

NANOTECNOLOGÍA Y NANOQUÍMICA

La creciente mejora de los productos en los últimos tiempos es consecuencia de la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas que permiten el desarrollo de innovaciones complementarias a las obtenidas por el diseño.

La nanotecnología constituye un ámbito de conocimiento que permite desarrollar nuevos productos derivados del conocimiento de las propiedades y los procesos a escala nanométrica. En el presente trabajo se expone una visión de esta tecnología desde la perspectiva de su aplicación al ámbito de conocimiento del sector químico y medioambiental, que constituye la disciplina de la nanoquímica.

▣ Francisco Aguayo González. EPS de Sevilla

▣ Elías Zarzuela Roldán. EPS de Sevilla

▣ Juan Ramón Lama Ruiz. EPS de Sevilla



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 de 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, dichas tecnologías han evolucionado desde el mundo macroscópico y visible a simple vista, hacia un mundo microscópico con infinidad de posibilidades.

En el contexto de trabajo de la microingeniería surgen términos como “microtecnología” o “nanotecnología”, que son utilizados para definir la manipulación controlada y producción de objetos materiales, instrumentos, estructuras y sistemas bajo las leyes que intervienen a pequeñas escalas.

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 son el sanitario, textil, mecánico alimentario, agronómico, electrónico, químico, farmacéutico, construcción, etc.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA NANOTECNOLOGÍA

Como en otros muchos aspectos de la ciencia y la técnica, es posible identificar precursores de la nanotecnología (nanotécnica) a través de la historia. Sirva 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 uno rojo rubí con luz transmitida. Esto se debe

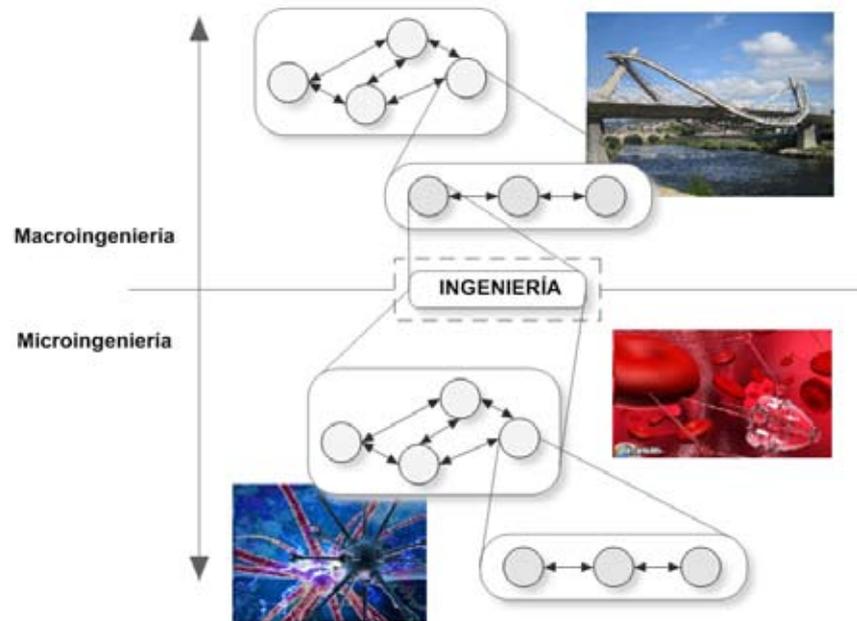


Figura 1: Visión global de la ingeniería



Figura 2: Antiguas aplicaciones de la nanotecnología.

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

b) *La 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 AgO y Cu_2O , dentro de una capa de gro-

sor 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) *La coloración por cementación en las vidrieras medievales.* Estas coloraciones son un ejemplo de la aplicación de la coloración por cementación en vidrio, tiene lugar 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 la obtención de diversas tonalidades de color en el mismo espesor.

NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología es un cuerpo de conocimiento aplicado que tiene como base el conocimiento básico derivado de la nanociencia.

La nanociencia tiene por objeto el estudio de las propiedades de los objetos y fenómenos a escala nanométrica, marco en el que surgen nuevas relaciones y propiedades entre las nanopartículas (átomos y moléculas). La nanociencia como disciplina de conocimiento básico, ha permitido 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 [1,2] con una finalidad práctica.

La nanotecnología centra su actividad en el diseño, fabricación y aplicación de nanomateriales, nanoestructuras y nanosistemas. Su objetivo es diseñar y construir nuevas herramientas para la caracterización de las nanoestructuras y los nanomateriales. Esta nueva tecnología tiene diferencias importantes con la microtecnología, fundamentalmente derivadas de la diferencia de escala. La nanotecnología opera a nivel atómico y

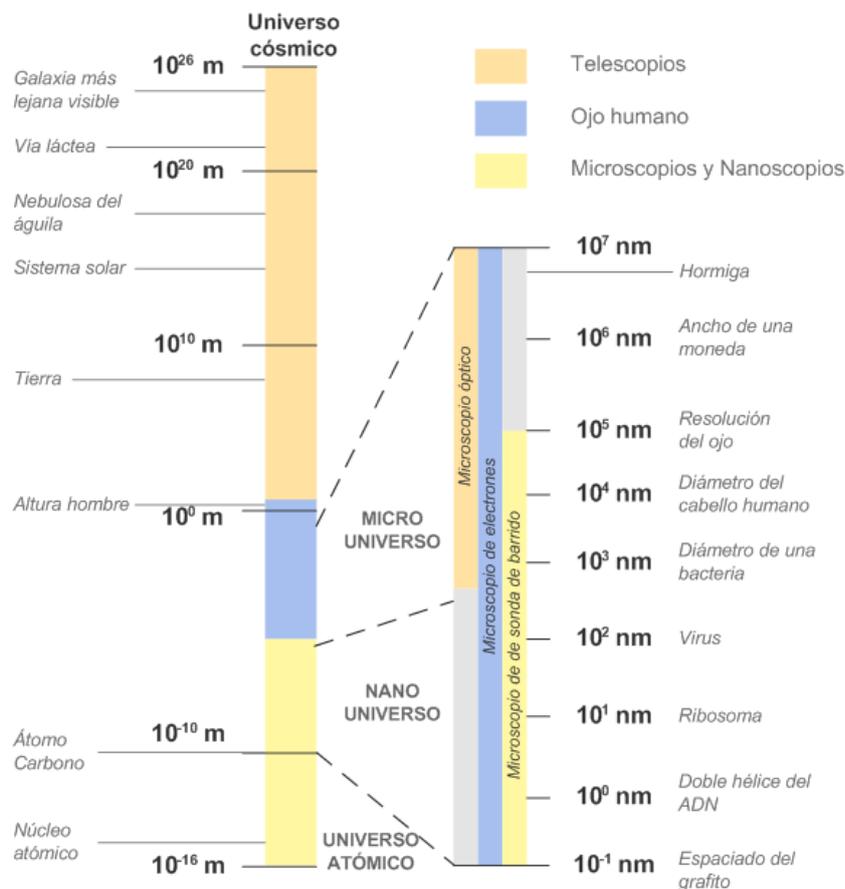


Figura 3: Escala nanométrica

molecular, pero en principio nada impide que el nivel de operación descienda hasta las partículas subatómicas, los "ladrillos del universo" [3].

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

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 materiales, que surgen debido a la nanoescala. Estas propiedades, son diferentes a 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. El vidrio es tan resistente como el pegamento y los metales se convierten en colorantes y poseen propiedades magnéticas que se pueden activar o desactivar a voluntad.

Como en todas las tecnologías, en la nanotecnología es posible 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



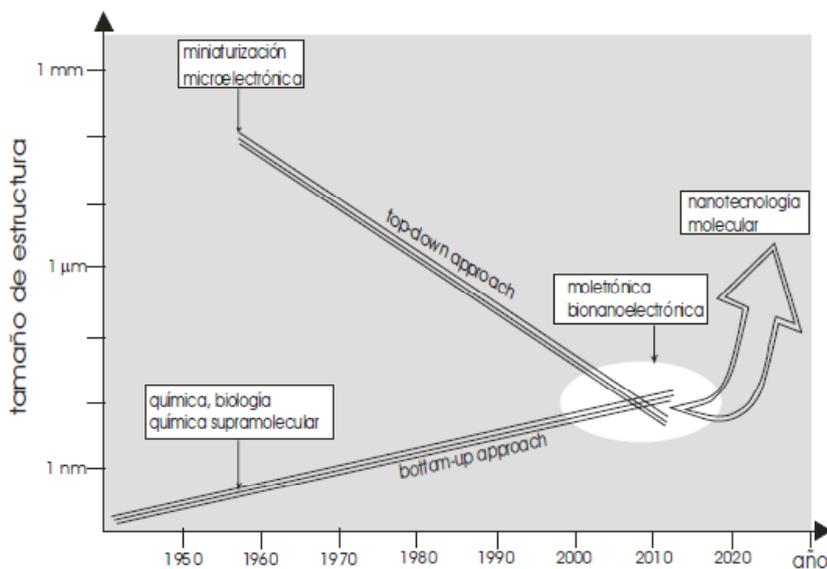


Figura 4: Métodos nanotecnológicos

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 5 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 en el que se trabaja, tales como: **nanotecnología húmeda y nanotecnología seca**.
- d) 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.

LOS MÉTODOS O ENFOQUE GENERALES

Los rasgos más característicos de los métodos aplicables en la nanotecnología son:

- **Método 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’ a las tecnologías que ensamblan estructuras pequeñas para hacer estructuras mayores (supra-moléculas, 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 soluciones se encuentran 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 ultra fina, láseres, vaporización seguida de enfriamiento, etc. Para la formación de nanopartículas con estructuras complejas se prefiere utilizar el enfoque de abajo a arriba (**bottom-up**) partiendo de moléculas que se ensamblan o auto ensamblan 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 nano-manipuladores 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 sin fin de técnicas que permiten un uso más específico de los medios que proporciona la nanotecnología, como queda recogido en la figura 4 y que pasamos a exponer sintéticamente.

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 de-



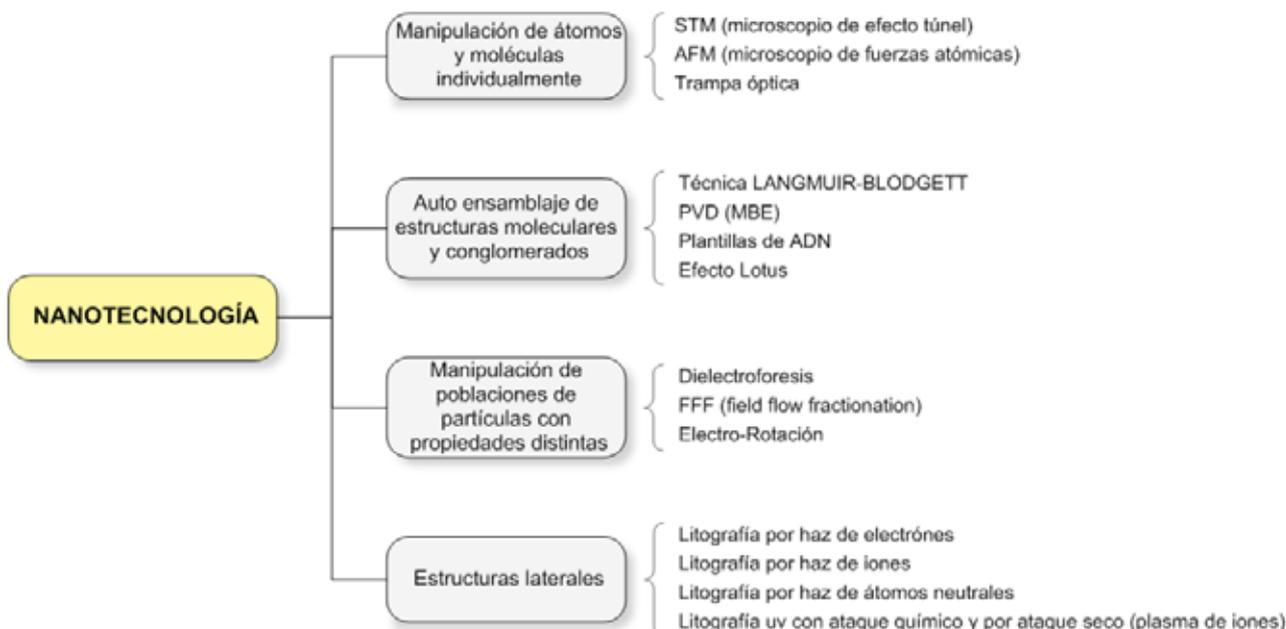


Figura 5: Otras técnicas de nanotecnología

La nanotecnología seca se centra en la fabricación de estructuras de carbono (por ejemplo fullerenes y nanotubos), silicio y otros materiales inorgánicos

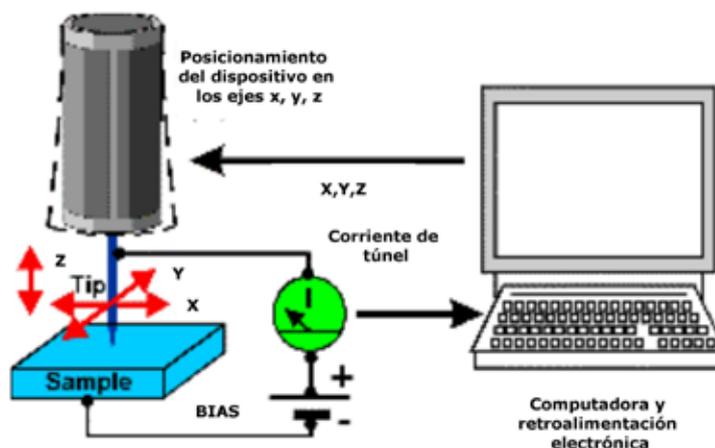


Figura 6: Esquema de un Microscopio de Barrido de Túnel (STM)

sarrollo de sistemas biológicos para la manipulación de material genético; 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-físi-

ca. 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 sistemas 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.

HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS ASOCIADAS A LA NANOTECNOLOGÍA

Entre las técnicas y herramientas para visualizar y manipular objetos (nanopartículas), sus relaciones y procesos a escalas nanométricas, cabe mencionar:

- **Los STM y los AFM.** Éstos 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.
- **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.

APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

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

Industria alimenticia: Es utilizada para aplicaciones en los alimentos, se puede aplicar mediante los dos métodos explicados anteriormente: bottom-up y top-down con multitud de técnicas.

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 auto ensamblaje y la auto organización. La organización de micelas de caseína o almidón y el pliegue

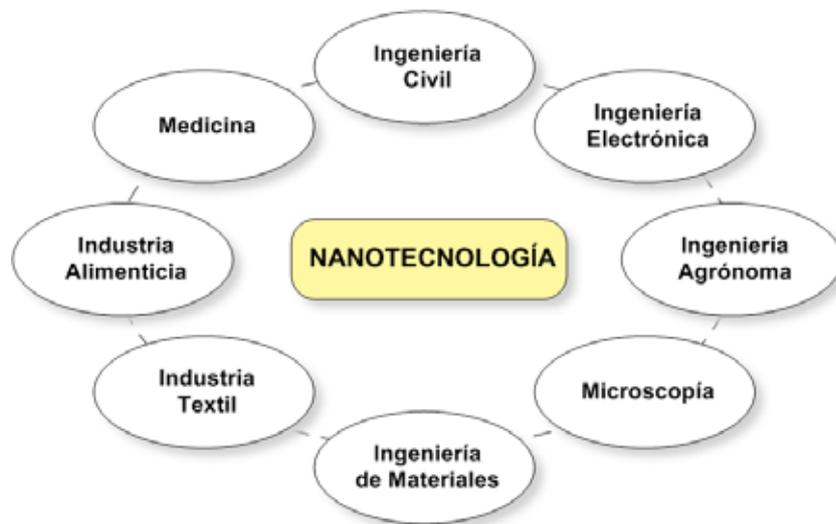


Figura 7: Aplicaciones de la nanotecnología

de proteínas globulares y agregados proteínicos son ejemplos de estructuras auto ensamblables que crean entidades estables. Estos métodos permiten que la industria alimenticia se beneficie de la nanotecnología en dos principales campos [6,7] como son:

a) Aplicaciones alimenticias:

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

b) Aplicaciones en los envases alimenticios:

- Envases mejorados (barreras de gases y de humedad).
- Nano aditivos.
- Envase inteligente.
- Envío y liberación controlada de neutraceuticos.
- Envases 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: alta 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 a ensuciarse e inflamabilidad. Debido a esto, se requiere la creación de nuevas fibras, que satisfagan estas necesidades, como las nanofibras, las cuales se fabrican mediante un proceso de electro-hilado. Las fibras utilizadas son obtenidas a partir de nanotubos de carbono, que aportan muy altas resistencias [4].

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

- Textiles electrónicos.
- Chaquetas, guantes, gorras, etc.
- 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 altas, una hidratación del cemento más eficiente, mejor unión entre fases, control de fractura y auto curado.

En el caso de materiales refractarios, tienen la misma propiedad que los anteriores añadiendo una alta resistencia al choque térmico, abrasión y corrosión química [5].

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 apli-



Figura 8: Célula orgánica de captación solar

caciones 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 [8] consecuencia de la integración sinérgica de las nanotecnologías.

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, destacando sobre todas ellas su aplicación a la cura del cáncer mediante la "ontología de nano-partículas"; así como pequeñas bombas hidráulicas que mejoren el flujo sanguíneo o que eliminen células dañadas, o incluso el uso del propio ADN como un nanomaterial [9-11].

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, (Figura 8) esto se consigue mediante el uso de células nanocristalinas y células orgánicas [12, 18, 20].

NANOMÁQUINAS

Como se dijo anteriormente, la nanotecnología es una ciencia en crecimiento, 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.



Figura 9: Nanomáquinas "cazadoras"

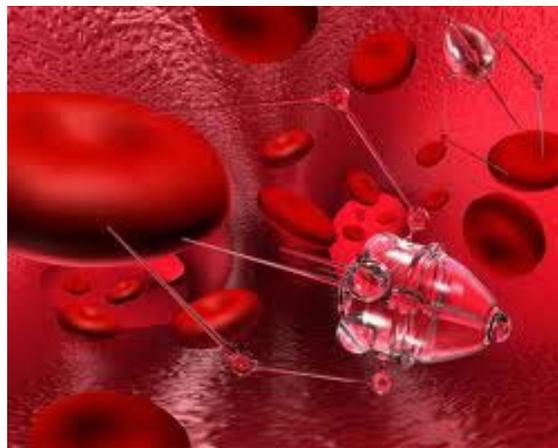


Figura 10: Nanomáquinas "cazadoras"



Figura 11: Nanomáquinas impulsoras

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 peligrosas o de virus y bacterias [13].



Figura 12: Nanomáquina bombeadora

Las nanomáquinas, también serán utilizadas a modo de motores de los espermatozoides, en hombres con casos de astemizolismo.

También se utilizarán a modo de bombas hidráulicas que mejoren el flujo sanguíneo de personas con problemas vasculares.

NANOINGENIERÍA

Las 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 [1, 10, 19], que por agregación constituyen nanosistemas.

NANOQUÍMICA

La Nanoquímica es una disciplina de gran interés para todas las nanotecnologías, ello se debe al hecho de:

- a) Qué la química es una disciplina que estudia los átomos, sus agrupaciones, interacciones, procesos, estados energéticos, y propiedades emergentes de los agregados obtenidos a partir 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, etc.

Esta situación hace que la Nanoquímica constituya una disciplina de gran interés

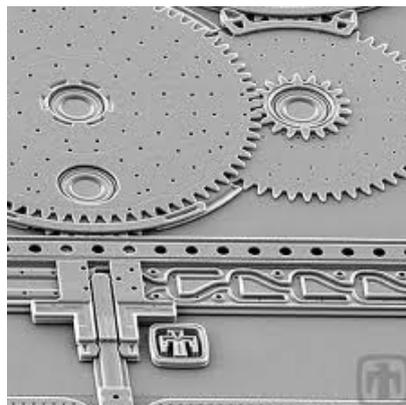


Figura 13: Nanoengranaje fabricado mediante técnica top-down

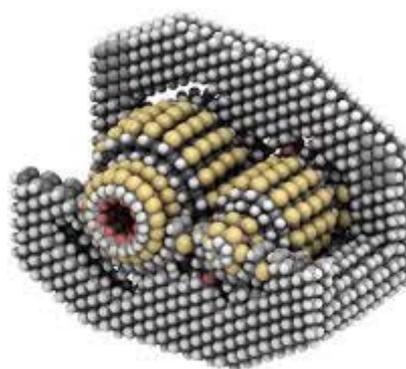


Figura 14: Nanoengranaje molecular fabricado mediante técnica bottom-up

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

para la nanotecnología. La Nanoquímica permite junto con la Nanofísica el conocimiento de las Leyes nanoescalares donde las propiedades de la materia están regidas por una combinación compleja y rica de física clásica y de 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 creador de esta nueva disciplina: “la naturaleza ha dejado en el nanomundo sitio sobrado para crear dispositivos prácticos”.

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 [16]. 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.

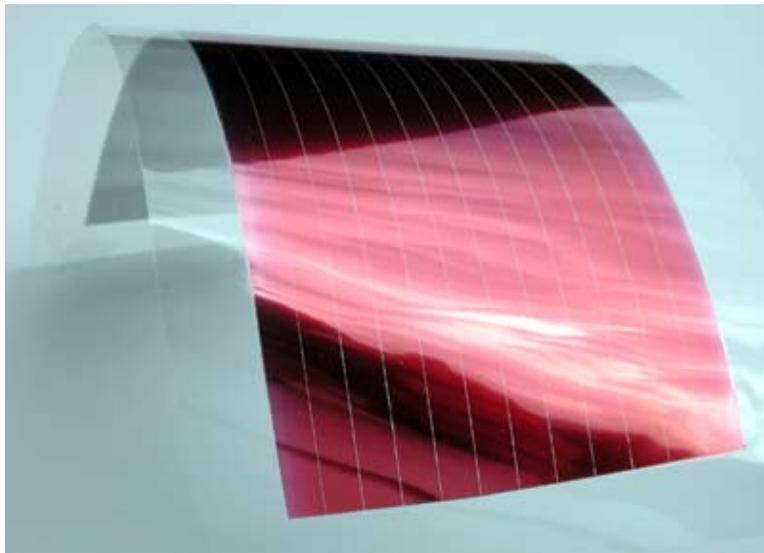


Figura 15: Célula solar orgánica

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 juegan un papel muy importante, ya que estos son conocidos como materiales moleculares, lo que hace que su manipulación a partir de el método bottom-up sea más sencilla. Éstas 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 amplias y dado el carácter horizontal de la Nanoquímica, se prevé que esta disciplina tendrá una influencia muy notable en los siguientes sectores socio-económicos: a) Energía, b) Tecnologías de la Comunicación e Información, c) Salud y Cuidados Personales, d) Calidad de Vida, e) Seguridad y Protección Ciudadana y f) 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).

La Nanoquímica ha permitido añadir nuevas funcionalidades a productos ya existentes y desarrollar con ellos nuevas aplicaciones totalmente inesperadas hace unos pocos años

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 [18-20].

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 futuro próximo una de las disciplinas claves para conseguir una 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 altamente cualificados.

RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA Y NANOQUÍMICA

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 riesgo de que la humanidad se encuentre desprevenida ante los peligros que tal impacto conllevaría.

Los riesgos que esta actividad puede suponer en su incorporación a la industria y sociedad son diversos entre los que cabe considerar:

- 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.



REFERENCIAS

- 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 donde las células de los seres vivos no los detectan como materia extraña y no desarrollan anticuerpos contra ellos. Pero hay un riesgo peor, el riesgo 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 norma 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 [14,15]. 

1. ALEGRÍA, José R. La convergencia nanocientífica y nanotecnológica en la investigación. Consejo nacional de Ciencia y Tecnología. Universidad Politécnica de El Salvador. Abril 2004.
2. CREMADES, Ana. Aspectos básicos y aplicaciones de una ciencia emergente. Sustain Labour.
3. ZEHE, Alfred. Nanociencia y nanotecnología. La nueva revolución científico-tecnológica. *Internet Electronic Journal of Nanociencia et Moletrónica*. Octubre 2004, vol. 2; nº 2.
4. SAWHNEY, A. P. S; CONDON, B.; SINGH, K. V.; PANG, S.S.; LI, G.; and HUI, D. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal*. 2008, vol. 78, nº 8, p. 731-739.
5. ANTONOVIC, Valentine; PUNDIENE, Ina; STONYS, Rimvydas; CESNIENE, Jurate; KERIENE, Jadvyga. A review of the possible applications of nanotechnology in refractory concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*. October 2010, vol. 16, nº 4, p. 595-602.
6. SOZER, Nesli; KOKINI, Jozef L. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*. January 2009, vol. 27, nº 2, p. 82-89
7. FONSECA, Luis, CANÉ, Carles. Nanotecnología y Agroalimentación: ¿Cómo agua y aceite?. *Semana de la ciencia*. Noviembre 2006.
8. MOON, Robert J.; FRIHART, Charles R.; WEGNER, Theodore. Nanotechnology Applications in the Forest Products industry. *Forest Products Journal*. May 2006, vol. 56, nº 5, p. 4-10.
9. LU, Yi, LIU, Juewen. Functional DNA nanotechnology: emerging applications of DNAszymes and aptamers. *Current opinion in Biotechnology*. October 2006, vol. 17, p. 580-588.
10. ITO, Yoshihiro, FUKUSAKI, Eiichiro. DNA as a "Nanomaterial". *Journal of molecular catalysis*. April 2004, vol. 28, p. 155-166.
11. THOMAS, Dennis G.; PAPPU, Rohit. V.; BAKER, Nathan. A. Ontologies for cancer nanotechnology research. *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*. September 2009, p. 4158-4161.
12. Nuevas soluciones fotovoltaicas basadas en la nanotecnología. *Innovación en Energías Renovables*. Fundación Metal Asturias. Junio 2006.
13. PAMIES, Ramón. Nanotecnología y patentes. La nueva frontera tecnológica. *IKERGAIA Patente Gunea*. Septiembre 2008.
14. Norma ISO/TC 229
15. Normalización sobre nanotecnologías. AENOR. 2006.
16. ENRÍQUEZ, Erwin: Nanochemistry. *Roundtable Discussion on Nanotechnology*. October 2006.
17. TOMALIA, Donald: In quest of a systematic framework for unifying and defining nanoscience. *Journal of nanoparticles research*. May 2009, vol. 11, p. 1251-1310.
18. TORRES, Tomás: Nanoquímica y nanotecnología: Nuevos materiales, polímeros y máquinas moleculares. *Encuentros multidisciplinares*. Septiembre 2002, nº 12.
19. NAVARRO, Amado E.; CAO, Roberto: Nanoquímica y arquitectura molecular: Sus aplicaciones. 2007.
20. MARTÍN, Nazario; SEGURA, José L.; GÓMEZ, Rafael: Células solares de plástico: Un reto para los nuevos materiales orgánicos del siglo XXI. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. Enero 2001.

