



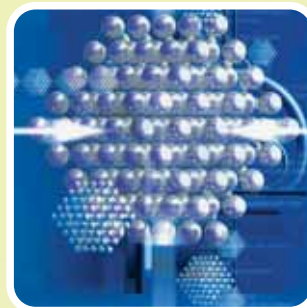
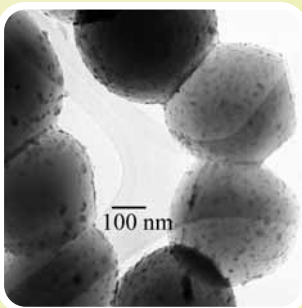
Encourager l'utilisation de la technologie,  
l'innovation et la société de l'information  
pour la compétitivité



# Aplicaciones industriales de la nanotecnología



Proyecto NANO-SME







Encourager l'utilisation de la technologie,  
l'innovation et la société de l'information  
pour la compétitivité

# Aplicaciones industriales de la nanotecnología

---

Proyecto NANO-SME

Fundación **itma**  
Instituto Tecnológico de Materiales



Universidad  
de Oviedo





Edita

Gestión Editorial

Depósito Legal

Fundación ITMA

Tresalia Comunicación

As-0000/07

# ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>EJEMPLOS DE APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA NANOTECNOLOGIA</b>	<b>11</b>
<b>01. Tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC's)</b>	<b>13</b>
Memorias MRAM	14
Láser de punto cuántico	15
Nanoelectrónica basada en nanotubos de carbono (I+D)	16
Circuitos ópticos integrados. Aplicación a moduladores y conmutadores ópticos (I+D)	17
Superlentes (I+D)	18
Cristales fotónicos (I+D)	19
Monitores LCD basados en nanotubos de carbono (I+D)	20
<b>02. Industria de automoción</b>	<b>21</b>
Recubrimientos transparentes anticondensación basados en nanotubos de carbono	22
Nanocompuestos	23
<b>03. Industria de biotecnología</b>	<b>25</b>
Detección de bacterias mediante nanopartículas bioconjugadas	26
Fotosistemas para conversión de energía solar	27
Membranas nanoporosas de alúmina (I+D)	28
<b>04. Industria médica y farmacéutica</b>	<b>29</b>
Nanodiagnóstico mediante <i>quantum dots</i>	30
Detectores de CO <sub>2</sub> y sistemas de monitorización de función respiratoria	31
Terapia mediante nanopartículas	32
Liberación controlada de fármacos	33
Medicina regenerativa. Sustitutos óseos	34
Implantes de rodilla y cadera	35
Modificación de sueros en medicamentos	36
Polímeros electroactivos para su uso como músculos artificiales (I+D)	37
Sensores de ADN (I+D)	38
Sensores de antígenos (I+D)	39
<b>05. Industria aeroespacial</b>	<b>41</b>
Plásticos conductores eléctricos	42
Recubrimientos para componentes sometidos a altas temperaturas de operación	43
Materiales cerámicos cristalinos transparentes	44
<b>06. Industria textil</b>	<b>45</b>
Tejidos con superficie nanoestructurada repelentes a la suciedad y al agua	46
Productos textiles antimicrobianos	47
<b>07. Industria cosmética</b>	<b>49</b>
Cremas solares	50
Lentes de contacto de colores	51



<b>08. Industria del ocio</b>	<b>53</b>
Nanotecnología en productos deportivos	54
<b>09. Industria de la construcción</b>	<b>57</b>
Modificación de pinturas y barnices con nanopartículas	58
Aditivos para la optimización del rendimiento cemento-hormigón	59
Nanocompuestos poliméricos de arcilla para el reciclaje de PET	60
Pegamentos rápidos y activados a distancia basados en nanopartículas de ferrita	61
Vidrios orgánicos como alternativa al vidrio común (I+D)	62
<b>10. Industria de la energía</b>	<b>63</b>
Baterías de ión-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio	64
Pilas de combustible	65
Células solares flexibles	66
Recubrimiento antirreflejante ideal (I+D)	67
<b>11. Industria metal-mecánica y de bienes de equipo</b>	<b>69</b>
Tratamientos superficiales de piezas metálicas sometidas a desgaste	70
Materiales antifricción	71
Materiales con alta dureza para herramientas de corte	72
Nanofiltración	73
<b>ANEXO</b>	<b>75</b>
<b>ACTIVIDADES EN EL CAMPO DE NANOMATERIALES Y NANOTECNOLOGÍA EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS</b>	
<b>Introducción</b>	<b>76</b>
<b>Las actividades actuales de los autores en nanomateriales y nanotecnologías en el Principado de Asturias</b>	<b>79</b>
Fundación ITMA	80
Instituto Nacional del Carbón del Consejo Superior de Investigaciones Científicas	81
Universidad de Oviedo	82

# PRESENTACIÓN

El Principado de Asturias a través del IDEPA lidera el proyecto europeo ESTIIC “Fomento del uso de la tecnología, la innovación y la sociedad de la información en favor de la competitividad” en el que participan otras tres regiones europeas: Cantabria, Renania del Norte- Westfalia y la región Sureste de Irlanda.

ESTIIC persigue mejorar la eficacia de las políticas e instrumentos destinados al desarrollo regional en el marco de la innovación tecnológica y la sociedad de la información, pilares de la competitividad regional y del crecimiento de las pequeñas y medianas empresas. Con un presupuesto total de 4,4 millones de euros y una duración de tres años (2005-2008), se encuadra en la modalidad “operación de marco regional (RFO)” dentro de la iniciativa Interreg IIIC.

En su condición de proyecto marco, ESTIIC ha creado un espacio general de cooperación entre las cuatro regiones participantes, en el que se desarrollan 8 subproyectos transnacionales en torno a áreas temáticas identificadas como prioritarias.

El subproyecto Difusión e información sobre la aplicación industrial de las nanotecnologías para I+D+I de productos y procesos en las Pymes (NANO-SME) tiene como objetivo principal acercar a las empresas a las oportunidades que les ofrece la nanotecnología, contribuyendo así a intensificar la transferencia entre el ámbito empresarial y los institutos de investigación. Esto permitirá fomentar la inversión en la aplicación de la nanotecnología en los ámbitos de la investigación y el desarrollo.

La nanotecnología permite encontrar soluciones novedosas y podrían traducirse en una mejora del rendimiento de todo el sector de la producción, así como de los sectores de la salud, la medicina y la agricultura. A modo de ejemplo, cabe citarse nuevas cremas solares, superficies autolimpiantes y bactericidas, sistemas de almacenamiento de datos, nanopartículas para dosificación de fármacos, nuevos materiales reforzados con nanotubos, biosensores, baterías, tejidos y nanorecubrimientos “inteligentes”, etc.

Si bien puede decirse que la nanotecnología, considerada como fuente de nuevos productos con alto valor añadido, se encuentra actualmente en una etapa inicial, se trata pues de un ámbito que está adquiriendo gran protagonismo y que tiene una gran proyección en la economía mundial. Las perspectivas recogidas en estudios de mercado del presente año revelan que el volumen de negocio actual (100.000 millones de euros) se multiplicará por diez entre los años 2012 y 2017. Así pues, ni Asturias ni ninguno de sus sectores industriales son ajenos a este espectacular desarrollo y, en mayor o menor medida, la innovación de todas las empresas pasa por la vigilancia tecnológica del mundo “nano”.

El presente documento pretende dar una visión global de la nanotecnología desde el punto de vista de la aplicación industrial, tanto en su estado actual como a corto, medio y largo plazo. Asimismo, persigue conseguir un acercamiento de las universidades y centros tecnológicos con empresas interesadas en la mejora de sus productos a través de esta nueva disciplina.

*Víctor G. Marroquín*

Director General del IDEPA



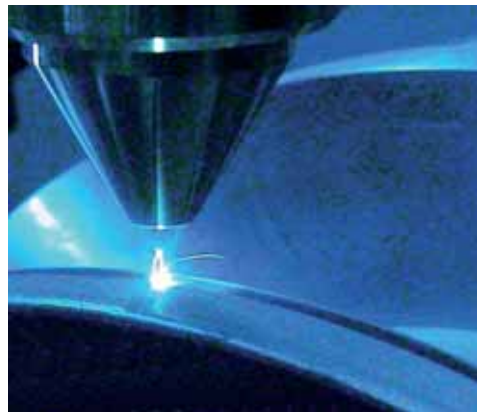


# INTRODUCCIÓN

La nanotecnología no es una tecnología específica; ni siquiera un grupo de tecnologías bien definidas. La nanotecnología es más bien un campo muy amplio y heterogéneo de la tecnología en el que se diseñan, caracterizan, producen y aplican estructuras, componentes y sistemas manteniendo un control sobre el tamaño y la forma de sus elementos constituyentes (átomos, moléculas ó macromoléculas) a nivel de la escala de los nanómetros, de tal manera que dichas estructuras, componentes o sistemas poseen al menos una propiedad característica nueva o mejorada debido al pequeño tamaño de sus constituyentes.

La nanotecnología utiliza un amplio rango de disciplinas científico-técnicas con el fin de estudiar materiales, partículas y estructuras que implican la creación o presencia de elementos que tienen al menos una dimensión espacial inferior a los 100nm, siendo un nanómetro la millonésima parte de un milímetro. Los materiales constituidos por estructuras tan pequeñas, a menudo presentan propiedades distintas a los materiales tradicionales independientemente de que estén compuestos por los mismos constituyentes químicos. Por ejemplo, pueden presentar nuevas propiedades mecánicas, ópticas, químicas, magnéticas o electrónicas.

Aunque la nanotecnología se encuentra aún en su infancia, ya se considera que constituirá una auténtica revolución industrial en el siglo XXI, de forma similar a lo sucedido con la biotecnología y la electrónica en el siglo XX. Así, la comunicación de la Comisión Europea “**Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías**” del 12 de mayo de 2004 propone varias acciones como parte de un enfoque integrado para el mantenimiento y fortalecimiento de la posición de la I+D europea en el ámbito de las nanociencias y las nanotecnologías.



De esta manera, la **nanoelectrónica** dará lugar a sistemas de almacenamiento de datos de muy alta densidad de registro (por ejemplo, 1 Terabit/pulgada<sup>2</sup>) y las nuevas tecnologías de visualización a base de plásticos flexibles. A largo plazo, el desarrollo de la nanoelectrónica molecular o biomolecular, la espintrónica y la informática cuántica abrirán nuevos horizontes a la **tecnología informática**. La nanoelectrónica estará en el origen de una nueva generación de ordenadores, teléfonos, automóviles, electrodomésticos y cualquier sistema de automatización necesario en cualquier equipo de aplicación industrial o doméstico.

En el caso de la **nanobiotecnología**, se está combinando la **ingeniería** a nivel molecular con la **biología**, bien manipulando directamente sistemas vivos, o creando biochips como los que ya se están produciendo en la actualidad inspirados en materiales biológicos. En un futuro próximo, la nanobiotecnología nos proveerá con nuevas innovaciones extraordinarias en el **campo de la medicina** por ejemplo, con



nuevos sistemas de diagnóstico miniaturizados que podrían implantarse y utilizarse en la detección precoz de enfermedades, recubrimientos y nanocompuestos desarrollados mediante el recurso a las nanotecnologías, no exclusivamente en su producción sino en los conceptos de diseño de los materiales constituyentes, que mejorarán la bioactividad y biocompatibilidad de los implantes, nuevas matrices soporte capaces de auto estructurarse que están facilitando el desarrollo de una nueva generación de materiales en el ámbito de la ingeniería de tejidos y de los materiales biomiméticos, abriendo la posibilidad, a largo plazo, de conseguir la síntesis de órganos de sustitución. Se están desarrollando nuevos sistemas de

administración dirigida de medicamentos y recientemente se ha conseguido llevar e introducir nanopartículas al interior de células cancerosas para su tratamiento, por ejemplo, mediante calor.

También el campo de la **producción y almacenamiento de energía** podrá beneficiarse, por ejemplo, de los nuevos desarrollos en pilas de combustible o sólidos ligeros nanoestructurados que tienen el potencial para un almacenamiento eficaz del hidrógeno. Se están desarrollando también células solares fotovoltaicas eficaces y de bajo coste (por ejemplo la «pintura solar»). Los avances en el campo de las nanotecnologías también permitirán ahorros energéticos a través de una mejora de los aislamientos, del transporte y de una iluminación más eficaz.

Los avances de la **ciencia de los materiales** mediante el recurso a las nanotecnologías son de gran alcance y su impacto se dejará sentir en casi todos los sectores. Las nanopartículas ya se emplean para reforzar materiales o funcionalizar cosméticos. Se recurre al uso de nanoestructuras superficiales para conseguir superficies resistentes al rallado, hidrófugas, limpias o estériles. El injerto selectivo de moléculas orgánicas a través de la nanoestructuración superficial permitirá avanzar en la fabricación de biosensores y de dispositivos electrónicos moleculares. Asimismo, se pueden mejorar y hacer avanzar enormemente los rendimientos de los materiales en condiciones extremas, con las consiguientes aplicaciones en los sectores espacial y aeronáutico.

**La fabricación** a nivel nanométrico exige un nuevo enfoque interdisciplinar tanto en la investigación como en los procesos de fabricación. Conceptualmente se consideran dos vías de trabajo: la primera consiste en la miniaturización de los microsistemas denominado enfoque «de arriba abajo» o «*top-down*» y la segunda, en imitar la naturaleza mediante el desarrollo de estructuras a partir de los niveles atómico y molecular denominado enfoque «de abajo arriba» o «*bottom-up*». El primero podría describirse como un proceso de ensamblaje, el segundo como un proceso de síntesis. El enfoque de abajo a arriba se encuentra en fase inicial de desarrollo, pero su impacto potencial es de gran alcance y podría alterar las rutas actuales de producción.

**La fabricación de instrumentos** para el estudio de las propiedades de la materia a una escala nanométrica ya está teniendo un impacto importante, tanto directo como indirecto, que está estimulando el progreso en una amplia gama de sectores. La instrumentación también desempeña un papel clave en el desarrollo de procesos de fabricación basados en técnicas convencionales con enorme potencial como son las nuevas técnicas de deposición por plasma de recubrimientos nanoestructurados a partir de la inyección directa de precursores líquidos, o la utilización de forma controlada de plasmas de alta energía en la fabricación de nanopartículas o en la funcionalización de superficies.

**La investigación sobre los alimentos, el agua y el medio ambiente** también puede beneficiarse de las nanotecnologías con, por ejemplo, el desarrollo de instrumentos para detectar y neutralizar la presencia de microorganismos o plaguicidas. Mediante nuevas técnicas de nanoetiquetado miniaturizado podría realizarse el seguimiento desde origen de los alimentos importados. El desarrollo de métodos de recuperación basados en el uso de nanotecnologías (por ejemplo, técnicas foto-catalíticas) permiten paliar y limpiar el efecto de la contaminación y otros daños medioambientales (por ejemplo, contaminación por petróleo del agua o del suelo).

La contribución a la **seguridad** podrá realizarse a través de, por ejemplo, nuevos sistemas de detección de alta especificidad de alerta precoz ante agentes químicos o biológicos, sensibles hasta el nivel molecular. El nanoetiquetado de los billetes de banco podría contribuir a la protección de la propiedad. También está en marcha el desarrollo de nuevas técnicas criptográficas para la comunicación de datos.

Ya se han comercializado varios productos desarrollados a través de las nanotecnologías. Se trata de productos sanitarios (vendajes, válvulas cardiacas, etc.), componentes electrónicos, pintura resistente al rallado, equipos deportivos, telas antiarrugas y antimanchas y lociones solares. Los analistas cifran el mercado de este tipo de productos en la actualidad en aproximadamente 2.500 millones de euros, pero opinan que ascenderá a cientos de miles de millones de euros para el año 2010 y a un billón después de esa fecha.

Resulta evidente que las empresas, y en particular las PYMES, no pueden mantenerse ajenas a este mercado emergente, y aunque en su mayor parte muchos de los resultados obtenidos hasta el momento en el campo de la nanotecnología están muy lejos de poder ser comercializados en su estado de madurez actual, ya son muchos los productos existentes en el mercado en la industria del empaquetado, automoción, biotecnología, industria médica y farmacéutica, espacial, textil, cosmética, industria del ocio, construcción y energía.

En este documento pretendemos mostrar algunas, no todas, de esas aplicaciones así como mostrar otras con enorme potencial de futuro aunque industrializables a más largo plazo. De esta manera queremos difundir las posibilidades reales y las potenciales de la tecnología entre aquellas personas pertenecientes a la industria con el fin de que puedan conocer y valorar hasta que punto su empresa puede hacerse más competitiva iniciando su andadura, tanto a nivel de producto como de proceso, incorporando algunos aspectos innovadores a sus planes de I+D+i empresarial.



# EJEMPLOS DE APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA NANOTECNOLOGIA

Los ejemplos que se muestran en las páginas siguientes no pretenden de ninguna manera ser representativos del impacto de la nanotecnología a nivel industrial. Principalmente, se presentan algunos ejemplos de aplicaciones industriales basadas en su totalidad o en parte en la nanotecnología, tratándose en algunos casos, de productos en el mercado o cerca de él, mientras que en otros, marcados como “I+D”, se encuentran actualmente en un estado de desarrollo inferior a nivel de prototipo o, incluso, de concepto. Con el fin de facilitar la lectura, los ejemplos han sido ordenados de acuerdo a los principales sectores industriales, tal y como se muestra a continuación:

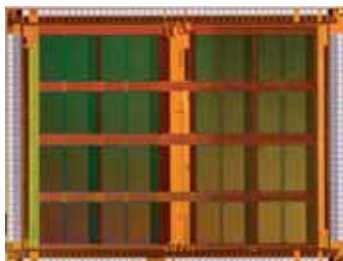
- 01. Tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC's)**
- 02. Industria de automoción**
- 03. Industria de biotecnología**
- 04. Industria médica y farmacéutica**
- 05. Industria aeroespacial**
- 06. Industria textil**
- 07. Industria cosmética**
- 08. Industria del ocio**
- 09. Industria de la construcción**
- 10. Industria de la energía**
- 11. Industria metal-mecánica y de bienes de equipo**



# 01. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS TELECOMUNICACIONES (TIC's)

- Memorias MRAM
- Láser de punto cuántico
- Nanoelectrónica basada en nanotubos de carbono (I+D)
- Circuitos ópticos integrados  
Aplicación a moduladores y conmutadores ópticos (I+D)
- Superlentes (I+D)
- Cristales fotónicos (I+D)
- Monitores LCD basados en nanotubos de carbono (I+D)

## Memorias MRAM



Memoria MRAM MR2A16A de la empresa Freestyle.

La electrónica convencional codifica los datos informáticos basados en un sistema binario de unos y ceros, dependiendo de si los electrones circulan o no dentro del material. Pero, por principio, la dirección en que un electrón gira en un sentido o en el otro puede también ser utilizada como información. Así que la espintrónica puede efectivamente permitir a las computadoras almacenar y transferir el doble de datos por electrón. Una vez que un campo magnético empuja un electrón en un sentido de rotación, mantendrá el sentido de rotación hasta que otro campo magnético provoque el cambio. Este efecto se puede utilizar para tener acceso muy rápidamente a información almacenada magnéticamente durante una operación informática - incluso si la corriente eléctrica se ha interrumpido entre dos sesiones de trabajo. Los datos se pueden almacenar permanentemente y están casi inmediatamente disponibles en cualquier momento, sin ser necesario un prolongado proceso de arranque.

Una de las aplicaciones con mayor interés de la espintrónica es el caso de las memorias MRAM (*Magnetic Random Access Memory*), cuya traducción literal sería "memoria magnética de acceso aleatorio". Estas memorias han sido recientemente desarrolladas por la empresa Freestyle, habiéndose convertido su chip de memoria MR2A16A en el primer dispositivo MRAM en el mercado.

La aparición de esta nueva tecnología para el almacenamiento de información supone un avance radical con respecto a la memoria RAM, ya que ésta necesita que, con una determinada periodicidad, se reescriba en cada celda de memoria su contenido actual, mientras que la memoria MRAM mantiene la información en bits dentro de minúsculos campos magnéticos. La MRAM supone un gran ahorro de energía al no necesitar ningún tipo de alimentación eléctrica.

Otras ventajas de las memorias MRAM frente a las RAM son que (i) no se pierden datos cuando se apaga el terminal y (ii) es más rápida y resistente. Todo esto hace que su aplicación resulte muy atractiva para distintos dispositivos, desde ordenadores hasta cámaras digitales.

### REFERENCIAS

IBM: [www.research.ibm.com/journal/rd/501/sun.html](http://www.research.ibm.com/journal/rd/501/sun.html)

Freescale: [www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?nodeId=015424&tid=FSH](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?nodeId=015424&tid=FSH)

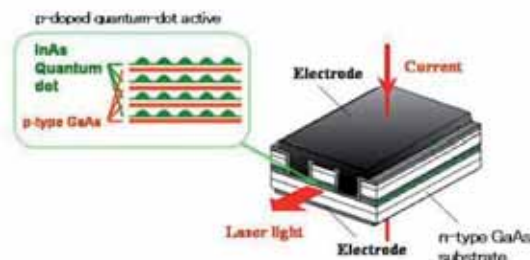


## Láser de punto cuántico

Un láser es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente de un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados.

Los componentes principales de un láser son:

- Un medio activo para la formación del láser
- Energía bombeada para el láser
- Espejo reflectante al 100%
- Espejo reflectante al 99%
- Emisión del rayo láser



Funcionamiento de un láser de punto cuántico: Fuente Fujitsu.

El principio de funcionamiento de un láser es sencillo, la energía bombeada al láser excita los electrones de un material ópticamente activo y provoca el movimiento de estos electrones entre la banda de valencia y la banda de conducción, emitiendo de forma simultánea de fotones. Estos fotones son reflejados por el espejo reflectante al 100% e impactan de nuevo sobre el material óptico estimulando de nuevo la emisión de más fotones.

En los materiales no nanoestructurados, las bandas de valencia y conducción constituyen un continuo siendo, el abanico de niveles de energía disponibles para el movimiento de los electrones entre dichas bandas muy numeroso. Esto da lugar a un amplio número de longitudes de onda de emisión.

Los láseres de punto cuántico son un tipo revolucionario de láseres que son significativamente superiores en prestaciones a los láseres de semiconductores clásicos en aspectos tales como la operación independiente de la temperatura, el bajo consumo energético, la transmisión a larga distancia y rápidas velocidades.

Confinando las dimensiones de un semiconductor en tres dimensiones para formar un láser de punto cuántico se consigue restringir las longitudes de onda de emisión de forma más estrecha de lo que se puede conseguir en los láseres convencionales. De esta forma la longitud de onda es determinada por el tamaño del cristal y se puede consiguientemente crear láseres a medida.

Las aplicaciones de estos láseres incluyen, entre otras, los lectores de CDs, lectores de códigos de barras e impresoras láser.

### REFERENCIAS

Zia Laser: [www.zialaser.com](http://www.zialaser.com)

## Nanoelectrónica basada en nanotubos de carbono

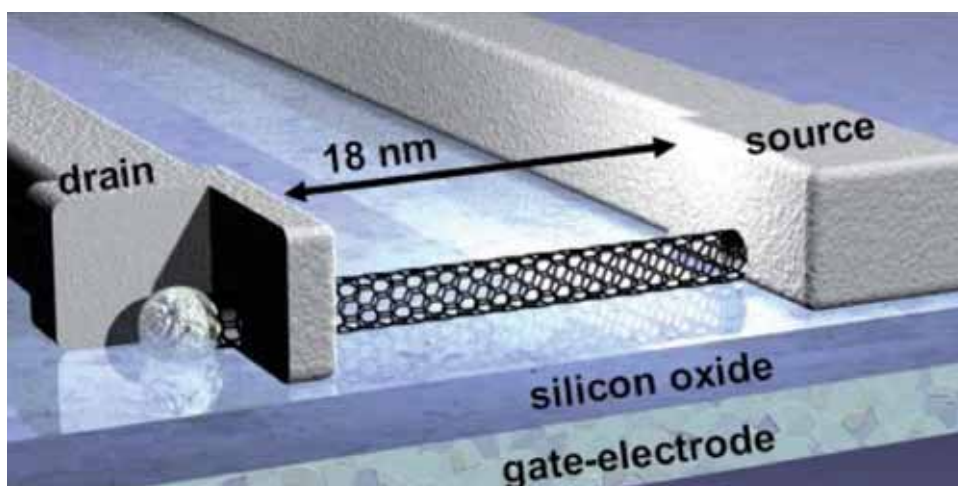
Como es bien conocido, los nanotubos de carbono poseen propiedades electrónicas y mecánicas excepcionales cuando son comparados con materiales convencionales. En cuanto a las primeras, el control de su diámetro y helicidad permite obtener estructuras metálicas o semiconductoras, lo que abre un interesante campo de aplicación en el mundo de la nanoelectrónica. Además, su alta conductividad térmica podría solventar el problema de disipación existente actualmente en dispositivos nanoelectrónicos.

El principal problema de cara a la obtención de estos dispositivos reside en la actualidad en la fabricación de los mismos. Por un lado, el *gap* entre los niveles energéticos de los nanotubos es dependiente de su calidad, siendo altamente complicada la fabricación de estructuras con valores predeterminados y repetibles. Por otro lado, el alineamiento de los nanotubos, esencial para el buen funcionamiento del sistema, precisa de técnicas de crecimiento sofisticadas.

A pesar de estas dificultades, existen hoy en día prototipos de nanosistemas electrónicos basados en nanotubos de carbono. El más conocido de ellos es el llamado CNT-FET (*Carbon nanotube-based Field Effect Transistor*) que ha sido recientemente considerado como el más firme candidato para sustituir la tecnología CMOS en un futuro. De manera resumida, los CNTFET son dispositivos basados en la unión de los dos electrodos de metal de un transistor mediante un nanotubo de carbono, haciendo los primeros las veces de terminal y controlando de este modo el funcionamiento del nanotubo (conducción o no conducción) al aplicar una tensión. Aunque lejos de su comercialización, estos dispositivos presentan indudables ventajas frente a los transistores convencionales como son la probabilidad de *scattering* o la reducción de procesos de pasivación en su fabricación.

Simulación de un CNTFET  
(Referencia: <http://tweakers.net/nieuws/35158/Infineon-presenteert-18nm-nanotube-transistor.html>).

Además de los CNTFET's, otros dispositivos con gran interés en la actualidad basados en nanotubos son los dispositivos nanoelectromecánicos integrados en guías de onda para RF o las memorias no volátiles.



### REFERENCIAS

Infineon Technologies: [www.infineon.com](http://www.infineon.com)

Institut d'Électronique du Solide et des Systèmes: [www-iness.c-strasbourg.fr/Axe4-ModComp/cntfet.htm.en](http://www-iness.c-strasbourg.fr/Axe4-ModComp/cntfet.htm.en)

## Circuitos ópticos integrados: aplicación a moduladores y conmutadores ópticos

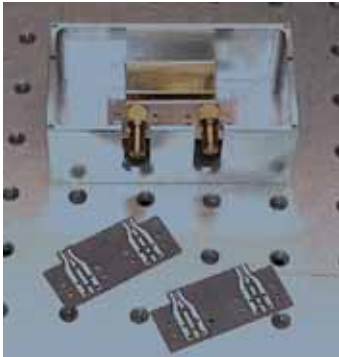


Figura 1: Modulador Mach-Zehnder experimental.

El tratamiento de señales ópticas representa cada vez un papel más importante en las actuales tecnologías de la medida y la comunicación. Aspectos como la generación de señales, su modulación, su medida y su direccionamiento son ya imprescindibles en todos los dispositivos tecnológicos basados en la fotónica, en lugar de la electrónica.

En este tipo de tecnología, las fibras ópticas son ampliamente utilizadas para conducir la luz a lo largo de grandes distancias pero, para el tratamiento preciso de esa luz, es necesario disponer de dispositivos y circuitos ópticos integrados. La tecnología de la óptica integrada permite realizar de forma eficiente todas las tareas de modulación, enrutamiento o conmutación necesarias en cualquier plataforma de comunicaciones ópticas.

El elemento fundamental de la óptica integrada son las guías ópticas, que se pueden fabricar mediante el uso de gran variedad de técnicas y materiales. En el Laboratorio de Óptica Integrada de la Universidad de Oviedo se fabrican guías ópticas integradas sobre vidrio mediante la técnica del intercambio iónico, y sobre niobato de litio mediante intercambio protónico.

El niobato de litio es un material electroóptico, que lidera en la actualidad la fabricación de dispositivos de comunicaciones ópticas, y en los que ha demostrado una gran aplicabilidad y fiabilidad. Las técnicas que utiliza el Laboratorio en la fabricación de estos dispositivos abarcan desde los procesos fotolitográficos en la microescala hasta la caracterización experimental completa de los elementos fabricados.



Figura 2: Electrodo *travelling-wave* sobre sustratos de niobato de litio.

Actualmente, en el Laboratorio se investigan los moduladores electroópticos Mach-Zehnder en niobato de litio. Estos dispositivos se basan en un interferómetro integrado sobre un sustrato de niobato de litio en el que, mediante la aplicación de un campo eléctrico, se consigue modular una señal óptica. De esta forma, se puede transmitir una señal digital desde un soporte electrónico a un soporte óptico. La implementación de estos dispositivos requiere el tratamiento de señales eléctricas de alta frecuencia y su adaptación e interacción con las guías ópticas. En la figura 1 se puede ver la estructura de un modulador Mach-Zehnder experimental, mientras que la figura 2 muestra una estructura de electrodos *travelling-wave* fabricados sobre un sustrato de niobato de litio.

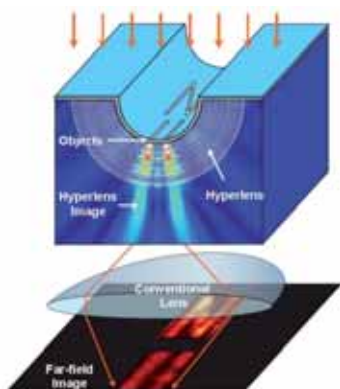
La misma tecnología empleada en los moduladores permite la fabricación de conmutadores ópticos, en los que la luz que entra en el dispositivo se puede dirigir a voluntad hacia distintas salidas. Este efecto se puede utilizar para multiplexar/demultiplexar señales ópticas o enrutar éstas a alta frecuencia.

Las técnicas de modulación de fase o de amplitud, también son utilizadas en dispositivos sensores industriales como, por ejemplo, los medidores de corriente eléctrica en estructuras metálicas o los giroscopios ópticos.

### REFERENCIAS

Universidad de Oviedo: [www.uniovi.es/optoelectronica](http://www.uniovi.es/optoelectronica)

## Superlentes



Todo microscopio óptico tiene un límite de resolución. Dicho límite implica que no se pueden resolver imágenes con un detalle inferior a, aproximadamente, la longitud de onda de la radiación utilizada. Para la microscopía óptica convencional, en la región del espectro visible, dicho límite sería por lo tanto del orden de varios centenares de nanómetros. Este hecho es una consecuencia de lo que se conoce en óptica como difracción, efecto que es común a la interacción de cualquier tipo de onda con objetos de tamaño similar a su longitud de onda. Por otro lado, en la inmediata proximidad de una superficie, y en ciertas condiciones, pueden aparecer las denominadas “ondas evanescentes”. Se trata de ondas electromagnéticas que se propagan paralelamente a la superficie del material, pero cuya intensidad decrece muy rápidamente conforme nos alejamos de la misma, siendo despreciable a distancias del orden de la longitud de onda de la radiación electromagnética. Las “ondas evanescentes” podrían ser utilizadas para obtener imágenes ópticas con mayor resolución que las obtenidas por microscopios ópticos convencionales. El principal problema en este sentido es su detección.

Un método utilizado en los últimos años consiste en acercarse a distancias nanométricas de una superficie una fibra óptica convenientemente adelgazada. Es lo que se conoce como “Microscopía de Campo Cercano” o SNOM. Sin embargo, muy recientemente (abril 2007), dos grupos de investigación de la Universidad de Maryland y de Berkeley, han conseguido mejorar dicha tecnología y llegar a resoluciones ópticas del orden de 70nm, desarrollando lo que se conoce como superlentes. Dichos dispositivos permiten recoger de forma efectiva la señal que proviene de las ondas evanescentes y su posterior tratamiento por lentes convencionales. Este hecho permitiría obtener imágenes ópticas de algo tan pequeño como un virus, una proteína o una cadena de DNA, lo cual era hasta la fecha imposible, y abre una nueva vía en la instrumentación óptica aplicada a la biología y la ciencia de superficies. Las superlentes son un caso particular de lo que se conoce como metamateriales; materiales artificiales obtenidos mediante micro y nanoestructuración (ver por ejemplo: *Superlentes y Supermateriales*, J.B.Pendry en Investigación y Ciencia, septiembre de 2006). Las superlentes son metamateriales que poseen una característica sorprendente: son materiales ópticos con índice de refracción negativo, contrariamente al caso de los materiales naturales (por ejemplo el vidrio) que lo presentan positivo. Con este nuevo tipo de materiales se puede amplificar convenientemente la débil señal que proviene de las ondas evanescentes que se propagan por la superficie de la materia.

Los dos grupos de investigación estadounidenses han diseñado superlentes con dos geometrías diferentes. En un caso el dispositivo está constituido por anillos concéntricos de distintos polímeros depositados sobre una delgadísima lámina de oro. En un segundo caso se ha diseñado un dispositivo tridimensional formado por una estructura multicapa constituida por láminas alternas de plata y óxido de aluminio depositadas sobre una superficie cilíndrica de cuarzo. Este segundo caso se muestra en la figura, en donde la palabra “ON”, escrita en tamaño nanométrico en la superficie externa de la superlente es proyectada por lentes convencionales después de ser iluminada por un láser y recogida por la estructura multicapa de la superlente. Con este dispositivo es posible obtener resoluciones ópticas del orden o inferior a 100nm.

### REFERENCIAS

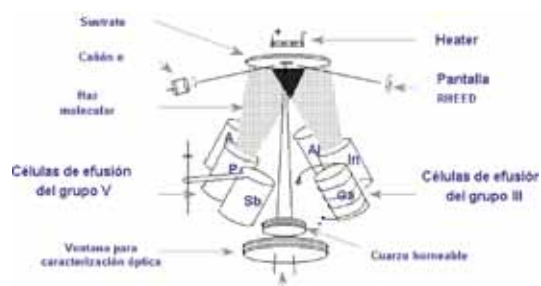
About.com: <http://physics.about.com/b/a/007510.htm>

## Cristales fotónicos

Los cristales fotónicos son nuevos materiales nanoestructurados que presentan propiedades exclusivas, ya aplicadas para fibras ópticas.

Se trata de estructuras constituidas por variaciones periódicas en el índice de refracción del material que las constituye y con banda prohibida para fotones (*o photonic bandgap, PBG*). En analogía con las bandas electrónicas de sólidos ordenados (como los materiales semiconductores) donde la periodicidad atómica origina bandas o niveles de energía para los electrones, la distribución espacial de la constante dieléctrica en el caso de los cristales fotónicos origina una estructura de bandas para fotones. Estas bandas pueden diseñarse a voluntad (de forma análoga a la ingeniería de bandas en los materiales semiconductores), por lo que estas estructuras pueden impedir o favorecer la propagación de fotones con determinadas energías, produciendo efectos no observados en la óptica convencional. Tanto la periodicidad como las dimensiones físicas de las zonas de variación de la constante dieléctrica están relacionadas con la longitud de onda de los fotones que se propagan, exigiendo para estas zonas dimensiones en la escala de nanómetros para fotones con energías dentro del espectro visible e infrarrojo cercano.

Fabricación de cristales fotónicos mediante epitaxia por haces moleculares.  
Fuente: Instituto de Microelectrónica de Madrid.



El creciente tráfico de datos en la red de telecomunicaciones (vídeo y audio en Internet) hace necesario el desarrollo de nuevas infraestructuras de mayor ancho de banda y velocidad (>100 Gb/s) mediante la implantación de arquitecturas ópticas en sustitución de los actuales subsistemas electrónicos. En última instancia, será necesario disponer de dispositivos optoelectrónicos (LEDs y/o diodos láser) de ultra-alta velocidad integrados en chips capaces de comunicarse ópticamente. Por otra parte, estos dispositivos podrían ser la piedra angular de nuevos computadores ópticos que superen las limitaciones impuestas por la progresiva miniaturización de los actuales procesadores de silicio.

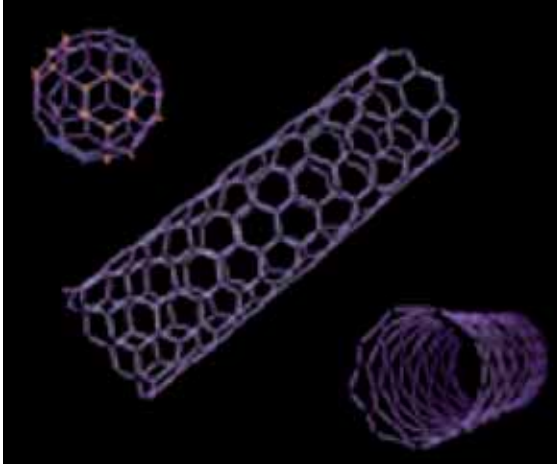
Las aplicaciones actuales de estos cristales incluyen la espectroscopía, metrología, biomedicina, imagen o telecomunicación.

### REFERENCIAS

Instituto de Microelectrónica de Madrid: [www.imm.cnm.csic.es/cristalfotonico](http://www.imm.cnm.csic.es/cristalfotonico)

Departamento de Física del MIT: <http://ab-initio.mit.edu/photons/>

## Monitores LCD basados en nanotubos de carbono



Los científicos esperan que los nanotubos de carbono puedan ser utilizados en la fabricación de pantallas de cristal líquido (LCD) a nivel comercial. A día de hoy, ya se han desarrollado pantallas prototipo de 15 pulgadas. Esta tecnología es escalable, por lo que será posible fabricar pantallas de gran tamaño con una mayor calidad de imagen y durabilidad que las actuales, disminuyendo a la vez los costes de fabricación.

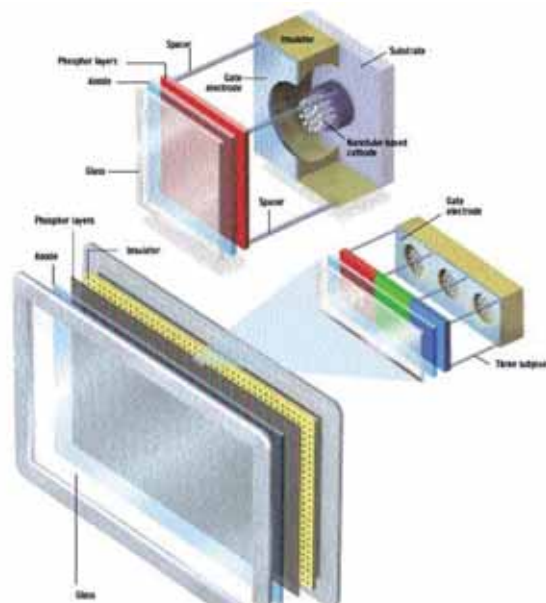
La tecnología de la pantalla nano-emisiva (NED) se basa en hacer crecer los nanotubos de carbono directamente sobre un vidrio, lo que da lugar a un diseño energéticamente eficiente. Esta tecnología presenta potencialmente la ventaja de obtener pantallas con mayor brillo, excelente uniformidad y pureza de los colores.

Fuente: Physorg.

En esta tecnología, los nanotubos remplazan otras fuentes convencionales de luz como pueden ser los LED (*light emitting diodes*) para iluminar imágenes en pantalla. En el caso de los nanotubos la tecnología se denomina FED (*field emitter display*).

En este nuevo tipo de pantallas, miles de nanotubos emiten electrones sobre una pantalla fluorescente que ilumina la imagen. Los nanotubos de carbono son estructuras huecas que conducen la electricidad mejor que los metales, son más resistentes que el acero y pueden emitir luz.

Las pantallas basadas en nanotubos son en concepto similares a las clásicas CRT (*cathode ray tube*) pero con mejor resolución y calidad de imagen.



Esquema de una pantalla basada en nanotubos (Michael Berger, copyright)

### REFERENCIAS

Physorg.com: [www.physorg.com/news4031.html](http://www.physorg.com/news4031.html)

Nanowerk: [www.nanowerk.com/spotlight/spotid=316.php](http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=316.php)

## 02. INDUSTRIA DE AUTOMOCIÓN

- Recubrimientos transparentes anticondensación basados en nanotubos de carbono
- Nanocompuestos

## Recubrimientos transparentes anti-condensación de vapor de agua basados en nanotubos de carbono



Laca transparente y conductora con nanotubos de carbono.

Fuente: Dominik Nemeč, Fraunhofer Technology Development Group.

La condensación de vapor de agua sobre vidrio en ambientes fríos y húmedos reduce notablemente su transparencia. Los parabrisas de los automóviles, los espejos en entornos húmedos, como los cuartos de baño, o los vidrios de las ventanas son algunos de los ejemplos en los que la condensación de vapor de agua empeora significativamente la visibilidad. Entre las soluciones empleadas actualmente para reducir la condensación, la más frecuente, especialmente en las lunas traseras de los automóviles, consiste en depositar una resistencia lineal sobre el vidrio por la que se hace circular electricidad. De este modo, la potencia eléctrica disipada calienta las zonas del vidrio adyacentes eliminando la condensación. Sin embargo, la resistencia presenta tres problemas: el calentamiento no es homogéneo, siendo más intenso en las zonas cercanas al hilo resistivo, la visibilidad se ve limitada porque el material empleado para fabricar la resistencia no es transparente y su estabilidad a largo plazo se ve comprometida porque cualquier daño en uno de los hilos de la resistencia la vuelve inutilizable. Una de las soluciones alternativas que se está explorando consiste en la utilización de recubrimientos transparentes y conductores basados en nanotubos de carbono.

Los nanotubos de carbono son estructuras cilíndricas formadas a partir de láminas de grafito enrolladas sobre sí mismas. Las dimensiones de los nanotubos son muy variables, siendo su diámetro del orden del nanómetro, mientras que la longitud puede llegar hasta las micras, o incluso milímetros. Dependiendo de la forma en que se enrolle la lámina de grafito, los nanotubos pueden ser semiconductores o metálicos. Habitualmente, los nanotubos de carbono presentan una estructura multipared, formada por nanotubos de distintos diámetros enrollados unos sobre otros en una estructura coaxial. La mayoría de los nanotubos multipared tienen un comportamiento metálico y, por tanto, pueden conducir electricidad. Actualmente se están desarrollando lacas transparentes con nanotubos para ser dispersadas sobre la superficie de vidrios. La lámina resultante es conductora, con lo cual al aplicarle una diferencia de potencial conducirá una corriente eléctrica que calentará el vidrio y eliminará la condensación de vapor de agua.

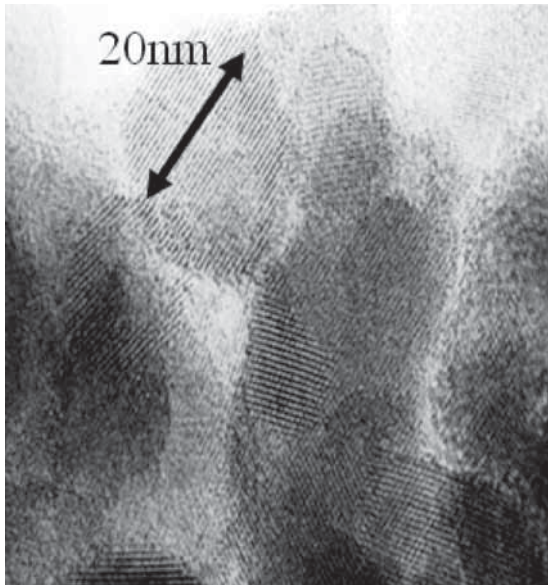
Las aplicaciones más evidentes son las ya mencionadas: espejos en ambientes húmedos, vidrios de ventanas y, especialmente, parabrisas de los automóviles, donde la reducción de visibilidad supone un serio problema de seguridad vial. Entre las ventajas de este sistema figura el hecho de que el calentamiento del vidrio es más uniforme que en el caso de emplear resistencias lineales. Además, a diferencia del calentamiento basado en resistencias, el carácter conductor de la lámina no se ve afectado en caso de daños puntuales al recubrimiento. El consumo del sistema es bajo, por lo que puede funcionar con los voltajes habituales de las baterías de automóvil y el calentamiento se produce en un breve plazo de tiempo.

### REFERENCIAS

Fraunhofer-Gesellschaft: [www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)



## Nanocompuestos



Nanopartículas cerámicas.  
Fuente: <http://www.rpi.edu/dept/materials/>

El mayor avance en los últimos años en la química de los polímeros no ha sido el descubrimiento de nuevos monómeros sino la incorporación de aditivos de tamaño nanométrico. Esta tecnología da lugar a los llamados nanocomposites o polímeros híbridos orgánicos-inorgánicos.

La característica fundamental de estos polímeros híbridos es que los aditivos inorgánicos están distribuidos en la matriz del polímero a escala nanométrica y, en la situación ideal, ambas fases se encuentran unidas químicamente.

Si comparamos los *nanocomposites* con otros materiales tradicionales de relleno de plásticos, en el primer caso la cantidad de nanopartículas que se deben añadir para transformar significativamente las propiedades del material son menores. De esta manera, hablamos más propiamente de aditivos que de material de relleno.

Incorporando nanoaditivos es posible, por ejemplo, incrementar simultáneamente la tenacidad y resistencia a rotura del plástico y mejorar su resistencia al fuego. También se puede reducir la permeabilidad a la humedad y gases. Esto es importante por ejemplo en los filmes barrera para uso alimentario y en las uniones adhesivas en las que se mejora su comportamiento frente a ambientes de calor y humedad. Por ejemplo, se ha demostrado que la adición de nanopartículas adecuadamente funcionalizadas en un adhesivo en cantidades del orden del 5%, permite doblar los valores de la resistencia a cortadura y pelado del adhesivo.

El mercado potencial de los *nanocomposites* es muy amplio ya que abarca todas aquellas aplicaciones en las que se utilizan plásticos y uniones adhesivas: envase y embalaje, automoción, aeroespacial, bienes de equipo, etc.



Fuente: Easton Bicycles  
Manillar de bicicleta para triatlón basado en nanotubos de carbono.  
Imagen tomada de [www.compositesworld.com/](http://www.compositesworld.com/)



Fuente GM (General Motors)  
Varias partes del vehículo Hummer de GM han sido moldeadas con un polímero TPO aditivado con arcilla de tamaño nanométrico.  
[www.compositesworld.com/](http://www.compositesworld.com/)

### REFERENCIAS

IFAM Fraunhofer: [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

Univ. Cornell: [www.mse.cornell.edu/materials\\_science\\_discovering/nanocomposites.html](http://www.mse.cornell.edu/materials_science_discovering/nanocomposites.html)

Composites World: [www.compositesworld.com/](http://www.compositesworld.com/)



## 03. INDUSTRIA DE BIOTECNOLOGÍA

- Detección de bacterias mediante nanopartículas bioconjugadas
- Fotosistemas para conversión de energía solar
- Membranas nanoporosas de alúmina (I+D)

## Detección de bacterias mediante nanopartículas bioconjugadas



SEM de bacteria incubada con nanopartículas bioconjugadas.  
Fuente: PNAS.

La detección de bacterias usando anticuerpos no es nueva, pero la tecnología convencional no presenta la sensibilidad que pueden desplegar las nanotecnologías.

Frente a las técnicas tradicionales que ligan una molécula fluorescente a un anticuerpo, las técnicas modernas, como la desarrollada por la Fundación de Investigación de la Universidad de Florida, permiten asociar a un anticuerpo muchas moléculas que pueden generar una señal muy intensa facilitando con ello la captación de la imagen.

El fundamento de estas técnicas consiste en asociar a materiales bioconjugados constituidos por nanopartículas y anticuerpos no una sino miles de moléculas de tinte fluorescente de forma que al quedar adosadas a cada bacteria varios de estas nanopartículas se consigue una imagen muy nítida que se puede percibir aunque en la muestra haya una única bacteria.

Para la formación de las nanopartículas bioconjugadas se utiliza un gel de sílice en el que se encuentran partículas de tinte fluorescente encerradas en una delgada cáscara. A esta microemulsión se le añade posteriormente ortosilicato tetraetilo e hidróxido de amonio, dando como resultado nanopartículas discretas de 60 nm de tamaño que en vez de tener una sola molécula de tinte, tienen miles. Finalmente se crea la conjugación entre un anticuerpo y una nanopartícula dando así lugar a un material bioconjugado que, gracias al anticuerpo, y una vez introducido en la muestra que se desea comprobar, es capaz de detectar la presencia de hasta tan solo una bacteria. Una vez adosadas a la bacteria, esta puede ser fácilmente reconocible gracias a la intensidad de la señal fluorescente emitida por las nanopartículas.

Esta técnica tiene potencial aplicación entre otras en la identificación de bacterias o virus en carne y en los controles de calidad de agua.

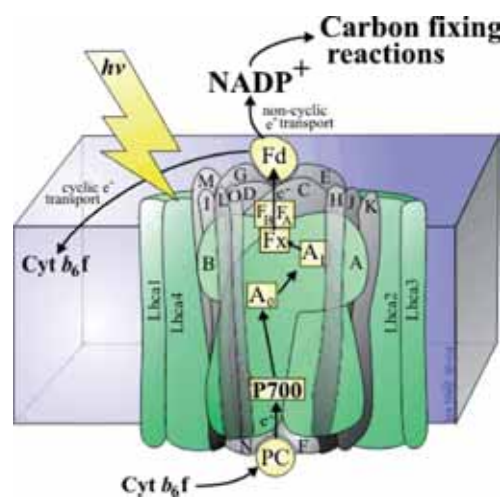
### REFERENCIAS

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America:  
Vol. 101, No. 42 (Oct. 19, 2004), pp. 15027-15032

## Fotosistemas para conversión de energía solar

La necesidad de desarrollar fuentes de energía que sean económicamente rentables a la vez que ambientalmente sostenibles ha incentivado la investigación en soluciones alternativas a los combustibles fósiles. Una de las líneas de investigación principales se centra en el uso eficiente de la energía solar, siendo el estudio del comportamiento de la naturaleza y en concreto de la función de fotosíntesis desarrollada por las plantas verdes y otros organismos para convertir fotones directamente en electrones y luego en energía química el punto de partida de muchas investigaciones. Así mediante el uso de un fotosistema de recolección de energía compuesto de bacterias y plantas verdes se ha demostrado que los fotones pueden convertirse directamente en electrones mediante máquinas moleculares biosolares. Así, por medio de una combinación de ingeniería de precisión e ingeniería biológica del fotosistema, ha sido posible construir un fotosistema en nanoescala de alta densidad y máquinas moleculares ultra livianas de recolección de energía solar.

Para fabricar una máquina molecular de recolección de energía biosolar se requieren dos componentes claves: un sistema de producción de energía biosolar de hojas de plantas verdes y agentes peptídicos. De esta forma se ha comprobado que mediante la utilización de estas proteínas péptidicas denominadas Fotosistema I entre láminas de material conductor transparente la viabilidad de baterías eléctricas de tamaño inferior a 20 nanómetros que integren complejos moleculares con dispositivos electrónicos. El reto que se presenta de cara al futuro es lograr una mayor estabilidad de las proteínas alargando forma la vida útil de las baterías hasta aproximadamente 1 año y mejorar la eficiencia de la conversión fotónica por encima del 12% conseguido inicialmente.



Fuente MIT.

### REFERENCIAS

Nanoletters 2004: Vol. 4, No. 6 1079-1083

Laboratorio de Autoensamblaje molecular del MIT: <http://web.mit.edu/lms/www/>

eJournalUSA: [www.usinfo.state.gov/journals/ites/1005/ijes/zhang.htm](http://www.usinfo.state.gov/journals/ites/1005/ijes/zhang.htm)

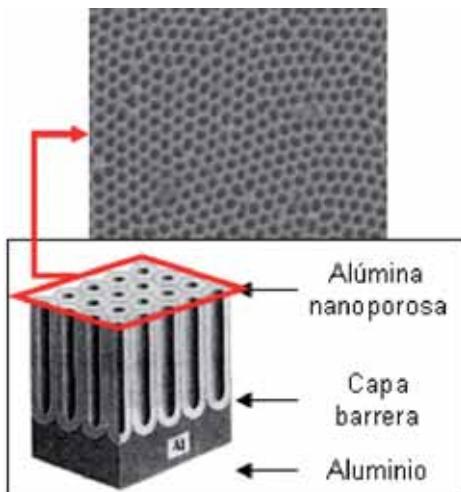
## Membranas nanoporosas de alúmina

El anodizado de aluminio en determinados medios ácidos como por ejemplo sulfúrico, fosfórico u oxálico, forma una película porosa de óxido de aluminio o alúmina. El tamaño y distribución de estos poros se puede controlar con las condiciones experimentales del anodizado. De este modo es posible obtener diferentes recubrimientos de alúmina nanoporosa con una distribución de poros ordenada y de tamaño uniforme.

Posteriormente, estos recubrimientos de alúmina se pueden separar del aluminio para obtener membranas nanoporosas.

Habría que tener en cuenta varios aspectos fundamentales:

- Un pretratamiento electroquímico de la superficie de aluminio, conocido como electropulido para adecuar la superficie para su posterior anodizado.
- El tamaño y distribución de los nanoporos en la alúmina depende de las condiciones de anodizado. Concretamente del tipo y concentración de ácido empleado en el anodizado, temperatura, potencial de oxidación y tiempo.
- Separación de la película de alúmina nanoporosa del aluminio no anodizado.
- Eliminación de la denominada capa barrera para obtener la membrana.



Las aplicaciones más comunes se encuentran en el sector sanitario, medioambiental e industrial. Las membranas nanoporosas de alúmina presentan unas propiedades únicas que permiten su aplicación en otros sectores. Presentan por ejemplo un gran potencial en procesos de nanofiltración en continuo, construcción de nanoelectrodos, almacenamiento de energía solar.

Una de las últimas aplicaciones más interesantes es la construcción de cápsulas para realizar implantes celulares que produzcan sustancias que el organismo receptor no puede producir, por ejemplo insulina. La biocompatibilidad y rigidez de la alúmina unida al tamaño nanométrico de los poros permite que las células sean protegidas de las respuestas inmunológicas y, sin embargo, puedan seguir realizando sus funciones biológicas. Otro aspecto muy interesante de estas membranas es que pueden producirse con bajo coste y con un equipamiento económico.

### REFERENCIAS

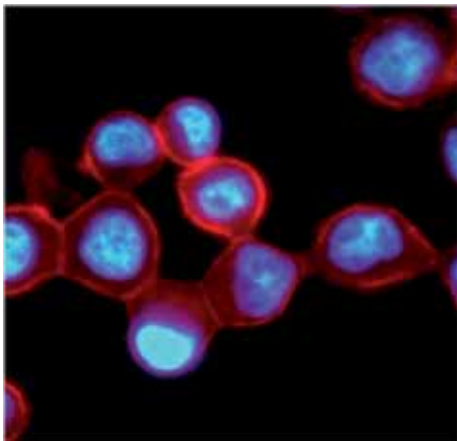
Universidad de Oviedo, Dpto. de Química-Física y Analítica: [www.uniovi.es/QFAnalitica/](http://www.uniovi.es/QFAnalitica/)

CNRS (Francia): <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=3914468>

## 04. INDUSTRIA MÉDICA Y FARMACÉUTICA

- Nanodiagnóstico mediante *quantum dots*
- Detectores de CO<sub>2</sub> y sistemas de monitorización de función respiratoria
- Terapia mediante nanopartículas
- Liberación controlada de fármacos
- Medicina regenerativa. Sustitutos óseos
- Implantes de rodilla y cadera
- Modificación de sueros en medicamentos
- Polímeros electroactivos para su uso como músculos artificiales (I+D)
- Sensores de ADN (I+D)
- Sensores de antígenos (I+D)

## Nanodiagnóstico mediante *quantum dots*



Células cancerígenas identificadas mediante *quantum dots*.  
Fuente: [www.gatech.edu/newsroom/release.php?id=665](http://www.gatech.edu/newsroom/release.php?id=665)

Los *quantum dots* o puntos cuánticos son un tipo especial de semiconductor (por ejemplo, CdSe, PbS...) caracterizados por su pequeño diámetro, entre 2nm y 10nm.

En los semiconductores de tamaño superior al radio del excitón de Bohr, la distancia entre la banda de conducción y la banda de valencia determina la energía mínima que ha de tener un electrón para pasar a la banda de conducción. Esta energía es fija para cada componente, debido a la continuidad entre los niveles de energía y al mayor número de átomos. Debido a esto, cuando un electrón, después de haber pasado gracias a la aportación de energía externa (luz, calor...) a la banda de conducción regresa a la banda de valencia emite radiación en una longitud de onda característica y fija. Sin embargo, reduciendo las dimensiones del cristal semiconductor hasta tamaños del orden del radio del exci-

tón de Bohr de dicho compuesto, los niveles de energía pasan a ser discretos y finitos.

Debido al menor número de átomos en los *quantum dots*, la distancia entre las bandas de conducción y valencia es mayor que en el componente no nanoestructurado, lo que provoca que la radiación emitida sea de un color más azulado (más energía). Además, el tamaño del cristal es tan pequeño que la adición o sustracción de átomos modifica la distancia entre las bandas de conducción y de valencia y con ello la energía asociada a la transición de los electrones, pudiéndose de esta forma controlar el color de la luz emitida por el nanocristal.

Una de las aplicaciones más generalizadas de los *quantum dots* es la de marcadores de células dañinas. Su emisión de fluorescencia es tan brillante que es incluso posible detectar una célula que contenga tan sólo una de estas nanopartículas. Los *quantum dots* comienzan hoy en día a ser comerciales y diversos grupos de investigación han demostrado con éxito su utilidad para la localización de tumores en los primeros estadios, por lo que se puede proceder a su extirpación inmediata. Para conseguir esta localización, hay que recubrir la superficie del *quantum dot* con moléculas biológicas (biorreceptores) con afinidad hacia un compuesto específico. Cierta proteína o ciertas moléculas que se encuentran en mayor proporción en la superficie de las células cancerosas como los receptores de ácido fólico o la hormona luteinizante, asociado con un tipo de cáncer en particular. Cuando los *quantum dots* se acercan a una muestra que contiene dicha proteína, ambos se unen, pudiéndose detectar la interacción mediante la iluminación de los nanocristales con luz ultravioleta y observando su emisión característica. La figura adjunta muestra un ejemplo de tal localización.

Debido a la cantidad de colores en que pueden emitir, los puntos cuánticos se pueden combinar para detectar diversas sustancias, células tumorales, antígenos, etc., de forma simultánea.

### REFERENCIAS

Nanoco: [www.nanocotechnologies.com/index.htm](http://www.nanocotechnologies.com/index.htm)

Evident Technologies: [www.evidenttech.com/qdot-definition/quantum-dot-introduction.php](http://www.evidenttech.com/qdot-definition/quantum-dot-introduction.php)



## Detectores de CO<sub>2</sub> y sistemas de monitorización de función respiratoria

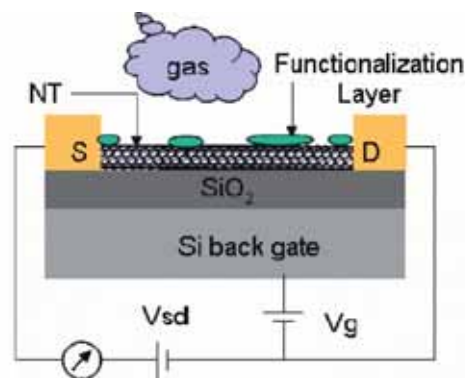
Los sensores para la detección de CO<sub>2</sub> en vías respiratorias basados en nanotecnologías permiten unas mayores y mejores prestaciones que los sistemas actuales basados en tecnología infrarroja no dispersiva o colorimetrías, siendo estos sistemas más costosos y con necesidades en consumos energéticos más amplios.

Los sensores basados en nanotubos sobre microestructuras de sílice permiten generar sistemas ultrasensibles de detección, con tamaños reducidos y bajos consumos, con unos precios competitivos.

El sistema del sensor de CO<sub>2</sub> se basa en una estructura de nanotubos depositada sobre una oblea de muy fino espesor de sílice. Sobre la superficie de nanotubos se incorporan los sistemas de detección selectivos para los distintos analitos biológicos y químicos. La interacción analito con la superficie de nanotubos genera un cambio en las propiedades eléctricas del sistema, permitiendo la identificación de analitos.

Los sistemas de generación de superficies de nanotubos sobre la superficie de silicón se realizan mediante combinación de procesos de fabricación de semiconductores y de procesos de fabricación patentados.

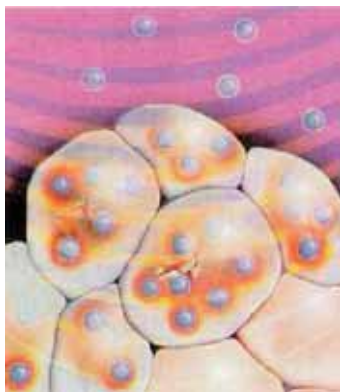
Las aplicaciones más inmediatas serían las propias del sector sanitario. Monitorización de calidad de aire en vías respiratorias de pacientes con patologías respiratorias. La posibilidad de disminuir el tamaño del dispositivo, así como los bajos consumos energéticos, permite disponer de sistemas de monitorización manejables y de uso desde situaciones de urgencia hasta seguimiento de pacientes a distancia.



### REFERENCIAS

Nanomix: [www.nano.com](http://www.nano.com)

## Terapia mediante nanopartículas



Calentamiento de nanopartículas.  
Fuente: <http://www.thermo-health-care.de/en/nano-cancer-therapy.html>

Las nanopartículas magnéticas tienen en la terapia médica un campo de aplicación muy prometedor. Así, se ha iniciado una línea de investigación en el tratamiento de afecciones tumorales por métodos basados en nanopartículas ferromagnéticas recubiertas que, conducidas por medio de campos magnéticos externos, pueden adosarse a células cancerígenas y atacarlas de forma selectiva. El pequeño tamaño de estas partículas hace que puedan acercarse a las células e incluso interactuar con ellas.

Una de las mayores limitaciones del uso de nanopartículas en biomedicina es la baja biocompatibilidad de los materiales ferromagnéticos clásicos (hierro, cobalto, níquel). Por ello, el descubrimiento de magnetismo en los metales nobles que son altamente biocompatibles a escala nanométrica supone un gran avance en el uso de estas nanopartículas para aplicaciones *in vivo*.

El magnetismo de los materiales masivos está basado en tres elementos: la existencia de momentos magnéticos, la interacción de canje entre estos momentos que tiende a mantenerlos paralelos entre sí y la anisotropía que tiende a orientar los momentos en ciertas direcciones espaciales. Sin embargo, algunos experimentos han puesto de manifiesto que en la nanoescala sólo se requiere la existencia de momentos magnéticos y la anisotropía, siendo esta última una característica inherente a la nanoestructura como consecuencia de la falta de simetría. Este descubrimiento abre la puerta a que en sistemas nanométricos fabricados en materiales no magnéticos se observe un comportamiento típico de los materiales ferromagnéticos (histéresis, coercitividad, remanencia).

Uno de los mecanismos de tratamiento terapéutico más prometedor en la actualidad utilizando nanopartículas metálicas se basa precisamente en el fenómeno de histéresis que presentan, mediante el cual, al aplicarse campos magnéticos que varíen rápidamente en el tiempo, las nanopartículas disipan calor. De este modo, se puede conseguir que estas nanopartículas sean transportadas mediante campos magnéticos externos y queden adheridas de manera selectiva a las células dañinas. La posterior aplicación de campos magnéticos alternos produciría el calentamiento de las nanopartículas y, por tanto, de las células enfermas hasta conseguir la eliminación de las mismas, sin dañar las células sanas.

### REFERENCIAS

Revista Madri+d: [www.madrimasd.org/revista/revista34/tribuna/tribuna3.asp](http://www.madrimasd.org/revista/revista34/tribuna/tribuna3.asp)

The Johns Hopkins University: [www.jhu.edu/gazette/2006/07aug06/07lance.html](http://www.jhu.edu/gazette/2006/07aug06/07lance.html)

Nanobiotix: [www.nanobiotix.com](http://www.nanobiotix.com)

## Liberación controlada de fármacos

Existen muchas desventajas asociadas al empleo de determinados fármacos. Éstos se distribuyen en el organismo según sus propiedades físicas, tales como la solubilidad, coeficiente de partición y carga. En consecuencia, los fármacos pueden alcanzar gran variedad de órganos en los cuales puede que se encuentren fuera de su intervalo terapéutico, que sean inactivos, o que su acción sea indeseada o nociva, y por tanto, con efectos secundarios negativos.

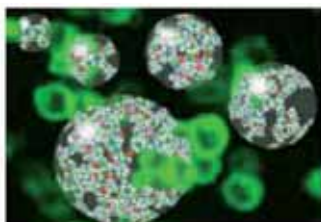
La biotecnología abre la posibilidad de suministrar dosis de medicamento más bajas al paciente para conseguir los mismos efectos, al mejorarse la termoestabilidad, el tiempo de vida y la protección de estos medicamentos frente a los tradicionales. La formulación de fármacos en forma nanoestructurada aumenta su solubilidad y eficacia, por lo que ya existen en el mercado más de cien fármacos de este tipo y muchos otros están en desarrollo. Además, este tipo de formulación permite utilizar rutas de administración más efectivas (oral, trascutánea y pulmonar) y alcanzar localizaciones en el cuerpo que tradicionalmente han sido difíciles, tales como el cerebro.

Pueden emplearse diversos tipos de nanoestructuras como vehículos para la administración de fármacos, tanto oralmente como inyectados en sangre. Entre ellas, cabe destacar la utilización de nanopartículas de material cerámico, nanocápsulas, dendrímeros, liposomas o micelas. Estos transportadores están jugando un papel crucial en el desarrollo de tecnologías de liberación de fármacos específicamente en el lugar dañado o enfermo, permitiendo transportar fármacos, vacunas y ADN a las células y tejidos afectados, pero sin interferir negativamente en otras zonas del cuerpo.

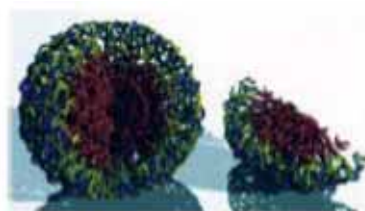
Por ejemplo, en el caso de los fármacos anticáncer, el uso de nanoestructuras conduce a dosis suministradas menores que las típicamente aplicadas en quimioterapia y, si la sustancia se dirige de modo directo al tumor, las cantidades efectivas allí aplicadas pueden ser entre diez y mil veces mayores que las que llegan a destino por las vías habituales. Se evitan de este modo los efectos secundarios no deseados típicos de la quimioterapia.

Las nanopartículas que se utilizan para este propósito son sintetizadas a partir de materiales orgánicos (lípidos, polímeros, liposomas...), pero ya se están desarrollando nano-transportadores inorgánicos (partículas magnéticas, puntos cuánticos de semiconductor, oro coloidal y nanopartículas de fosfato cálcico).

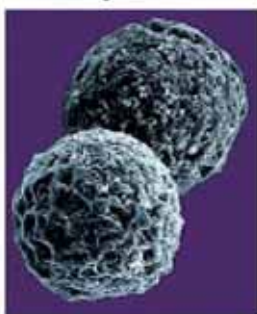
Por ejemplo, la tecnología *Nanocure* de la empresa *Avidimer Therapeutics* está basada en nanopartículas inorgánicas que transportan un fármaco anticáncer a través de la barrera sangre-cerebro. *Novartis Pharma* está investigando el uso de dendrímeros para prevenir la respuesta autoinmune durante el transplante de órganos.



Nanopartículas



Dendrímeros



Nanocápsulas  
poliméricas



Liposomas

Nanosistemas empleados para la liberación controlada de medicamentos.

### REFERENCIAS

Avidimer Therapeutics: [www.avidimer.com/index.html](http://www.avidimer.com/index.html)

## Medicina regenerativa. Sustitutos óseos



Hidroxiapatita.

Fuente: Lawrence Berkeley National Laboratory.

El hueso es el único tejido del organismo que, al ser dañado, es capaz de regenerarse por medio de la creación de un tejido exactamente igual al original. Habitualmente, la dinámica del hueso es suficiente para reconstruir los defectos comunes. No obstante, en las pérdidas mayores de masa tisular, por ejemplo tras un accidente, se hace necesario recurrir al aporte de sustitutos óseos para obtener la reparación.

En la actualidad, para realizar una sustitución ósea predomina la utilización de tejido donante, tanto de aloinjertos como de autoinjertos, si bien está aumentando el porcentaje relativo de materiales artificiales. Los tejidos donantes, frente a su buena biocompatibilidad,

tienen una serie de claras desventajas, ya que son costosos, escasos y presentan riesgo de transmisión de enfermedades, frente a los materiales sintéticos, que previsiblemente, a la larga, acabarán por conquistar una parte importante de este mercado.

Los principales criterios de calidad que debe poseer un biomaterial para optar a la condición de sustitutivo óseo son una correcta biocompatibilidad con el tejido óseo receptor, una acción biológica promotora de una rápida neoformación ósea, es decir, el material ha de ser bioactivo, y propiedades biomecánicas óptimas. De estos requisitos es el tercero el que presenta mayores dificultades, especialmente cuando se requiere la implantación de los sustitutos óseos en localizaciones sometidos a requerimientos mecánicos importantes.

Desde el punto de vista estructural, resulta particularmente importante el nivel de porosidad del material, el tamaño de los poros y el tamaño de las interconexiones entre los poros. Los sustitutos óseos actualmente disponibles poseen bajos niveles de porosidad, inapropiados tamaños o distribución de los poros e insuficiente conectividad entre los mismos, lo cual dificulta la vascularización del implante y por lo tanto no soporta adecuadamente el crecimiento del hueso.

Existe una gran diversidad de materiales en investigación o ensayados y disponibles a la fecha. Sin embargo, los que han resultado más prometedores como potenciales sustitutos óseos continúan siendo los biomateriales cerámicos y, dentro de estos, la hidroxiapatita por ser el compuesto más parecido al componente mineral de los huesos, la hidroxiapatita carbonatada.

Una línea de investigación actual es el desarrollo de sustitutos óseos basados en nanohidroxiapatita con un gradiente de porosidad en función de la porción de hueso que ha de ser sustituida de forma que se alcancen altos rendimientos mecánicos (baja porosidad) y se una buena regeneración ósea. Para conseguir buenos comportamientos mecánicos es posible recubrir los poros y las interconexiones mediante paredes nanoestructuradas densas.

### REFERENCIAS

Berkeley Advanced Biomaterials: [www.hydroxyapatite.com](http://www.hydroxyapatite.com)

Etex Corporation: [www.etexcorp.com/](http://www.etexcorp.com/)

## Implantes de rodilla y cadera



Prótesis de rodilla unicondilar mínimamente invasiva.  
Fuente: Cerámica Industrial Montgatina.

Un implante es una estructura artificial cuyo propósito es reemplazar o estabilizar funciones dañadas del cuerpo.

El problema con las articulaciones se centra en que los humanos están preparados biológicamente para vivir 50-60 años y con los avances médicos hemos superado este tiempo, lo que supone mayores posibilidades de padecer problemas.

Requisitos:

- Biocompatibilidad.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la fatiga.
- Tenacidad (resistencia a la fractura).

El requisito de biocompatibilidad que han de cumplir los materiales candidatos a ser utilizados como implantes hace que menos de una veintena de materiales hayan sido exitosamente incorporados en este tipo de dispositivos, siendo el titanio, las aleaciones Cr-Co, los polímeros y los biocerámicos los materiales más empleados en la actualidad.

Junto con la biocompatibilidad de los materiales, el principal problema que presentan los implantes actuales es su corta vida, de 10 años en el caso de los implantes de cadera. Esta corta vida media es debida al alto desgaste sufrido por las uniones metal-metal, metal-polímero o cerámica-metal debido al cual se generan partículas sub-micrométricas (Metalosis).

Los óxidos cerámicos se han utilizado ampliamente dentro del campo ortopédico, sin embargo su uso se ha visto tradicionalmente limitado por las deficientes propiedades mecánicas que presentaban. Las prótesis de rodilla y de cadera que se están investigando en la actualidad se basan en compuestos cerámicos de alúmina-circona con microestructuras de tipo micro-nano es decir, una matriz de alúmina en el rango micrométrico y nanopartículas de circonita, o de tipo nano-nano. Estos nuevos materiales poseen valores de resistencia a la fractura nunca antes alcanzados por ningún óxido cerámico, mejoran la osteointegración de las prótesis, ya que la estructura cristalina de los huesos está formada por cristales nanométricos (longitud media de 50nm y anchura de 25nm) y favorecen la adhesión de las células óseas. Todas estas cualidades hacen que la vida útil de estas prótesis pueda llegar a superar la esperanza de vida del paciente.

### REFERENCIAS

- Wright Medical Italy: [www.wmt-emea.com/International/Europe/italy.asp](http://www.wmt-emea.com/International/Europe/italy.asp)
- Istituti Ortopedici Rizzoli: [www.ior.it/Sito/intro.html](http://www.ior.it/Sito/intro.html)
- Instituto Nacional del Carbón: [www.incar.csic.es](http://www.incar.csic.es)
- Cerámica Industrial Montgatina: [www.cim-montgatina.com/](http://www.cim-montgatina.com/)
- Proyecto Europeo IP Nanoker: [www.nanoker-society.org](http://www.nanoker-society.org)

## Modificación de sueros en medicamentos

Uno de los aspectos en los que la nanotecnología está aportando un importante empuje comercial es en la modificación de las propiedades físicas del agua mediante el dopaje con nanopartículas. A modo de ejemplo, la compañía *Neowater* anuncia un tipo de agua mineral tratada cuyas principales propiedades son la de tener un pH ligeramente alcalino, acorde con el pH de la sangre y médicamente recomendable, una mayor acumulación de oxígeno, y una estructura molecular del agua que permite su más fácil asimilación. Como es bien conocido, el agua está formada por moléculas de  $H_2O$  que interactúan entre sí formando grupos de moléculas o *clusters*. El tamaño de éstos no debe ser superior a la agrupación de más de unas 8 moléculas para que sea adecuadamente asimilada por las células. El tratamiento del agua anunciada por esta compañía, basada en la nanotecnología, garantiza todas estas propiedades.

La compañía *Neowater* trata de reproducir las propiedades físicas del agua en el interior de las células utilizando la disolución de nanopartículas inorgánicas que cambian las propiedades físicas de agua que las rodea. Por ejemplo, pueden darse propiedades hidrófilas o hidrófobas a esta agua. Una de sus principales propiedades es la de actuar como solvente de sustancias que son insolubles en agua. El campo de aplicación en el que se prevé un mayor volumen de negocio es en el de los productos cosméticos. Además, *Neowater* se utiliza ya como agente biocatalizador, surfactante, y medio soporte para el crecimiento de células. Reemplaza al alcohol en muchas aplicaciones ya que aumenta la solubilidad de compuestos hidrofóbicos, o permite su mayor dispersión. Puede además modificar el entorno físico de reacciones químicas, aumentar la viscosidad de la solución o favorecer el movimiento molecular. Permite realizar reacciones en volúmenes más pequeños que en el caso de agua normal ya que puede tener una presión de vapor más baja. Todas estas propiedades la hacen muy atractiva para su uso en medicina, biología y en la industria farmacéutica.



Productos comercializados por la empresa Neowater.

### REFERENCIAS

Neowater: [www.docoop.com](http://www.docoop.com)

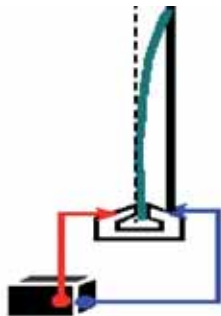
## Polímeros electroactivos para su uso como músculos artificiales

En los últimos diez años se han desarrollado nuevos polímeros, denominados polímeros electroactivos (EAP) que responden a un estímulo eléctrico con un cambio significativo en su forma o tamaño. Esta particularidad ha atraído el interés de ingenieros y científicos de muy diferentes disciplinas ya que su comportamiento es similar al de los músculos biológicos.

Los polímeros electroactivos se pueden dividir en dos grupos: electrónicos (el mecanismo obedece a campos eléctricos o fuerzas de Coulomb) e iónicos (debido a la movilidad o difusión de iones). Los polímeros electrónicos pueden ser utilizados para conseguir un desplazamiento mediante la aplicación de una corriente continua, por lo que un campo de aplicación evidente es la robótica. Como cualquier polímero, los EAP's pueden ser conformados fácilmente y sus propiedades pueden ser ajustadas para ser integrados en MEMS (microsistemas electromecánicos) y sensores, con objeto de obtener actuadores inteligentes.

La propiedad más atractiva de estos materiales es su habilidad para emular músculos biológicos. Sin embargo, como tecnología emergente, se deben mejorar todavía algunos aspectos técnicos como son la intensidad de las fuerzas que desarrollan, su baja eficiencia, y la no disponibilidad de material suficiente a nivel comercial.

El desarrollo de técnicas de escala micro y nanométricas abre un campo muy esperanzador de nuevas aplicaciones insospechadas hoy en día.



a) Pinza abierta b) Pinza cerrada al cambiar la polaridad c) y d) elevación de objetos.

Fuente: Polymer and Separations Research Laboratory, University of California, Los Angeles.

### REFERENCIAS

MST News: <http://ndea.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/Newsletter-EAP-review-2001.pdf>

TeCC: [www.teccenter.org/electroactive\\_polymers/index.html](http://www.teccenter.org/electroactive_polymers/index.html)

Universidad de California-Los Angeles:

[www.polysep.ucla.edu/Research%20Advances/EAP/electroactive\\_polymers\\_as\\_artifi.htm](http://www.polysep.ucla.edu/Research%20Advances/EAP/electroactive_polymers_as_artifi.htm)

## Sensores de ADN

La reciente aparición en el mercado de nanotubos de carbono amplía considerablemente la posibilidad de la nanoestructuración de superficies por sí microestructuradas, como es el caso de los electrodos serigraviados de oro o grafito. Los nanotubos de carbono aportan desde el punto de vista superficial, nuevas propiedades relacionadas con la capacidad de adsorción, aumento del área superficial y transferencia electrónica. Estas propiedades, darán lugar al desarrollo de transductores que podrían ser aplicados en la construcción de sensores de ADN de elevada sensibilidad

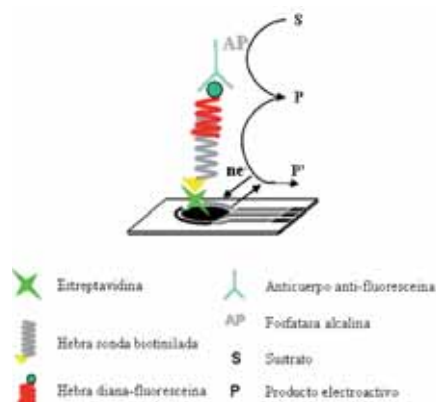
Habría que tener en cuenta varios aspectos fundamentales:

- Encontrar una nanoestructura con nanotubos de carbono sobre superficies serigraviadas que sea estable y reproducible.
- Ordenar adecuadamente las hebras sonda de ADN, para lo cual, se emplearían hebras biotiniladas en un extremo y se haría interaccionar con estreptavidina inmovilizada sobre los nanotubos.
- Acoplar un sistema de revelado de la señal que utilice, como marca, un enzima para sensibilizar la metodología de cuantificación.

Las aplicaciones más inmediatas de este tipo de sensor sería en sectores sanitario, agroalimentario, medioambiental o cualquier otro que tenga necesidades de identificación y cuantificación de ADN. Con frecuencia, la cantidad de muestra para este tipo de identificaciones es escasa y se requiere la utilización de una etapa para la amplificación de la muestra, como puede ser la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR).

En este caso, el desarrollo de sensores altamente sensibles podría suponer la eliminación de la etapa previa de amplificación de la muestra.

La instrumentación sería portátil, del tamaño de un móvil.



### REFERENCIAS

Universidad de Oviedo, Dpto. de Química-Física y Analítica: [www.uniovi.es/QFAnalitica/](http://www.uniovi.es/QFAnalitica/)



## Sensores para antígenos

La tecnología de serigrafiado, conocida como de capa gruesa (aproximadamente  $10\mu\text{m}$  de espesor), nos facilita la posibilidad de utilizar circuitos electrónicos como transductores de inmunosensores.

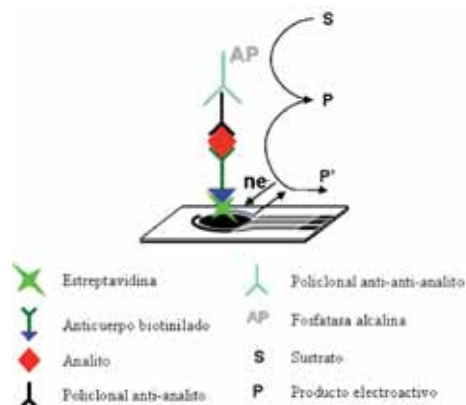
Si la tinta de serigrafiado es de polvo de grafito, con un tamaño de partícula de unas  $5\mu\text{m}$  de diámetro promedio, podríamos conseguir una superficie microestructurada con un gran poder adsorbente para cualquier material proteico y disponer de una herramienta para fabricar inmunosensores específicos de cualquier antígeno y con elevada sensibilidad.

Habría que tener en cuenta varios aspectos fundamentales:

- Encontrar un buen tratamiento electroquímico que confiera a las micropartículas de grafito propiedades adsorbentes adecuadas.
- Inmovilizar avidina, o alguno otro de sus derivados, sobre esta superficie.
- Orientar anticuerpos monoclonales, marcados con biotina, específicos de un epítipo del anticuerpo.
- Poner a punto un sistema enzimático que genere un producto electroactivo que pueda ser oxidado o reducido sobre la misma superficie microestructurada.

Las aplicaciones más inmediatas de este tipo de sensor serían en el sector sanitario. Una aplicación concreta e interesante sería el desarrollo de un sensor para la cuantificación de PSA. Un logro importante sería conseguir un sensor bioanalítico que, utilizando una sola gota de suero sanguíneo, nos diera la relación de PSA libre/ PSA total, ya que hoy día este es el parámetro más importante para el diagnóstico de cáncer de próstata.

La instrumentación sería portátil, del tamaño de un móvil.



### REFERENCIAS

Universidad de Oviedo, Dpto. de Química-Física y Analítica: [www.uniovi.es/QFAnalitica/](http://www.uniovi.es/QFAnalitica/)



## 05. INDUSTRIA AEROESPACIAL

- Plásticos conductores eléctricos
- Recubrimientos para componentes sometidos a altas temperaturas de operación
- Materiales cerámicos cristalinos transparentes

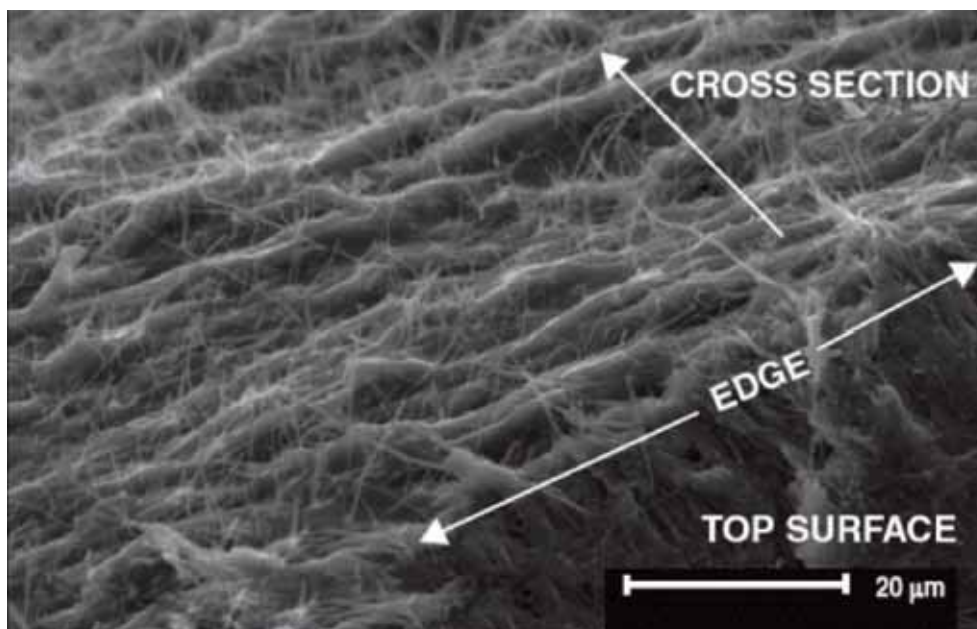
## Plásticos conductores eléctricos

La conductividad eléctrica de un plástico se puede incrementar notablemente con la incorporación de nanomateriales (nanopartículas, nanofibras de carbono y nanotubos de carbono, principalmente) con propiedades conductoras. En este sentido, existen avances significativos en la incorporación de nanotubos de carbono en matrices plásticas.

Científicos de la AFRL (*Air Force Research Laboratory*) han desarrollado un método para dispersar adecuadamente nanofibras de carbono en materiales poliméricos con objeto de incrementar su conductividad. De esta manera, la nanotecnología permite combinar materiales con propiedades muy diferentes a escala nanométrica, dando lugar a nuevos materiales con propiedades revolucionarias.

La adición de nanofibras de carbono a un material polimérico permite mejorar la estabilidad dimensional, la resistencia a la abrasión, la conductividad térmica y eléctrica y las propiedades tribológicas. La formulación del material permite controlar el grado de conductividad del mismo. Esta tecnología logra transformar prácticamente cualquier plástico en un material multifuncional capaz de transportar o disipar una cantidad significativa de carga eléctrica.

En el caso de los nanotubos de carbono, el diámetro de los mismos oscila entre 50nm y 150nm y tiene una relación de aspecto (longitud/diámetro) de aproximadamente 800. Esta geometría permite que se puedan alcanzar altas conductividades eléctricas en el material con la adición de pequeñas cantidades de nanotubos. Para conseguir conductividades similares mediante la adición de partículas metálicas, es necesario ir a concentraciones mucho más altas.



SEM de un PU termoplástico con nanofibras de carbono uniformemente dispersas.  
Fuente: [www.afrlhorizons.com](http://www.afrlhorizons.com).

### REFERENCIAS

Air Force Research Laboratory Horizons: [www.afrlhorizons.com/Briefs/Sept02/ML0206.html](http://www.afrlhorizons.com/Briefs/Sept02/ML0206.html)

NASA Small Bussines Innovation Res.: [www.sbir.nasa.gov/SBIR/abstracts/05/sbir/phase1/](http://www.sbir.nasa.gov/SBIR/abstracts/05/sbir/phase1/)

## Recubrimientos para componentes sometidos a altas temperaturas de operación



Robot de spray plasma.  
Fuente: Piaggio Aero industries S.p.A.

Los recubrimientos superficiales son utilizados para favorecer el comportamiento de componentes sometidos a la abrasión y al desgaste, como las herramientas para trabajado mecánico (corte, perforación, fresado, embutido, estampado y otras), y también para su uso como barrera térmica en componentes fuertemente solicitados como los alabes de las turbinas a gas. Las principales barreras técnicas en este tipo de componentes, y principales motivos de fallo, son la alta temperatura a la que están sometidos y el desgaste.

El reto principal en la actualidad consiste en desarrollar nuevos recubrimientos que permitan ampliar la vida media de los componentes y disminuir el efecto medioambiental.

Los materiales cerámicos son muy buenos candidatos para las aplicaciones a altas temperaturas debido a su baja conductividad térmica, no en vano los transbordadores espaciales son protegidos térmicamente con azulejos cerámicos, sin embargo los efectos de la porosidad del material sobre la resistencia del mismo y sobre la capacidad de aislamiento térmico son antagónicos, de forma que mientras la disminución de la porosidad (aumento de la densidad) provoca un

incremento de la resistencia, la capacidad de carga y la resistencia ambiental al mismo tiempo produce una disminución de la resistencia al shock térmico y disminuye el aislamiento. Es por ello por lo que es frecuente encontrar materiales combinados: una capa porosa con buenas propiedades de aislamiento combinada con una delgada chaqueta de material más denso que provee resistencia.

La utilización de materiales cerámicos nanoestructurados puede paliar este problema consiguiendo mediante un único recubrimiento aunar una baja porosidad (alrededor del 1%), y por tanto altas prestaciones mecánicas, con una elevada resistencia térmica.

En la actualidad se están desarrollando nuevos materiales cerámicos nanoestructurados que aplicados en forma de recubrimientos sobre componentes de motores de aviación, tales como los alabes, permitirán incrementar la temperatura de operación de estos motores en más de 50°C, alargando simultáneamente el ciclo de vida de los mismos en alrededor de 10.000 h y alcanzando una resistencia al desgaste 3 veces superior a los recubrimientos convencionales.

La técnica más habitual para la deposición de los recubrimientos sobre los sustratos es la proyección térmica dentro de la cual se pueden distinguir ciertas variantes, como la proyección por plasma mediante la cual se proyectan los materiales de recubrimiento a través de una antorcha de plasma (gas ionizado y muy energético) que permite expulsar el material a elevada temperatura y velocidad, impactando en el sustrato y dotándolo de un recubrimiento con excelentes propiedades protectoras y resistentes al desgaste.

### REFERENCIAS

Nanomix: [www.nano.com](http://www.nano.com)

## Materiales cerámicos cristalinos transparentes

Existe actualmente una gran demanda de materiales avanzados que además de presentar unas excelentes propiedades mecánicas, como pueda ser una alta resistencia al impacto, posean una propiedad funcional como por ejemplo la transparencia en un determinado espectro de onda.

Existen sin embargo, pocos materiales que puedan combinar ambos aspectos. Así por ejemplo, el vidrio pese a ser un material transparente, está caracterizado por una fragilidad y una baja resistencia mecánica que le hace inservible de cara a su utilización en el sector aeroespacial o en lámparas de iluminación de alta potencia. Estos inconvenientes pueden ser solventados mediante la utilización de materiales con tamaño de grano y de poros homogéneos y muy inferiores a la longitud de onda de la radiación respectiva que minimicen la dispersión de luz. Esto implica la necesidad de desarrollar materiales cerámicos con una microestructura caracterizada por una distribución de poros inferior a 10nm y una alta densidad.

La alúmina presenta además de una buena resistencia mecánica, elevada dureza y resistencia al desgaste, sin embargo hasta el momento su utilización en aplicaciones ópticas se veía limitado por la imposibilidad de controlar el crecimiento del tamaño de grano y la homogeneidad de la microestructura durante el proceso de sinterizado.

Estos problemas han sido investigados en el marco del proyecto Europeo IP NANOKER, habiéndose logrado obtener materiales nanoestructurados de alúmina transparentes en los rango infrarrojo y visible, con una dureza extrema superior a 20GPa que pueden ser utilizados entre otras aplicaciones en pantallas de dispositivos electrónicos, relojes, blindajes y ventanas de radiación para la guía de satélites.



Alúmina Transparente.  
Fuente: IP NANOKER.

### REFERENCIAS

Proyecto Europeo IP Nanoker: [www.nanoker-society.org](http://www.nanoker-society.org)

## 06. INDUSTRIA TEXTIL

- Tejidos con superficie nanoestructurada repelentes a la suciedad y al agua
- Productos textiles antimicrobianos

## Tejidos con superficie nanoestructurada repelentes a la suciedad y al agua

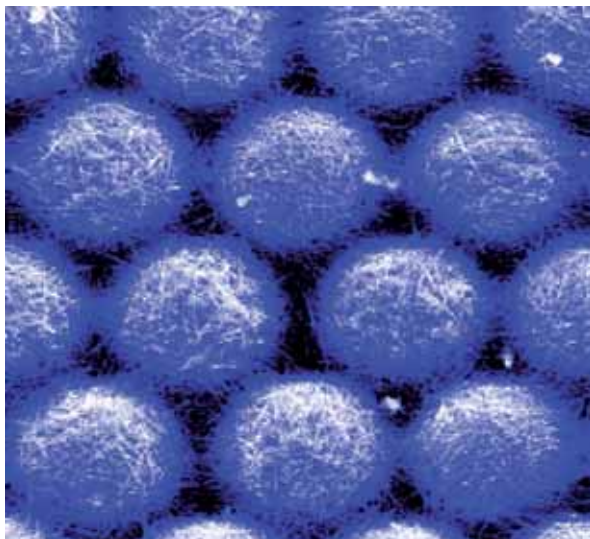


Figura 1. Superficie superhidrofóbica, resultante de la combinación de microesferas de poliestireno con nanotubos de carbono.

Los tejidos con superficie nanoestructurada artificialmente ofrecen grandes prestaciones en relación a los convencionales a la hora de mantenerse limpios y secos. Debido a su estructura estos tejidos repelen tanto a la suciedad como al agua, de manera que una vez expuestos a ellas son fácilmente limpiables sin sufrir apenas degradación.

Los tejidos con superficie nanoestructurada basan su funcionalidad en la observación e imitación de una especie vegetal de la naturaleza: el loto. Es bien conocido que las hojas de esta planta permanecen limpias, brillantes y secas, pese a encontrarse habitualmente en un entorno natural poco favorable a dicha circunstancia. Ello se debe a que la superficie de las hojas de loto está estructurada nanogranularmente; como consecuencia, por una cuestión de tensión superficial, cuando el agua o la suciedad

líquida caen sobre ella permanecen en forma de gotas sin extenderse ni adherirse como sucede, sin embargo, en superficies de estructura más suave, por lo que pueden ser retiradas fácilmente. La superficie de estos tejidos imita dicha estructura nanogranular del loto obteniendo consiguientemente sus mismas propiedades.

Esta propiedad proviene de la especial estructura de esta superficie, combinación de la estructura en la nano-escala y micro-escala. Recientemente se ha conseguido mimetizar esta superficie utilizando microesferas de poliestireno recubiertas de nanotubos (ver figura 1). Ninguno de los componentes por separado da propiedades superhidrofóbicas. Es solo cuando ambos componentes se combinan de una determinada manera cuando la superficie resulta adquirir esa especial propiedad. Las posibles combinaciones de estos dos componentes permiten además variar las propiedades hidrófobas de esta superficie.

Debido a la importancia que tiene la conservación de la limpieza en cualquier tipo de tejido, existen ya hoy en el mercado una gran variedad de productos que emplean estos tejidos nanoestructurados, desde prendas de vestir a todo tipo de complementos: pantalones, chaquetas, delantales, manteles, o paraguas de secado instantáneo son algunos ejemplos.



Figura 2: Superficie nanogranulada del tejido producido por Nanonuno® que induce la permanencia del agua en forma de gotas.

### REFERENCIAS

Research&Markets: [www.researchandmarkets.com/reports/357297/nanotechnologies\\_for\\_smart\\_and\\_responsive.pdf](http://www.researchandmarkets.com/reports/357297/nanotechnologies_for_smart_and_responsive.pdf)

Science Museum: [www.sciencemuseum.org.uk/antenna/nano/lifestyle/121.asp](http://www.sciencemuseum.org.uk/antenna/nano/lifestyle/121.asp)



## Productos textiles antimicrobianos

La plata ha sido históricamente utilizada para eliminar bacterias y evitar los efectos derivados de las mismas, ya sea la putrefacción de alimentos (conocido ya en la antigua Grecia), la infección de heridas o el olor proveniente de la sudoración.

El mecanismo de actuación antimicrobiano de la plata consiste en la generación de iones de plata sobre la superficie de plata cuando esta entra en contacto con agua, por ejemplo durante la transpiración. Posteriormente estos iones son transportados por las moléculas de agua hasta las bacterias donde quedan fijados como consecuencia del llamado efecto oligodinámico de la plata, produciendo su precipitación e inactivación.

Mediante la introducción de nanopartículas de plata en fibras ya sea sintéticas o naturales se consigue una potenciación de la actividad iónica gracias a la mayor cantidad de iones de plata que son liberados como consecuencia de la mayor área superficial expuesta. Como consecuencia se alcanza una mayor eficiencia que mediante el uso de partículas de plata convencionales, ya que permite aumentar extraordinariamente el número de iones de plata liberados reduciendo a su vez el peso de plata necesario en las fibras. El resultado es la obtención de rápidos efectos antimicrobianos o anti-olor que pueden ser utilizados en prendas de hospitales que requieran de una alta esterilización o para la prevención de olor procedente de la sudoración en ropa deportiva.

Un ejemplo de aplicación de nanopartículas de plata en ropa deportiva son los calcetines producidos por la empresa *AgActive*. Estos calcetines se caracterizan por contener billones de nanopartículas de plata con un tamaño medio de 25 nm que permiten mantener un mayor frescor en los pies durante mayor tiempo.

También basándose en este principio, la empresa *Nanohorizons* ha lanzado recientemente al mercado productos de lana con nanopartículas de plata que al requerir de menores cuidados que los tejidos de lana tradicionales no sólo aumentan la vida útil de dichos calcetines sino que al demandar una menor frecuencia de lavado proporcionan el consiguiente ahorro energético.



Fuente: AgActive.

### REFERENCIAS

Nanohorizons: [www.nanohorizons.com](http://www.nanohorizons.com)

AgActive: [www.agactive.co.uk](http://www.agactive.co.uk)



## 07. INDUSTRIA COSMÉTICA

- Cremas solares
- Lentes de contacto de colores

## Cremas solares



Crema solar transparente.  
Fuente: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

De acuerdo a los requisitos normalmente impuestos por la industria cosmética a sus productos para protección solar, elevada protección contra la luz ultravioleta y buena apariencia estética, principalmente, la aparición de pigmentos basados en nanopolvos o nanopartículas supone un interesante avance que está siendo ya explotado comercialmente. Estos compuestos presentan una elevada capacidad de absorción a la radiación ultravioleta y contienen materiales opacos que reflejan la luz, especialmente óxidos metálicos, lo que los hace ventajosos frente a las cremas tradicionales.

En los compuestos inorgánicos ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ...), los electrones no están ligados a átomos concretos sino que forman parte del conjunto del cristal, teniendo un enorme abanico de niveles de energía disponibles, favoreciéndose con ello la absorción de diferentes radiaciones. Existe sin embargo una longitud de onda característica para cada material por encima de la cual el material no puede absorber la luz sino que requiere una aportaación adicional de energía. Esta longitud de onda en el  $\text{TiO}_2$  y el  $\text{ZnO}$  permite absorber prácticamente la radiación procedente de todo el espectro de luz ultravioleta.

Los nuevos nanopolvos reflectantes usados actualmente permiten un espectro mayor de protección contra la luz ultravioleta, a la vez que son, desde el punto de vista estético, mucho más atractivos. Al contrario de lo que ocurre con las antiguas cremas solares, las cuales además de bloquear la luz ultravioleta dispersan la luz visible, dando a la crema un color blanquecino, los nanopolvos son transparentes debido a que el diámetro de las nanopartículas es menor que la longitud de onda de la luz visible. Usualmente, las partículas de  $\text{ZnO}$  y  $\text{TiO}_2$  tienen un tamaño superior a 200nm y dispersan todas las longitudes de onda del espectro visible (380-750nm) originando el color blanco.

Teniendo en cuenta las dimensiones del mercado de la cosmética, el desarrollo del uso de nanopolvos en este sector aparece como particularmente interesante. Así L'Oréal, empresa que dedica unos \$600 millones de dólares de sus \$17000 millones de ingresos anuales a la investigación, es el líder actual del sector nanotecnológico en cuanto a patentes. Pero otros rivales, como Procter&Gamble, Estée Lauder, Christian Dior y Shiseido también incorporan nanopartículas en su producto.

Por último, es importante señalar que existe en la actualidad una gran controversia en cuanto a la toxicidad de este tipo de productos, prohibiendo incluso algunos países la fabricación de los mismos en su territorio a la espera de informes toxicológicos fiables. Este factor determinará, por tanto, el desarrollo comercial de estas cremas.

### REFERENCIAS

Madison's Nanocafés: [www.nanocafes.org/nanoproducts\\_cosmetics](http://www.nanocafes.org/nanoproducts_cosmetics)

## Lentes de contacto de colores



Fuente: CIBA Vision.

Las lentes de contacto de colores se han hecho populares en los últimos años no ya solo entre aquellas personas que temporalmente desean hacer más deslumbrantes sus ojos, sino también para mejorar la apariencia de desfiguraciones o para mejorar la capacidad de visión de deportistas.

Las primeras lentes de contacto de color se comercializaron en los años 70, y estaban basadas en la aplicación de pequeñas cantidades de pigmentos en las lentes de forma que dicha lente podía ser

vista cuando era retirada del ojo. Sin embargo la poca cantidad de pigmento que se añadía a las lentes con el fin de no dificultar la visión hacia que estas no tuviesen una coloración suficiente como para modificar sustancialmente el aspecto del ojo. El nacimiento en los años 80 de las lentes de contacto que alteran el iris supuso un salto tecnológico cualitativo en la historia de las lentes de contacto abriendo el camino a los sofisticados diseños que se realizan actualmente y que permiten realzar de forma natural el color del iris del ojo gracias a la absorción de las adecuadas frecuencias de luz.

La empresa CIBA Vision comercializa lentes de contacto formadas por nanopartículas de pigmentos inorgánicos como dióxido de titanio, óxido de hierro y sulfato de bario. El uso de estas nanopartículas es imprescindible para reflejar el color deseado sin con ello afectar a las propiedades físicas de la lente. La gama de productos que presentan incluye una lente de contacto con 3 zonas diferenciadas: un anillo externo oscuro, una banda interior de color y una pequeña zona dorada próxima a la pupila. Otra empresa Bausch & Lomb, ha creado láminas finas que aplicadas sobre las lentes de contacto permiten el mismo efecto de cambio de color del iris. En este caso las lentes son elaboradas mediante el apilamiento de láminas dieléctricas (principalmente de óxidos metálicos, polímeros, sulfuros metálicos y haluros metálicos) de espesor nano que alternan índices de refracción altos y bajos. La aplicación de las láminas se realiza mediante técnicas de deposición química en fase vapor o deposición asistida por haces de iones, siendo fundamental realizar un control preciso sobre el grosor nanométrico de las mismas con el fin de asegurar un color homogéneo.

### REFERENCIAS

CIBA Vision: [www.cibavision.com](http://www.cibavision.com)

Bausch & Lomb: [www.bausch.com](http://www.bausch.com)



## 08. INDUSTRIA DEL OCIO

- Nanotecnología en productos deportivos

## Nanotecnología en productos deportivos

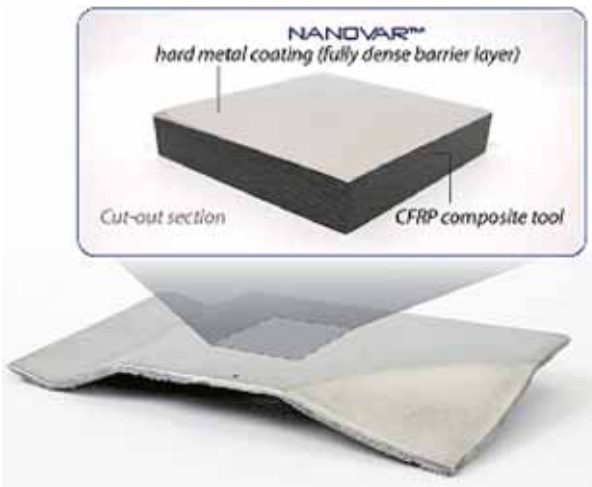
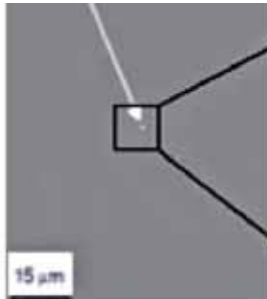
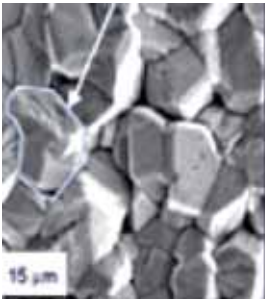


A partir de ahora la nanotecnología empezará a tener un impacto muy significativo en muchos deportes porque a través de avances nanotecnológicos es posible fabricar productos deportivos más fuertes y más ligeros que nunca. Se aplican nanometales a los palos de golf, para crear palos más fuertes pero mucho más ligeros. Los recubrimientos realizados con nanometales tienen una estructura cristalina hasta 1.000 veces más fina que los metales tradicionales y son cuatro veces más resistentes. Así, una cabeza de palo recubierta con un nanometal con un tamaño de cristal de unos 10 nm, que es más ligero, podría permitir pegar la pelota con más fuerza y precisión. Por lo general estos materiales consisten en un composite de fibra de carbono sobre el que se realiza un recubrimiento con una capa fina de metal de Cr Fe que le confiere una gran resistencia.

También las pelotas de golf se han beneficiado de esta extrema resistencia de los metales nanoestructurados.

Pero la aplicación de la nanotecnología en los procesos de fabricación resulta todavía muy costosa. Así, un *driver* Pd5 con nanotecnología incorporada cuesta unos \$300.

*NanoDynamics* fabrica y vende pelotas de golf capaces de reducir de forma dramática los giros y movimientos a los que puedan estar sujetas las pelotas durante un partido gracias a la alta estabilidad de los materiales nanoestructurados que componen la pelota.

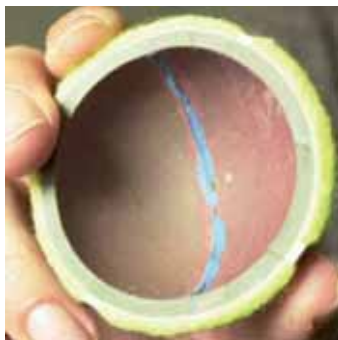
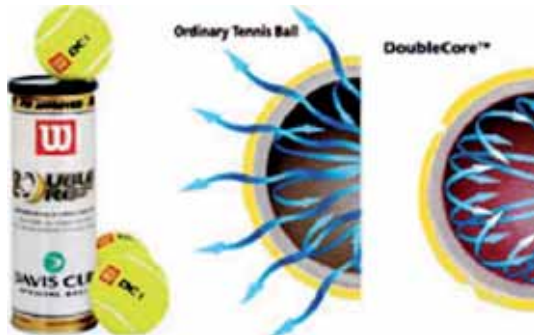


Otro ejemplo lo constituyen las pelotas de tenis. En el año 2002 la empresa Wilson ha utilizado la nanotecnología para fabricar pelotas de tenis que tardan mucho más en desinflarse. Estas pelotas denominadas de "Double Core" son en estos momentos las más vendidas en Europa.

En su interior existe un capa ultrafina de un material composite que lleva incorporado partículas de nanoarcilla y fabricado por la empresa *InMat Inc.* de Hillsborough, N.J., con el fin de que las pelotas retengan mejor el aire, tengan un rebote más consistente y mayor durabilidad.

Los ingenieros del Grupo de Desarrollo Tecnológico de Fraunhofer (TEG), en Alemania, crearon una



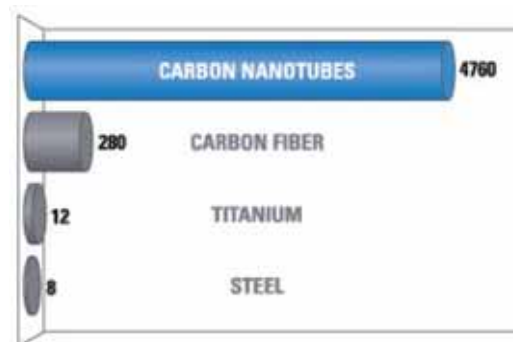


## ESTRUC

raqueta con inserciones de nanotubos de carbono que ofrece cualidades excepcionales de resistencia a los golpes y de absorción de los choques. Es importante resaltar que aunque no es difícil fabricar nanotubos de carbono como materia prima, no existen casi productos terminados porque este material presenta un grave inconveniente: los nanotubos de carbono no se unen fácilmente con otros materiales formando interfases estables, y se niegan obstinadamente a dejarse incorporar en la mayoría de los procesos de producción. Hasta hace unas décadas, las raquetas de tenis estaban hechas de madera. En los

años ochenta las mejores raquetas se fabricaban con grafito. Conforme los materiales se hacían más firmes y más ligeros, en el juego empezaba a predominar la velocidad y los saques potentes. Hoy en día, la empresa Babolat utiliza los nanotubos fabricados por Nanoledge en forma de nanotubos embebidos en resinas para fabricar nanocompuestos de fibra de carbono reforzados con nanotubos.

Esta misma tecnología se utiliza en el el diseño de nuevos marcos de bicicleta y manillares más ligeros y resistentes. Así, el Equipo Phonak utiliza una bicicleta con una estructura que incorpora nanotubos de carbono. El fabricante suizo, BMC fabrica su "Pro Machine", que pesa menos de un kilo y goza de unos niveles excepcionales de rigidez y resistencia. Para crear la estructura, BMC, aplicó una tecnología de fabricación de composites desarrollada por la empresa norteamericana *Easton*. Su sistema de resina reforzada con nanotubos penetra en los huecos que deja el composite de C-C reforzando el conjunto del material. Easton colabora con *Zyvex*, empresa especializada en nanotecnología que le proporciona los nanotubos para el sistema. *Zyvex* aplica un tratamiento especial de funcionalización de la superficie del nanotubo que hace que se dispersen mucho mejor en otras matrices.



### REFERENCIAS

[www.integran.com/news/USA%20Today%20-%20PowerMetal%208-17-05%20Article.jpg](http://www.integran.com/news/USA%20Today%20-%20PowerMetal%208-17-05%20Article.jpg)

[www.portalcienza.net/nanotecnologia/nanodeportes.html](http://www.portalcienza.net/nanotecnologia/nanodeportes.html)



## 09. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

- Modificación de pinturas y barnices con nanopartículas
- Aditivos para la optimización del rendimiento cemento-hormigón
- Nanocompuestos poliméricos de arcilla para el reciclaje de PET
- Pegamentos rápidos y activados a distancia basados en nanopartículas de ferrita
- Vidrios orgánicos como alternativa al vidrio común (I+D)

## Modificación de pinturas y barnices con nanopartículas

La aplicación de nanopartículas como aditivos en recubrimientos orgánicos es un campo muy prometedor con un gran potencial de desarrollo tecnológico. Estos aditivos en pequeñas proporciones mejoran de una manera significativa las propiedades finales de las pinturas y barnices.

Estudios de laboratorio han demostrado que la adición de partículas de ZnO mejora sustancialmente el comportamiento frente a la radiación ultravioleta del recubrimiento, mientras que la adición de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y sílice ( $\text{SiO}_2$ ) mejora el comportamiento frente al rayado.

Es sabido desde hace tiempo que la adición de partículas duras mejora el comportamiento frente a la abrasión en un film de recubrimiento. Sin embargo, la adición de partículas con un tamaño de varias micras en diámetro, produce una disminución de otras propiedades importantes del recubrimiento como son la transparencia, el brillo y la flexibilidad. Con la utilización de nanopartículas, que suelen estar funcionalizadas con polímeros del tipo polisiloxano que actúan como ligante con la matriz orgánica, se consiguen evitar los efectos indeseables producidos por las partículas de mayor tamaño sin que ello afecte a los efectos beneficiosos.

Esta diferencia de comportamiento se justifica precisamente por el pequeño tamaño de éstas partículas, ya que se ha observado que los materiales cambian significativamente sus propiedades cuando su tamaño es menor de 100nm aproximadamente.

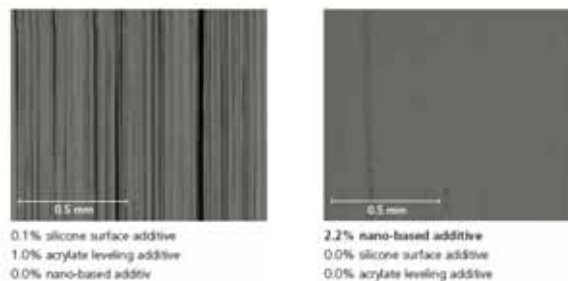


Fig. Ensayo de abrasión en seco (Byk-Chemie GmbH).

### REFERENCIAS

BYK: [www.byk-chemie.com](http://www.byk-chemie.com)

Buhler: [www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)

DGTec: [www.dgtec.fr](http://www.dgtec.fr)

## Aditivos para la optimización del rendimiento cemento-hormigón

Los aditivos de hormigones basados en policarboxilatos y sintetizados a partir de criterios nanotecnológicos han permitido desarrollar una nueva generación de aditivos superfluidificantes, sobre los que se pueden modificar adaptándose a cada tipo de cemento, en función de su composición y prestaciones esperadas del hormigón.

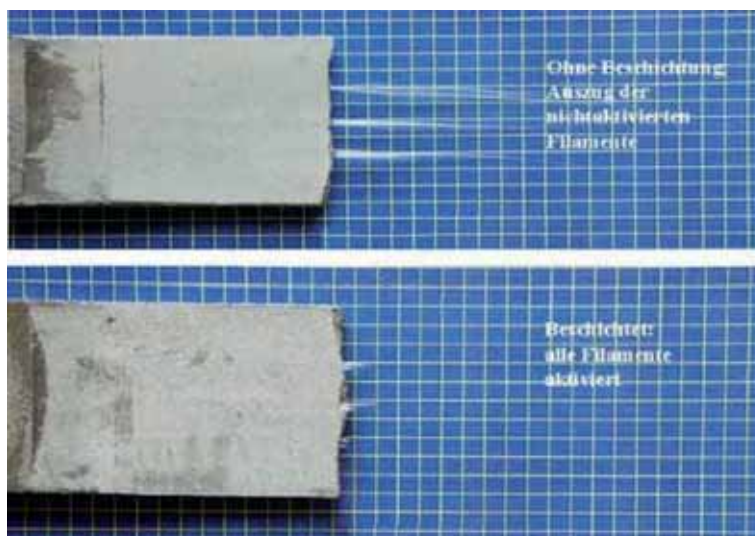
Los aditivos convencionales como plastificantes, polifuncionales o superfluidificantes convencionales, aportan de forma independiente distintas propiedades del hormigón (reducción agua/consistencia, mantenimiento de consistencia, retraso de fraguado, resistencias iniciales...) debiendo combinar, no siempre con éxito, diferentes aditivos para conseguir las distintas propiedades.

Los aditivos basados en policarboxilatos tienen la propiedad de configuración de las distintas partes funcionales de la molécula a cada una de las funciones que se persiguen en el hormigón.

Los policarboxilatos disponen de una estructura molecular soportada en una cadena principal, que permite estructurar sobre ella todo el resto de funcionalidades, grupos funcionales libres que permiten la interacción con el cemento, cadenas laterales, no necesariamente hidrocarbonadas, responsable de funcionalidades dispersantes, pudiendo adaptarse mediante nanotecnología, adaptar estas cadenas a las funcionalidades específicas deseadas.

La terminación de la cadena lateral determinará el mecanismo de acercamiento de la molécula de agua al cemento, por lo que permite regular el proceso de hidratación y por tanto aportará las funcionalidades deseadas en cada momento.

En productos prefabricados permite introducir cementos más fino o con adiciones más elevadas manteniendo las prestaciones deseadas.



Aditivos de hormigón. El empleo de este tipo de aditivos permite la introducción de cementos de mayor contenido de adición y menor finura sin afectar a las propiedades finales del producto y sin alterar su ritmo de producción. Estos aditivos permiten uso de cementos bajos en clinker.

### REFERENCIAS

Cemento y Hormigón: Septiembre 2006. nº 892.

Futura Sciences: [www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/physique-1/d/des-polymeres-nanostructures-ameliorant-la-performance-du-beton-arme\\_9991/](http://www.futura-sciences.com/fr/sinformer/actualites/news/t/physique-1/d/des-polymeres-nanostructures-ameliorant-la-performance-du-beton-arme_9991/)

## Nanocompuestos poliméricos de arcilla para el reciclaje de PET



Los materiales obtenidos de la unión entre la cadena polimérica y la capa silícea muestran excelentes propiedades mecánicas comparadas con el polímero de partida: mejores propiedades mecánicas (un 40% de incremento en la resistencia a la tensión), resistencia térmica y química.

El problema de reciclar PET es que, tras un primer procesado, pierde viscosidad y por lo que cuando se fabrica con material reciclado, éste no tiene la suficiente manejabilidad para pasarlo del dado del extrusor al dado o accesorio formador. La pérdida de viscosidad está íntimamente relacionada con la degradación molecular de las cadenas del polímero original, por lo que es necesario recuperar esa viscosidad para poder reprocesarlo. Al combinar el PET con nanopartículas y aditivos se logra recuperar la viscosidad.

De forma general en estos compuestos se utilizan arcillas de tipo esmectita o montmorillonita en láminas como relleno.

Originalmente, las arcillas vienen en pequeños gránulos llamados tactoides; éstos son como un pequeño libro que se conforma de varias hojas, cada hoja tiene el espesor de un nanómetro. Lo ideal en un nanocompuesto polimérico es poder separar cada una de esas hojas, distribuirlas y dispersarlas a través de toda la matriz polimérica. Entre cada hoja se encuentran iones positivos que sirven de adhesivo entre ellas y, dependiendo de la cantidad de iones que se tengan, así es la fuerza con la que estarán unidas. Es importante que esta unión no sea muy fuerte porque de lo contrario no se podrán separar y quizá no se lleguen a tener láminas en la escala nanométrica.

Basándose en estas ideas, científicos de la UNAM de México desarrollaron un procedimiento para reciclar los envases de plástico de refrescos y de medicamentos, a fin de elaborar láminas, tuberías y perfiles para hacer cajas con este material una vez combinado con arcilla. Con el nanocompuesto de PET obtenido se pueden confeccionar varas para siembra, palos de escoba, láminas translúcidas, parecidas a las de poliéster, canales para irrigación, tuberías para drenaje y muchos otros productos.

La ventaja de este procedimiento frente a las tecnologías existentes hasta la fecha para el reciclaje del PET estriba en su bajo coste ya que no requieren partir de materiales sumamente limpios.

### REFERENCIAS

Boletín UNAM: [www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2007\\_085.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2007_085.html)

## Pegamentos rápidos y activados a distancia basados en nanopartículas de ferrita

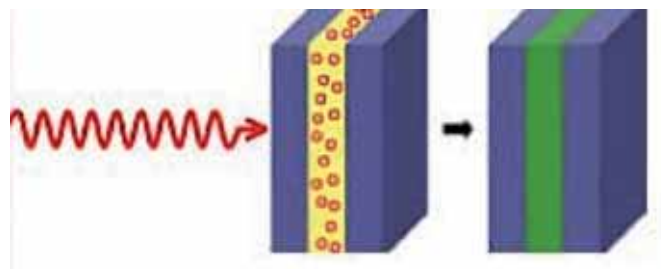
El empleo de nanopartículas de ferrita (óxido de hierro) dispersas en materiales adhesivos activados térmicamente permite iniciar a distancia el proceso de secado mediante la aplicación de un campo electromagnético en el rango de las microondas-radiofrecuencia (1-10GHz). Además, al culminar el proceso de secado del adhesivo en escalas de tiempo más reducidas que los procesos convencionales, se reduce el calentamiento indeseado de zonas adyacentes.

Las partículas de ferrita de tamaño nanométrico (50nm), presentan un comportamiento superparamagnético, es decir tienen una orientación indefinida de la dirección de su imanación y son conocidas como SPIO's (*superparamagnetic iron oxides*). Las nanopartículas de SPIOs tienen la particularidad de que pueden absorber la radiación electromagnética, presentando una frecuencia óptima de absorción, conocida como frecuencia de resonancia, en el rango de los GHz y que es ajustable en función del tamaño de la partícula y de su composición (que puede ser modificada con distintos elementos como Mn, Cu, Mg, Ca...). Aprovechando esta capacidad para absorber la energía contenida en la radiación electromagnética, se pueden dispersar este tipo de nanopartículas, en concentraciones de un 10%-20%, en adhesivos orgánicos activables térmicamente, de modo que se pueda calentar localmente el adhesivo mediante su exposición a señales electromagnéticas correspondientes a la frecuencia de absorción de las nanopartículas. Con ello se consigue acelerar notablemente el proceso de secado del adhesivo. A modo de ejemplo, un adhesivo que requeriría una media hora de secado mediante calentamiento convencional en un horno a 120 °C para alcanzar una resistencia a la tracción de 4MPa, necesitaría únicamente 10 minutos de exposición a la señal electromagnética para alcanzar niveles de resistencia similares.

Las aplicaciones de este tipo de tecnología serían todas aquellas en las que se desee pegar dos piezas reduciendo los calentamientos indeseados de las zonas adyacentes, calentando localmente el pegamento. También cuando se requiera disminuir el tiempo de secado de un adhesivo, con lo que se reducen notablemente los tiempos de proceso necesarios para completar la soldadura de piezas.

La empresa alemana *Sustech* ha desarrollado recientemente adhesivos basados en esta tecnología y ofrece soluciones comerciales, así como nanopartículas de ferrita apropiadas para incorporarse a adhesivos que se activen térmicamente.

Las nanopartículas absorben la radiación, calientan la matriz y secan el pegamento.



(Imagen: SusTech GmbH & Co. KG Darmstadt).

### REFERENCIAS

SusTech GmbH & Co. KG Darmstadt: [www.sustech.de/engl/index.htm](http://www.sustech.de/engl/index.htm)

## Vidrios orgánicos como alternativa al vidrio común

Los vidrios comunes pertenecen al grupo de materiales amorfos y combinan el desorden estructural de los líquidos con las propiedades mecánicas de los sólidos. Se obtienen por fusión, a unos  $1.500^{\circ}\text{C}$ , de arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato sódico ( $\text{NaCO}_3$ ) y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) y posterior enfriamiento. Dependiendo de las proporciones de los elementos anteriores, del añadido de otros nuevos componentes, como el  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , etc. y del proceso de enfriamiento y conformado, se obtienen vidrios con diferentes propiedades mecánicas y ópticas: dureza, fragilidad y transparencia. De todas formas, el reto actual en la investigación del vidrio es mejorar su estabilidad termodinámica y cinética así como incrementar su dureza y mejorar algunas propiedades ópticas específicas.

Las tecnologías actuales para la fabricación industrial de vidrios conllevan siempre un proceso de enfriamiento del material fundido. Normalmente, el vidrio se enfría en todo su volumen y a la vez, de forma que sus moléculas internas no pueden moverse libremente ni tampoco el tiempo necesario para evolucionar hacia estados de baja energía y alcanzar así una cierta ordenación; como consecuencia, resulta una estructura desordenada. El conseguir una cierta ordenación atómica y molecular de los componentes vítreos exigiría un proceso de enfriamiento excesivamente largo (económicamente inviable), con el objeto de llegar a los estados de baja energía que requiere una estructura ordenada. En otras palabras, como los vidrios son termodinámicamente muy inestables, los estados de baja energía, necesarios para conseguir el ordenamiento atómico y molecular, precisarían de un tiempo de enfriamiento tan prolongado que resultaría prohibitivo desde el punto de vista industrial.

Recientemente, estudios realizados en la Universidad de Wisconsin, por Stephen F. Swallen y sus colaboradores, parecen demostrar la posibilidad de obtener vidrios orgánicos con muy buena estabilidad termodinámica y cinética.



### REFERENCIAS

Science Express: 7 de Diciembre de 2006



## 10. INDUSTRIA DE LA ENERGÍA

- Baterías de ión-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio
- Pilas de combustible
- Células solares flexibles
- Recubrimiento antirreflejante ideal (I+D)

## Baterías de ion-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio



Las baterías de ion-litio con ánodo nanoestructurado y basado en nanopartículas de titanato de litio ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) ofrecen unas mejores prestaciones en su funcionamiento respecto a las baterías de ion-litio con ánodo de grafito que comenzaron a distribuirse comercialmente hace una década. En concreto, las primeras pueden permitir trabajar en condiciones de alta potencia, son de mucha mayor larga duración y sus tiempos de recarga son sustancialmente más cortos y, además, son más seguras, al contar con una gran estabilidad térmica.

Las baterías recargables de ion-litio con ánodo de grafito representaron un importante avance respecto a las de níquel-cadmio por ser más ligeras, menos contaminantes, tener una mayor densidad

de energía y no presentar efectos de memoria en los procesos de carga-descarga; todo ello constituyó una importante mejora de prestaciones de cara a su aplicación en teléfonos móviles y ordenadores portátiles. No obstante, de cara a su aplicación en otros sectores o la mejora en los que ya se vienen aplicando, aún siguen presentando algunos inconvenientes; entre los que caben destacar los problemas de seguridad cuando la temperatura sube por encima de  $100^\circ\text{C}$ , la limitación en la vida de la batería, el bajo ritmo de la carga y la limitación en la potencia.

A este respecto, las baterías de ion-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio presentan importantes ventajas ya que:

- el tamaño de estas nanopartículas es del orden de 100 veces menor que las de grafito, por lo que la distancia que los iones de litio tienen que recorrer para ser extraídas en el proceso de descarga son mucho menores y, por tanto, pueden proporcionar una mayor potencia
- las propiedades electroquímicas de las nanopartículas de titanato de litio son tales que permiten la introducción a altos ritmos de iones litio en su interior, lo que disminuye considerablemente el tiempo de recarga de la batería
- los ánodos basados en estas nanopartículas no presentan efectos de tensiones ante la extracción-introducción de los iones litio en ellas, ya que los iones tienen el mismo tamaño que los huecos que ocupan en las nanopartículas, por lo que los efectos de fatiga del material se reducen drásticamente alargando la vida de la batería
- el titanato de litio no reacciona químicamente con el electrolito de la batería cuando la temperatura se eleva, con lo que mejora la seguridad a la hora de ser aplicadas

Este tipo de batería no son sólo de aplicación en los sectores más convencionales actualmente de la telefonía móvil y los ordenadores portátiles, sino también en otros sectores como la industria del automóvil (incluyendo la posibilidad de vehículos eléctricos) o el mercado de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).

### REFERENCIAS

Panasonic: [www.panasonic.com/industrial/battery/oem/chem/lithion/index.html](http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/chem/lithion/index.html)

CNRS (Francia): <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=15263964>

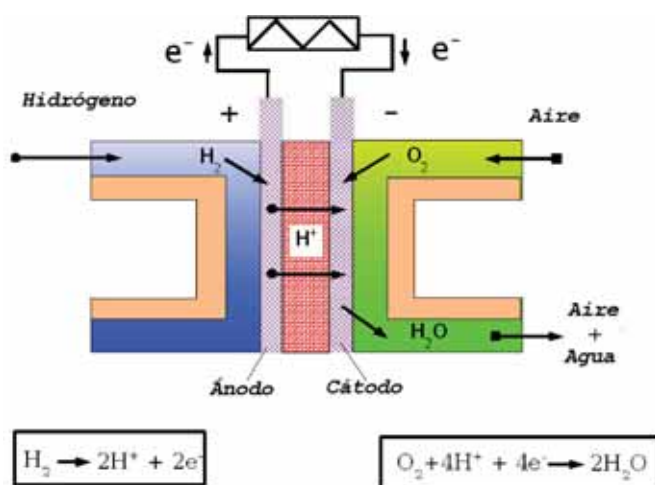
## Pilas de combustible

Una pila o célula de combustible es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería con la excepción de las siguientes diferencias:

- Está pensada para el reabastecimiento continuo de los reactivos
- Los electrodos son catalíticos y relativamente estables

A diferencia de los motores, las células de combustible transforman directamente los combustibles en electricidad sin necesidad de combustión, evitando de esta forma el paso intermedio de transformación de la energía cinética en electricidad y consiguiendo con ello un mayor rendimiento. La variedad de combustibles utilizados va desde gases como hidrógeno o gas natural a líquidos como el metanol o etanol.

En el ejemplo típico de célula de combustible de membrana polimérica (PEMFC), una membrana conductora de protones (electrolito) separa el ánodo del cátodo en el lado del primero, el hidrógeno esparcido se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a viajar por un circuito externo produciendo energía. En el catalizador del cátodo las moléculas de oxígeno reaccionan con los protones y electrones produciendo agua.



Fuente: [weblogs.madrimasd.org](http://weblogs.madrimasd.org).

Existen varios tipos de pilas de combustible clasificadas según el tipo de electrolito (membrana de polietileno, solución alcalina, membrana polimérica, cerámica, óxido cerámico etc.). Cada tipo opera en un marco de temperaturas determinado, lo que determina su elección. Las pilas de combustible más prometedoras de cara a su aplicación industrial son las de hidrógeno y las directas de metanol. Las primeras están siendo ya aplicadas en la industria automovilística como sustitutivas de los motores de combustión y las segundas alimentarán dispositivos electrónicos portátiles.

El principal reto de las pilas de combustible es la reducción del platino del catalizador o su sustitución por otros metales. El platino es usado tanto en el ánodo, para la disociación del hidrógeno, como en el cátodo, para la reacción de reducción. Sin embargo, dada la relativa lentitud de las reacciones que se producen a nivel del cátodo, éste es muy dependiente de la carga de Pt en la capa que actúa de catalizador y resulta determinante a la hora de limitar la eficiencia de la pila. El uso de nanometales permite aumentar la rapidez de las reacciones, debido a la gran área específica que caracteriza a los nanomateriales.

El Mercado global de pilas de combustible crecerá, de acuerdo a *BASF Future Business*, de 1 billón de Euros en 2010 hasta 21,5 billones en 2020. En 2020 se espera que existan en Europa entono a 9 millones de vehículos propulsados por hidrógeno.

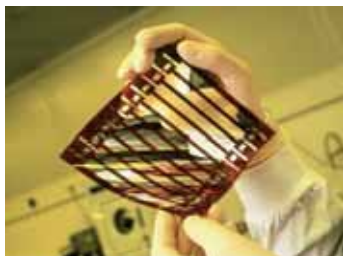
### REFERENCIAS

Fundación OPTI: [www.ptehpc.org/Docs/Otros/H2-Pilas\\_Fundacion\\_OPTI\\_060523.pdf](http://www.ptehpc.org/Docs/Otros/H2-Pilas_Fundacion_OPTI_060523.pdf)

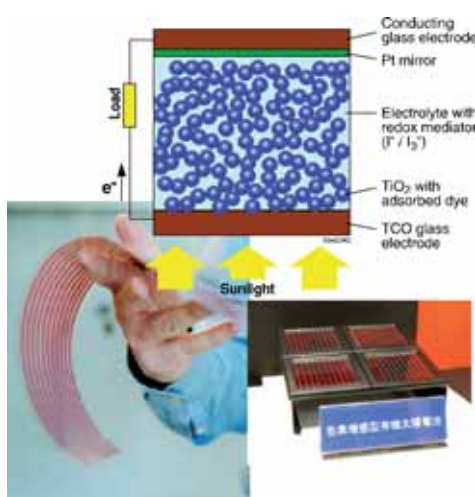
QuantumSphere: [www.qsinano.com/](http://www.qsinano.com/)

Fuel Cells Today: [www.fuelcelltoday.com/](http://www.fuelcelltoday.com/)

## Células solares flexibles



La actual tendencia en la tecnología de células solares busca bajos costes de fabricación y variedad en su localización y utilización. Por ejemplo, se buscan células solares sensibles a ciertos rangos de frecuencias. Captar el mayor ancho de banda de la emisión de la radiación solar permite aumentar su eficiencia. Si la célula fotovoltaica es sensible al infrarrojo, la conversión de radiación en electricidad no solo se produciría en presencia del sol sino que también podría provenir de cualquier cuerpo caliente, ya fuese, por ejemplo, un motor de coche o el mismo cuerpo humano. Por ejemplo, se podría idear una vestimenta que consistiese en un conjunto de células fotovoltaicas que convirtiesen el calor desprendido por el cuerpo para alimentar pequeños instrumentos de uso individual, como móviles u ordenadores personales. O que esa misma vestimenta recogiese también la radiación solar. Se podría revestir el entorno del motor de un automóvil con este tipo de células fotovoltaicas para transformar el calor desprendido durante el funcionamiento del motor en electricidad.



Un método alternativo es la utilización de composites basados en puntos cuánticos (*quantum dots*) dentro de una matriz polimérica conductora de electricidad. El espectro de absorción de radiación de este composite vendría determinado por el polímero y el punto cuántico. El espectro de absorción del polímero está definido por su estructura química. El estado actual de la química orgánica permite la fabricación de virtualmente cualquier tipo de polímero conductor o semiconductor, de manera que las propiedades electrónicas de estos polímeros puedan ajustarse a las propiedades electrónicas de los puntos cuánticos. Además, los estados electrónicos de los puntos cuánticos pueden ser cambiados variando sus dimensiones. El proceso de separación de carga del fenómeno fotovoltaico se produciría en las intercaras de los puntos cuánticos con el polímero. Por ejemplo, el hueco del par electrón-hueco creado en la excitación del punto cuántico por la llegada de un fotón de una determinada energía pasaría al polímero. En este caso, el transporte de los huecos al ánodo sería a través del polímero, y los puntos cuánticos serían los encargados de llevar los electrones al cátodo.

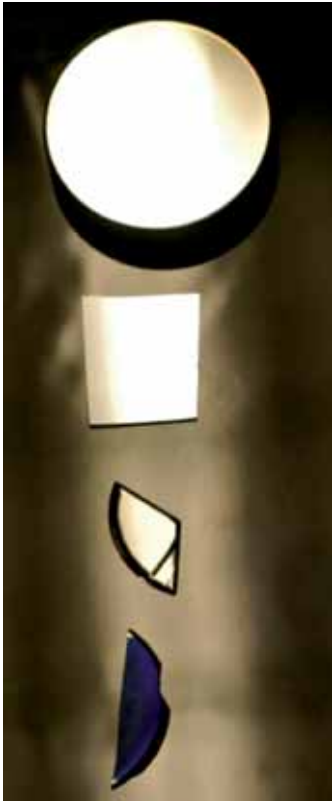
Este tipo de estructura permitiría células solares mecánicamente flexibles. Más aún, podrían incluso aplicarse con un spray. Esto permitiría convertir prácticamente cualquier superficie expuesta a radiación en soporte de una célula fotovoltaica. Por ejemplo, cualquier ventana podría servir para producir electricidad a partir de la radiación solar y la radiación proveniente de la calefacción. Existen ya empresas anunciando la puesta en el mercado de este tipo de tecnología en breve. Sin embargo existe aún margen para mejorar este tipo de composites, dado que actualmente las eficiencias son del orden del 1%, 20 veces menos que las rígidas células solares de Silicio. El tipo de estructuras que se vienen investigando son muy variadas. Además de la combinación de puntos cuánticos con polímeros semiconductores, existen prototipos en los que se combinan polímeros o moléculas orgánicas semiconductoras donoras yceptoras, o el recubrimiento de los puntos cuánticos, hechos de TiO o también de ZnO, con moléculas colorantes que se ocupan de absorber y transportar la luz a estos puntos cuánticos, aumentando la eficiencia de las células solares.

### REFERENCIAS

E. H. Sargent. *Advanced Materials*. 17 (2005) 515

"Organic Based Photovoltaics". *Bulletin Materials Research Society*. Vol. 30, nº 1 (2005)

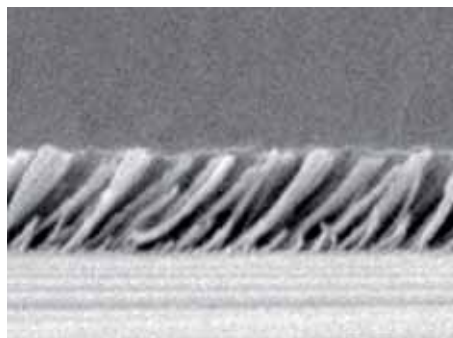
## Recubrimiento antirreflectante “ideal”



Un grupo de investigadores del Instituto Politécnico de Rensselaer han logrado producir el primer recubrimiento óptico que virtualmente no refleja la luz. La clave del descubrimiento es haber logrado un material que tiene un índice de refracción prácticamente igual al del aire, por lo tanto la radiación no notaría diferencias apreciables en su propagación al pasar de un medio a otro, y por lo tanto estaría exenta de reflejarse parcialmente como es el caso usual en las intercaras aire/vidrio. El nuevo material tiene un valor de índice de refracción de 1.05, frente al correspondiente al vidrio común: 1.45. Una muestra gráfica del comportamiento de dicho recubrimiento se puede ver en la imagen que acompaña, en donde, de arriba abajo, se muestran las reflexiones de una superficie de aluminio, silicio y nitruro de silicio. La imagen inferior corresponde a una superficie de nitruro de silicio recubierta con el nuevo depósito antirreflectante. Dicho depósito está constituido por una capa de sílice que presenta una microestructura columnar inclinada  $45^\circ$  como se muestra en la imagen, correspondiente a una sección transversal del recubrimiento observada mediante microscopía electrónica. Para fabricar dicha microestructura se recurre a métodos de fabricación de láminas delgadas mediante evaporación a incidencia oblicua, que son procedimientos fácilmente industrializables.

Este tipo de recubrimientos posibilita reducir apreciablemente e incluso eliminar las reflexiones en todo el intervalo del espectro visible e independientemente del ángulo de incidencia de la luz, aspectos que no cumplen los sistemas antirreflectantes usuales basados en procesos interferenciales en multicapas ópticas, ya que son selectivos tanto a la longitud de onda como al ángulo de incidencia de la luz.

Este tipo de recubrimientos tienen aplicación en cualquier dispositivo en el que la luz entre o salga de algún material. En particular en la fabricación de células solares más eficientes, al aumentar la cantidad de luz que incide sobre el material semiconductor de la célula, y en todo el espectro de emisión solar; también para aumentar el brillo producido por los LED actuales y para eliminar pérdidas en interconexiones ópticas en circuitos fotónicos e incluso, y por paradójico que parezca, para desarrollar espejos de muy elevada reflectividad. Por otro lado la técnica de evaporación oblicua es un método que puede fácilmente adaptarse a procesos industriales y los recubrimientos se pueden realizar sobre cualquier tipo de material.



### REFERENCIAS

Rensselaer Institute: <http://news.rpi.edu>



# 11. INDUSTRIA METAL-MECÁNICA Y DE BIENES DE EQUIPO

- Tratamientos superficiales de piezas metálicas sometidas a desgaste
- Materiales antifricción
- Materiales con alta dureza para herramientas de corte
- Nanofiltración

## Tratamientos de superficies de piezas metálicas sometidas a desgaste



Las piezas metálicas sometidas a fricción, como herramientas de corte, fresado, conformado, rodamientos o engranajes, entre otras, sufren continuos procesos de desgaste y corrosión que limitan su vida útil. El empleo de tratamientos para proteger las superficies expuestas a desgaste constituye una alternativa apropiada para mejorar el rendimiento y aumentar la duración de estas piezas. Entre los tratamientos de superficies que se pueden utilizar figuran el bombardeo con haces de iones y la preparación de recubrimientos mediante láminas delgadas o multicapas.

En el caso de los tratamientos por haces de iones, la pieza a tratar es introducida en una cámara de alto vacío donde es bombardeada con iones. La energía, el flujo y el tipo de ion se seleccionan adecuadamente para modificar la composición, estructura y morfología de las capas más superficiales de la pieza. De este modo, se puede aumentar la dureza de la superficie y mejorar la resistencia al desgaste y, en algunos casos, a la corrosión. Entre las ventajas de este tipo de técnica figura el hecho de que el tratamiento de la pieza se lleva a cabo sin que la misma sufra calentamientos importantes, normalmente inferiores a 150 °C, e incluso es posible efectuarlo a temperatura ambiente controlando las dosis de implantación.

El empleo de recubrimientos consiste en depositar sobre la superficie a proteger una fina capa de material de elevada dureza y/o bajo coeficiente de fricción que aumente la resistencia al desgaste de la pieza. Al reducir el coeficiente de fricción, las temperaturas de trabajo se reducen y con ello se limitan los procesos de oxidación y corrosión, especialmente en procesos de mecanizado de alta velocidad. Los materiales típicamente empleados son carburos y nitruros de metales de transición, como TiN, TiCN, CrN, ZrN, y sus aleaciones con aluminio, AlTiN, AlCrN, y se pueden combinar en multicapas cuya periodicidad sea del orden de decenas de nanómetros y con grosores totales del orden de las micras. Además, los recubrimientos pueden mejorar sus propiedades mecánicas si se preparan mezclas de fases de cristales de tamaño nanométrico, por ejemplo TiN+a-SiN. También es posible preparar capas funcionalizadas, cuya composición varía gradualmente en profundidad (capas gradiente), de manera que se pueda optimizar tanto el comportamiento mecánico de la superficie, por ejemplo con una lámina de TiN, como la adherencia del recubrimiento a la pieza metálica, por ejemplo con una capa de WC, utilizando una lámina intermedia de transición de TiC.

Entre las aplicaciones típicas, figuran los tratamientos de superficies de cuchillas de corte y mecanizado, engranajes y rodamientos, matrices para conformado de chapa, o moldes de inyección de plástico. Otras aplicaciones consisten en la funcionalización superficial de prótesis de cadera y rodilla para mejorar su resistencia al desgaste, la preparación de recubrimientos de baja fricción sobre la superficie de discos duros magnéticos para reducir la altura de vuelo de la cabeza lectora y aumentar la densidad de almacenamiento de información, el crecimiento de capas decorativas, antirreflectantes, de barrera térmica, etc.

### REFERENCIAS

Asociación para la Industria de Navarra (AIN): [www.ain.es](http://www.ain.es)

Oerlikon Balzers Coatings: [www.oerlikon.com/coatingservices/es/](http://www.oerlikon.com/coatingservices/es/)



## Materiales antifricción



Juntas de estanqueidad.  
Fuente: SGL Carbon.

Los materiales necesarios para los sistemas de contactos antifricción dependen en gran medida, por un lado, de la tendencia y la velocidad en el desarrollo tecnológico y, por otro, de las políticas medioambientales. Esta última demanda la disminución del consumo energético y las emisiones contaminantes, de forma que los materiales del futuro han de ser ligeros y autolubricados, pero con baja resistencia a la fricción y sin desgaste.

El grafito, por su estructura cristalina, tiene excelentes propiedades autolubricantes. Incluso en seco, el coeficiente de fricción entre un material de carbono/grafito y la contracara de rozamiento es comparativamente bajo, por lo que el deslizamiento entre sus caras es satisfactorio. Además posee una alta estabilidad a altas temperaturas y es inerte a gran cantidad de agentes químicos.

Los cojinetes y las juntas hidráulicas de las bombas de agua para coches que actualmente se fabrican mediante grafito de grano fino convencionales presentan serias limitaciones, tanto tecnológicas como económicas. Así, las mejores prestaciones de los materiales de grafito se consiguen en la actualidad mediante infiltración de metales o sales con la problemática que ello conlleva desde el punto de vista de la legislación ambiental y laboral.

Mediante el uso de materiales de carbono nanoestructurado se pueden conseguir componentes autolubricados que no presenten desgaste durante toda la vida de servicio del equipo y que exhiban mejores rendimientos mecánicos que los materiales tradicionalmente utilizados. Es posible, de este modo, aumentar la carga admisible por superficie hasta en un 50%, gracias al incremento que en la resistencia mecánica, dureza y tenacidad del componente. Por otro lado el aumento en las prestaciones mecánicas permite la reducción del tamaño de los componentes con la consiguiente reducción de costes.

### REFERENCIAS

SGL Carbon GMBH: [www.sgcarbon.com](http://www.sgcarbon.com)

IFKB University of Stuttgart: [www.uni-s.de/IFKB/index.html](http://www.uni-s.de/IFKB/index.html)

Proyecto Europeo IP Nanoker: [www.nanoker-society.org](http://www.nanoker-society.org)

## Materiales con alta dureza para herramientas de corte

El origen de los compuestos cerámicos-metálicos (cermets) se puede situar entorno a 1923, fecha en la que se patenta el proceso de sinterización del compuesto formado por carburo de wolframio con cobalto (WC-Co), un componente cerámico duro y una fase aglutinante que confiere tenacidad al material. Este compuesto de metal soldado a los granos de WC, duro, resistente al desgaste y con una tenacidad considerable fue el punto de partida de la industria de las herramientas de corte a base de metales duros.



Herramientas de corte de material cerámico reforzado.  
Fuente: NTK Cutting tools.

El diamante es la sustancia más dura conocida, es por ello irremplazable como material en las herramientas de corte. Sin embargo, posee una importante desventaja y es su reactividad con el hierro, titanio y silicio, lo cual lo hace inservible para ser utilizado, por ejemplo, en el mecanizado de acero. La síntesis de materiales intrínsecamente duros requiere de condiciones extremas tanto de temperatura como de presión, es por ello por lo que los esfuerzos se han volcado en el desarrollo de nuevos compuestos superduros (superior a

20GPa) basados en nanopartículas metálicas dispersas sobre matrices cerámicas de alta dureza.

Requisitos:

- Alta dureza incluso a elevadas temperaturas
- Materiales químicamente inertes

Se ha comprobado que en el caso de materiales nanoestructurados cerámica-metal, las interfases óxido/nMetal son más rígidas que las interfases convencionales óxido/metal. Este hecho es debido a que durante la sinterización del compacto se produce un crecimiento epitaxial de las nanopartículas metálicas sobre aquellos planos cristalográficos del óxido más favorables desde el punto de vista energético. Como consecuencia de este fenómeno, se produce una mejora sustancial de la tenacidad del compacto si se compara con los valores de tenacidad alcanzados en compactos micrométricos.

Por otro lado la dureza de los materiales metálicos aumenta al disminuir el tamaño de grano debido al aumento de los bordes de grano y con ello la cantidad de bordes de grano, los cuales impiden el movimiento de las dislocaciones incrementando la resistencia del metal. Esta relación entre el tamaño de grano y el esfuerzo de fluencia viene determinado por la ley de Hall-Petch y explica la gran dureza que presentan las nanopartículas metálicas frente a sus homogéneas micrométricas. Esto junto con la alta dureza que presentan matrices cerámicas tales como la espinela o la alúmina hacen que como resultado se puedan obtener compuestos cerámico/nanometal de dureza muy superior a la de los correspondientes microparticulados.

La encuesta mundial sobre producción y consumo de maquinas herramienta desarrollada por Gardner indica que las exportaciones de los 29 países que participan en la encuesta se elevó significativamente en el 2006 hasta alcanzar los 33.73 billones de dólares, lo que significa un incremento del 12,6% respecto al año 2005. De todos los países participantes en la encuesta China fue la que experimentó un mayor incremento en la exportación de máquinas herramienta del 37% alcanzando 7 billones de dólares.

### REFERENCIAS

NTK Cutting tools: [www.ntkcuttingtools.co.uk](http://www.ntkcuttingtools.co.uk)

IP NANOKER: [www.nanoker-society.org](http://www.nanoker-society.org)

Oerlikon Balzers Coatings: [www.oerlikon.com/coatingservices/es/](http://www.oerlikon.com/coatingservices/es/)

Proyecto Europeo IP Nanoker: [www.nanoker-society.org](http://www.nanoker-society.org)

## Nanofiltración

La nanofiltración se caracteriza por utilizar membranas que tienen un tamaño de poro del orden del nanómetro y, con frecuencia, carga eléctrica negativa. Son, hasta la fecha, membranas poliméricas. Suelen operar en un intervalo de presiones comprendido entre 0.3 y 1.4MPa (3 a 14bar) y tienen un rechazo al NaCl comprendido entre 0 y 20 %, por lo que se utilizan para la desmineralización parcial de disoluciones o para separaciones selectivas.



Fig. 1. Módulo de nanofiltración con membrana en espiral.

Existen muchos fabricantes que comienzan a introducir en el mercado membranas para nanofiltración. La geometría más utilizada para los módulos es la espiral ya que ocupan menos espacio para igual superficie y se ensucian menos. La naturaleza y características de los espaciadores es un aspecto importante en el diseño de módulos, ya que deben ser optimizados para conseguir una caída de presión reducida.

### Aplicaciones en tratamiento de aguas residuales.

Simpson et al. (1987) citan la utilización de membranas de nanofiltración para la eliminación de dureza y de impurezas orgánicas de aguas de una industria textil. Los autores indican un rechazo de 29 % de conductividad, 33 % de Na<sup>+</sup>, 48 % de Ca<sup>2+</sup>, 67 % de Mg<sup>2+</sup> y 47 % de carbono orgánico soluble.

Bindoff et al. (1987) utilizan membranas de nanofiltración para eliminar compuestos que originan color en efluentes de la etapa de extracción alcalina de las industrias de pasta de celulosa. Los efluentes contienen lignina y derivados clorados de la lignina, muchos de los cuales están cargados negativamente y cationes monovalentes como Na<sup>+</sup> cuya eliminación no era necesaria. La membrana de nanofiltración elimina 98 % del color mientras que permite que los compuestos inorgánicos la atraviesen y así, el efluente podía ser reutilizado en el proceso de extracción. La utilización de membranas de nanofiltración produce menos costes de operación que la OI-ósmosis inversa- ya que trabaja a presiones más reducidas, debido a que no se eliminan iones monovalentes.

### Aplicaciones en el campo de las aguas superficiales y subterráneas

Esta aplicación es importante para la depuración de aguas contaminadas por pesticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, etc.. Las aguas subterráneas aportan 81 % del agua potable y cada vez se potabilizan aguas de peor calidad. Las técnicas a utilizar para potabilizar aguas incluyen coagulación, ablandamiento con cal, intercambio iónico, oxidación y adsorción sobre carbón activo. Las técnicas con membranas pueden tener ventajas sobre otros tratamientos y la nanofiltración reduce dureza y muchos compuestos orgánicos de elevada masa molar. Por ello hay muchas referencias en aplicaciones para producir aguas potables a partir de aguas superficiales o subterráneas.

Otras aplicaciones de la nanofiltración son

- La eliminación de metales pesados de las aguas residuales
- Reciclaje de aguas residuales en lavanderías
- Ablandamiento del agua
- Eliminación de nitratos

### REFERENCIAS

Universidad de Oviedo, Dpto. de Química-Física y Analítica: [www.uniovi.es/QFAnalitica/](http://www.uniovi.es/QFAnalitica/)



# ANEXO

## Actividades en el campo de Nanomateriales y Nanotecnología en el Principado de Asturias

- Introducción
- Las actividades actuales de los autores en nanomateriales y nanotecnologías en el Principado de Asturias
  - Fundación ITMA
  - Instituto Nacional del Carbón del Consejo Superior de Investigaciones Científicas
  - Universidad de Oviedo



# INTRODUCCIÓN

En la presentación del segundo año del programa “Ingenio 2010” en julio de 2006, el presidente del Gobierno español José Luis Rodríguez Zapatero hizo hincapié, ante los científicos reunidos en la sede central del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en Madrid, del importante papel de la nanotecnología para el continuo crecimiento del conocimiento que requiere la empresa española, anunciando un mayor impulso a la colaboración entre el mundo científico y el empresarial mediante un aumento de aportaciones financieras y un apoyo institucional a todos los niveles.

¿Qué innovaciones en nanotecnología encuentran una demanda?

La nanotecnología promete no sólo nuevos productos sino también un potencial muy grande como “tecnología de *up-grading*” en combinación con soluciones técnicas actuales. Pero las innovaciones que provienen de la investigación habrán de ser desarrolladas para una aplicación industrial caso a caso. Esta tarea representa un especial reto para las PYMEs que hoy en día actúan como proveedores en la cadena de creación de valores o en nichos muy determinados.

La transferencia al mercado de las innovaciones resulta más exitosa en estrecha colaboración con socios. Ahí un “*network*” de socios expertos con las competencias adecuadas facilita enormemente la implementación de las innovaciones: no sólo se aceleran los procesos de desarrollo, sino que a través de la mutua colaboración se crea también la esencial comprensión para la explotación de las nuevas tecnologías y los potenciales comerciales de los resultados disponibles de la investigación.

Las plataformas para las actividades de colaboración en I+D son un marco ideal para el anclaje de la nanotecnología y para el aumento del rendimiento innovador de las empresas participantes.

Lo más importante para el éxito de una tecnología es un amplio conocimiento o comprensión de posibles aplicaciones y su implementación en productos innovadores. Conferencias o congresos como plataformas de información donde expertos de la Investigación y de la Empresa intercambian experiencias e ideas sobre futuras innovaciones pueden ofrecer impulsos relevantes en este proceso.

Una posible iniciativa llamada “*Nano Apply*” organizaría seminarios ofreciendo informaciones para la explotación de innovaciones y posibles modelos de negocio en colaboración con expertos en la nanotecnología (“*Apply-Info*”) o facilitaría el acceso a grupos de expertos para la colaboración en la búsqueda de soluciones que surjan durante el proceso de transferencia e innovación en el campo de la nanotecnología (“*Apply-Focus*”).

Experiencias en países como Alemania, Suiza, Italia o Francia confirman el éxito de estas plataformas cuyo principio de trabajo se centra en el punto de vista del cliente. ¿Qué innovaciones encuentran una demanda? Esta sería la gran diferencia con otros modelos de transferencia tecnológica en el campo de la nanotecnología: no se empujan soluciones hacia la Industria, sino que desde el mercado se genera un efecto “*pull*” hacia los resultados de la investigación. Las empresas son siempre los actores principales en la aplicación de la nanotecnología y también en una red de competencia “Nano”.

Este anexo pretende presentar las actividades actuales y futuras de las tres organizaciones que han elaborado este catálogo y ofrecer a las empresas y a otros interesados una perspectiva sobre el panorama científico en el Principado de Asturias en el campo de la nanotecnología.

Entre otras iniciativas se hace aquí una breve referencia a la creación del nuevo **Centro de Investigación en Nanomateriales y Nanotecnología en el Principado de Asturias (CINN)**.

El objetivo del CINN es la investigación competitiva a nivel internacional en determinadas áreas del campo de las nanociencias promoviendo sinergias entre el personal científico de excelencia internacional realizando actividades de demostración científico-tecnológica en las que confluyan los intereses de empresas tecnológicamente avanzadas, e investigadores especializados con una clara vocación de transferencia, potenciando así la creación de nuevas empresas de base tecnológica.

De esta manera se podrá ampliar la oferta científico-tecnológica de las instituciones de investigación del Principado de Asturias en áreas transversales relacionadas con el sector de las nanociencias y los nanomateriales como son aplicaciones en las industrias:

- Bionanotecnología,
- Biomedicina,
- Óptica,
- Aeronáutica y
- Aeroespacial

La existencia del CINN permitirá alcanzar un tamaño crítico competitivo a nivel internacional en diversas áreas seleccionadas del campo de los Nanomateriales y la Nanotecnología, que facilite su participación en programas de colaboración científico-empresarial interdisciplinar que superen la capacidad de ejecución de los grupos de investigación existentes en el Principado de Asturias, formar personal científico y técnico y contribuir a la creación de nuevas empresas en estas áreas. Esto resultará especialmente relevante para catapultar el despegue de la actividad industrial en este sector.

Los autores esperan poder aportar base suficiente de debate y de intercambio a nivel empresarial, sobre todo en las pequeñas y medianas empresas.



# **LAS ACTIVIDADES ACTUALES DE LOS AUTORES EN NANOMATERIALES Y NANOTECNOLOGÍAS EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

- **Fundación ITMA**
- **Instituto Nacional del Carbón del Consejo Superior de Investigaciones Científicas**
- **Universidad de Oviedo**





Fundación ITMA, integrada en la Red de Centros Tecnológicos del Principado de Asturias, bajo la personalidad jurídica de Fundación privada y sin ánimo de lucro, viene desarrollando sus actividades de I+D+i y servicios tecnológicos a las empresas desde 1992. En 2005, Fundación ITMA pasó a gestionar dos centros tecnológicos:

El Centro Tecnológico de Materiales no Metálicos situado en Llanera, y el nuevo Centro Tecnológico del Acero y Materiales Metálicos, ubicado en Avilés y con una estrategia de especialización en el sector siderúrgico y metal-mecánico. Ambos

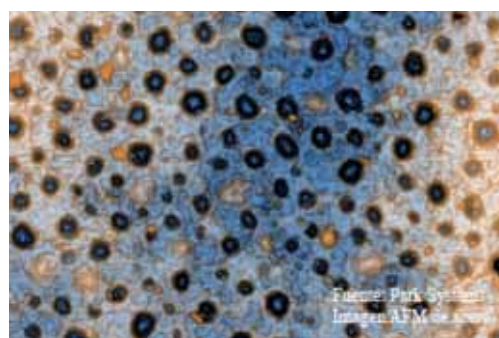
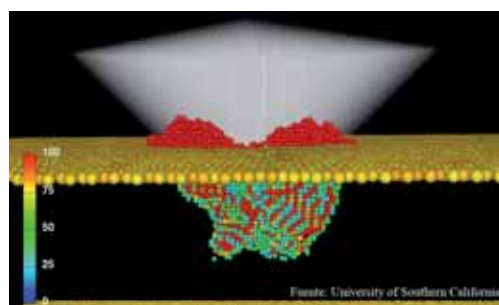
centros se encuentran bajo el control y gestión del Patronato de la Fundación ITMA.

### Actividades de la Fundación ITMA en el campo de la nanotecnología

A lo largo de los últimos años, ha existido un interés creciente dentro de la Fundación ITMA por el mundo de la nanotecnología, lo que ha conducido a la creación de un grupo de I+D estable a comienzos del año 2007. Entre las actividades que han comenzado a llevarse a cabo en el presente año dentro del campo de la nanotecnología, cabe citarse:

- La difusión de la nanotecnología entre el sector industrial. La Fundación ITMA lidera el proyecto europeo “Difusión y sensibilización en la aplicación industrial de nanotecnologías en la I+D+i de productos y procesos en las PYMES” (NANO-SME-ESTIIC-INTERREG 3C).
- La caracterización mecánica de nanomateriales mediante técnicas de nanoindentación, nanodesgaste y nanorayado.
- El desarrollo de células solares de capas finas (TFSC's) sobre acero mediante técnicas de deposición en fase gaseosa (PVD/CVD) (Proyecto CENIT-CETICA).
- El apoyo a otros grupos de I+D de la Fundación en la mejora de las propiedades físicas de los materiales mediante el uso de nanopartículas y nanotubos.

Asimismo, se pretende a lo largo del año 2008 constituir un laboratorio en el que se desarrollarán tecnologías de crecimiento de nanomateriales, autoensamblado y nanofabricación.



### Contacto:

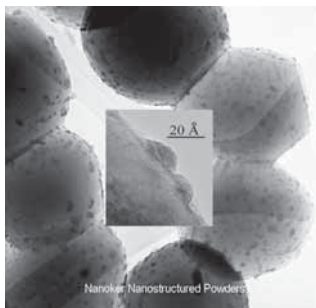
#### Fundación ITMA

Dpto. de Nanotecnología  
Parque Tecnológico de Asturias  
33428 Llanera  
Tel. 985 98 00 58  
Fax 985 25 55 74  
www.itma.es

- David Gómez Plaza ([d.gomez@itma.es](mailto:d.gomez@itma.es))



INCAR



El Grupo de Materiales Nanoestructurados del Instituto Nacional del Carbón comenzó a trabajar en 1995 en el campo de los materiales con microestructuras en el rango de los nanómetros.

Las líneas de investigación se centran en la síntesis, caracterización y procesamiento de materiales nanoestructurados, principalmente diseñando materiales con una microestructura controlada, investigando su procesamiento con el fin de obtener materiales densos con las propiedades funcionales o estructurales deseadas, o bien desarrollando nuevos conceptos de diseño o de fabricación de componentes.

El trabajo de investigación del grupo de materiales nanoestructurados del INCAR-CSIC se centra en **dos aplicaciones** novedosas de los nanomateriales:

**El primer campo de investigación** se centra en el diseño y desarrollo de una nueva generación de nanocompuestos metálicos ligeros (MMCs).

**El segundo campo de trabajo** explora la posibilidad de obtener compuestos cerámica-cerámica, cerámica-metal, intermetálicos y aleaciones metálicas que posean estructura de fases modulada en una escala inferior a 100nm.

La actividad investigadora del grupo de materiales nanoestructurados del INCAR-CSIC se desarrolla tanto a nivel internacional, coordinando proyectos del 5º Programa Marco como en el 6º Programa Marco de la Unión Europea como el proyecto integrado "IP NANOKER", como a nivel nacional, donde el grupo está involucrado en más de una docena de proyectos entre los que cabe destacar el Proyecto del programa Cenit "Domino" en el que participa conjuntamente con la empresa *Bioker Research SL*, una "spin-off" que se constituyó para la explotación de los resultados del así llamado proyecto europeo.



#### Contacto:

##### Instituto Nacional del Carbón (CSIC)

Grupo de Materiales Nanoestructurados

Francisco Pintado Fe, 26

33011 Oviedo

Tel. 985 11 90 90 / 985 20 47 96

Fax 985 29 76 62 / 985 20 56 85

www.incar.csic.es

- Ramón Torrecillas San Millán ([rtorre@incar.csic.es](mailto:rtorre@incar.csic.es))
- Adrian Alonso Guerra ([adrianag@incar.csic.es](mailto:adrianag@incar.csic.es))
- Christopher Lillotte ([lillotte@incar.csic.es](mailto:lillotte@incar.csic.es))
- José Luis Menendez del Río ([menendez@incar.csic.es](mailto:menendez@incar.csic.es))
- Luis Antonio Díaz ([ladiaz@incar.csic.es](mailto:ladiaz@incar.csic.es))



Horno de sinterización por descarga de plasma (Spark Plasma Sintering).





Universidad  
de Oviedo



En la Universidad de Oviedo hay del orden de 20 grupos de investigación que, o bien vienen desarrollando durante los últimos años actividades de investigación en el área de la nanotecnología, o bien se están iniciando en dicho campo.

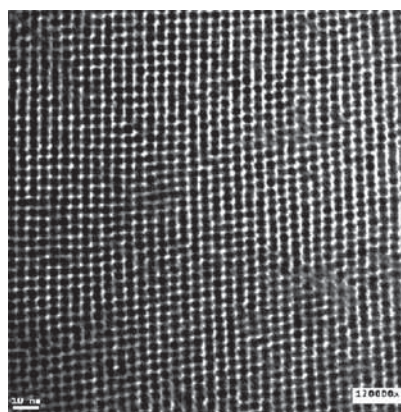
En el primer caso se encuentran varios grupos pertenecientes fundamentalmente a las áreas de Física y Química, si bien hay algunos más pertenecientes a las ramas de la Biología y Geología. Algunas áreas de ingeniería comienzan también a interesarse en dichos temas, si bien la mayoría

de la investigación realizada en la universidad se engloba en el ámbito de la investigación básica, o nanociencia. La aplicación práctica de dichos estudios, o nanotecnología propiamente dicha, está en la actualidad limitada al campo de sensores y, en particular, de biosensores, tema en el que están interesados, e incluso da lugar a colaboraciones interdisciplinares, grupos de Química, Física y Biología. La investigación en este campo ha dado lugar a la creación de una spin-off, que en el futuro también explotará comercialmente los resultados de la investigación multidisciplinar que actualmente se realiza y que está relacionada con la nanoestructuración de dichos dispositivos.

Además del campo de biosensores, los grupos de investigación de la Universidad de Oviedo destacan en la investigación de nanoestructuras magnéticas ordenadas, de aplicación en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en los campos de registro magnético de la información y sensores específicos, así como en la fabricación de materiales magnéticos masivos nanoestructurados, de aplicación como nuevos materiales magnéticos de cualidades superiores a los actualmente utilizados en electrotecnia (transformadores) y en la fabricación de imanes permanentes. En dichos temas están implicados fundamentalmente grupos del Área de Física. Grupos de investigación del Área de Química se interesan en temas relacionados con sensores ópticos basados en “puntos cuánticos” o en dispositivos realizados por impresión molecular.

Otros grupos del mismo ámbito de la Química pretenden aplicar la nanoestructuración a superficies catalíticas, para aumentar el rendimiento de dichos procesos y otros desarrollan nuevos procedimientos experimentales para la caracterización química de superficies mediante el análisis del plasma iónico obtenido por bombardeo iónico sobre el material a analizar. Cabe mencionar también las investigaciones realizadas por grupos de Geología y Biología; en el primer caso se utilizan las propiedades de superficie de minerales en procesos de descontaminación de efluentes y en el segundo se analizan, mediante microscopías de alta resolución, las propiedades de interacción de biomoléculas (ADN, proteínas, etc.). En el capítulo de contaminación, existen también grupos de investigación dedicados al estudio de contaminación atmosférica (aerosoles).

Asimismo existen grupos de investigación dedicados a la fabricación de materiales nanoporosos, en particular membranas de óxidos metálicos. Una actividad en el ámbito de la nanotecnología de especial relevancia lo constituye la investigación que se realiza dentro del apartado de modelización teórica de



Auto-ensamblado (partículas magnéticas de FePt de 4nm de diámetro auto-organizadas sobre una superficie).

las propiedades de nanoestructuras y sistemas mesoscópicos. Este es un aspecto de fundamental interés ya que las propiedades de la materia a estas escalas no corresponden a las usualmente observadas en materiales masivos de uso común. Es por lo tanto una herramienta fundamental de la nanociencia, que a su vez lo es de la nanotecnología. En ese campo se cuenta también con un grupo de referencia internacional que ha desarrollado aplicaciones de cálculo patentadas y actualmente utilizadas por más de cincuenta grupos de investigación internacionales. Una descripción más pormenorizada de grupos y temas de investigación puede encontrarse en la página Web de la Universidad de Oviedo ([www.uniovi.es](http://www.uniovi.es)), en el apartado de Investigación (Portal de la Empresa), donde se encuentran descritos tanto los grupos de investigación de la Universidad como la composición y actividades de la denominada Asociación Temática de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología.

Los grupos mencionados obtienen financiación tanto a través de las convocatorias del Plan Nacional de I+D (Acción Estratégica de Investigación en Nanotecnologías (NAN), y las áreas de Física y Ciencias del Espacio (FIS) y Ciencia de Materiales (MAT)), así como de proyectos europeos, estos últimos fundamentalmente en los campos de la Física Teórica (modelización) y Experimental aplicados, respectivamente, al campo de la electrónica molecular y al de sistemas nanoestructurados magnéticos.

En cuanto a las capacidades experimentales con las que cuenta la Universidad de Oviedo, tanto en medios de investigación como en experiencia de los grupos, los grupos de investigación cuentan con una dilatada experiencia en el campo de la fabricación de láminas delgadas y recubrimientos superficiales mediante técnicas de pulverización catódica y evaporación en vacío fundamentalmente, fabricación de membranas nanoporosas autoorganizadas y nanoelectrodos y nanoestructuras magnéticas ordenadas mediante litografías óptica y de barrido de haz de electrones, así como en la caracterización estructural mediante difracción de Rayos X y microscopías electrónicas TEM y SEM y de barrido de punta (AFM y MFM). Por otro lado se cuenta con instalaciones para la caracterización química de superficies mediante microsonda electrónica y XPS, y de caracterización magnética mediante magnetometrías AGM, VSM y SQUID. Asimismo se tiene gran experiencia, en el desarrollo de sistemas para el análisis de los procesos de transporte eléctrico (conductividad eléctrica, magnetorresistencia, conductividad iónica, etc.) así como en el desarrollo de dispositivos magneto-ópticos para la caracterización magnética de superficies, que a su vez tienen aplicación práctica en el diseño de futuros sensores de gran sensibilidad al aplicarse a sistemas nanoestructurados.

Finalmente se tiene experiencia en la fabricación y caracterización de fibras ópticas planares así como en la fabricación de circuitos de microfluídica, utilizando en ambos casos técnicas de litografía láser. Parte de los equipamientos mencionados pertenecen a los Servicios Comunes Científico Técnico de la universidad de Oviedo. Otra parte son propios de los correspondientes grupos de investigación.

### Contacto:

#### Universidad de Oviedo

Facultad de Ciencias

Departamento de Física

Unidad de Nanotecnología

C/ Calvo Sotelo, s/n

33007 Oviedo

Tel. 985 10 33 22

Fax 985 10 33 24

[www.uniovi.es](http://www.uniovi.es)

- José María Alameda Maestro ([alameda@string1.ciencias.uniovi.es](mailto:alameda@string1.ciencias.uniovi.es))
- José Ignacio Martín Carbajo ([jmartin@uniovi.es](mailto:jmartin@uniovi.es))

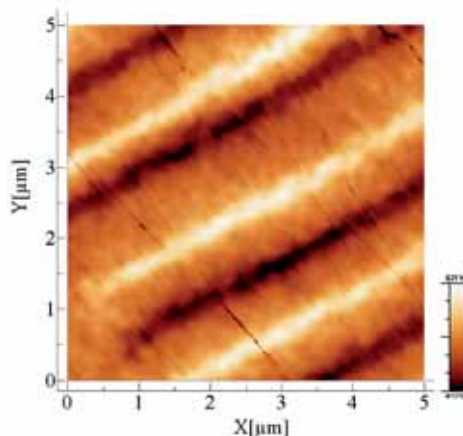


Imagen MFM de bits magnéticos en un disco duro de ordenador.



## COLABORACIONES

En la elaboración de la presente publicación, han participado las siguientes personas:

### Fundación ITMA

*(coordinador del proyecto NANO-SME)*

David Gómez *(coordinador Fundación ITMA)*

Juan Enterría *(coordinador Fundación ITMA)*

Jorge Bonhomme

Cristina Lausín

### Instituto Nacional del Carbón - CSIC

Ramón Torrecillas *(coordinador INCAR-CSIC)*

Adrián Alonso

Christopher Lillotte

José Luis Menéndez

Luis Antonio Díaz

### Universidad de Oviedo

José María Alameda *(coordinador Universidad de Oviedo)*

Agustín Costa

Javier Díaz

Jaime Ferrer

José Ignacio Martín

Manuel Prieto

Carlos Quirós

José Rodríguez





 PROJECT PART-FINANCED  
BY THE EUROPEAN UNION

Nord Est **SUD** Ouest  
 **INTERREG III C**

 **ESTIIC**

Encourager l'utilisation de la technologie,  
l'innovation et la société de l'information  
pour la compétitivité

<http://www.estiic.org>

