net/templates/unidacademicas/ingenieria/apps/4-p62-Venturini.pdf> 2009
- Zehe A (2004). Nanociencia y nanotecnología. La nueva revolución científico-tecnológica. *Internet Electronic Journal of Nanociencia et Moletrónica*. Octubre, vol. 2; n° 2.

---

### Francisco Aguayo González

faguayo@us.es

Profesor titular de Universidad de la US, Escuela Politécnica Superior de Sevilla

### Elías Zarzuela Roldán

Ingeniero técnico en Diseño Industrial por la EPS de Sevilla.

### Juan Ramón Lama Ruiz

Profesor titular de Escuela Universitaria de la US, Escuela Politécnica Superior de Sevilla.

### Antonio Córdoba Roldán

ingeniero técnico en Diseño Industrial por la EPS de Sevilla.

---