

# fis

n° 16

septiembre 2005



## Física y sociedad

Revista del Colegio Oficial de Fisicos



Especial monográfico 5 tecnologías emergentes que cambiarán el mundo →



Reportaje  
Hidrógeno y  
pilas de combustible



Reportaje  
Presente y futuro de las  
satélites de comunicación



Reportaje  
La nanociencia  
y sus aplicaciones



Reportaje  
La información cuántica,  
la última frontera de la  
informática



Actualidad y física  
2005. Año Internacional  
de la Física



Edita  
Colegio Oficial de Físicos

Editor  
Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

Director  
Alberto Miguel Arruti

Director de Información  
José Manuel López-Cózar

Consejo de redacción  
Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo  
Ángel Sánchez-Manzanero Romero  
Alicia Torrego Giralda  
Isabel Pérez Pérez  
Marta Seoane Dios  
Marta Izquierdo Barrado

Proyecto gráfico  
David G. Rincón de Castro  
david.rincon@telefonica.net

Fotografía  
José Manuel López-Cózar  
(Jefe de sección)  
Portada: foto cedida por la Agencia  
Espacial Europea (ESA)

Administración y publicidad  
Colegio Oficial de Físicos  
C/ Montesquín, nº 28, 3º dcha.  
28010 Madrid  
Tel: 91 447 06 77  
Fax: 91 447 20 06  
e-mail: correo@cofis.es  
www.cofis.es  
www.conama.org  
www.fisicaysociedad.es  
www.fisica2005.org

Fotomecánica e impresión  
Roelma Producción Gráfica  
C/ Nubes, 11  
Pol. Ind. San José de Valderas  
28918 Leganés (Madrid)

ISSN. 113-8953  
Depósito Legal: M. 44286-1992

La revista Física y Sociedad  
no se hace necesariamente  
solidaria con opiniones  
expresadas libremente  
en las colaboraciones  
firmadas.

Queda autorizada la reproducción,  
total o parcial, siempre que se haga  
de forma textual y se cite la proce-  
dencia y el autor.

El papel utilizado para la impresión  
de Física y Sociedad tiene la califica-  
ción de ecológico, calidad ECF.

**Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo**  
Presidente COFIS

## Físicos y nuevas tecnologías

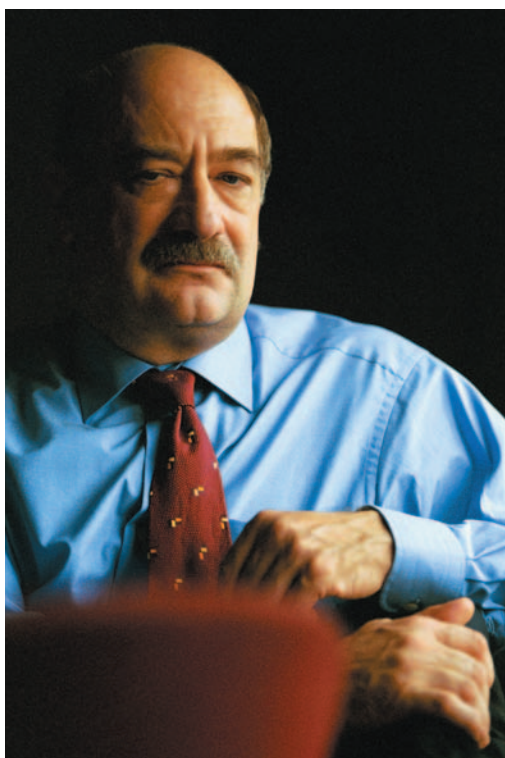
**Convencidos de que hoy en día, más que nunca, la** ciencia tiene un especial protagonismo en nuestra sociedad y que todavía están por llegar nuevas revoluciones científicas que cambiarán nuestra forma de vivir, nuestra forma de relacionarnos... el Colegio Oficial de Físicos ha querido tratar el tema de las nuevas tecnologías en un especial monográfico.

Con la publicación de esta revista hemos pretendido repasar las tecnologías que están experimentando un mayor desarrollo en estos momentos, así como aquellas que tendrán mayor repercusión por su alcance social. Pero, sobre todo, hemos querido acercarnos a las tecnologías emergentes que están directamente relacionadas con la Física, así como llamar la atención sobre el papel de nuestro colectivo en el avance de la ciencia.

De este modo, como ya ocurriera en otros periodos de nuestra Historia reciente, la Física vuelve a tener un especial protagonismo en buena parte de las investigaciones que se están realizando en la actualidad. Pese a que desde el primer momento en que nos pusimos a trabajar en este especial monográfico, fuimos conscientes de que sería prácticamente imposible abordar (en tan sólo unas páginas) todos los ámbitos que cuentan con grandes expectativas de futuro, hemos escogido una representación de ellos para dar nuestra propia visión de las líneas científicas y tecnológicas más relevantes en el siglo XXI.

A nuestro entender, la búsqueda de soluciones al problema de la energía, el enorme potencial de aplicaciones de los satélites terrestres, los cambios en los

## Todavía están por llegar nuevas revoluciones científicas que cambiarán nuestra forma de vivir, nuestra forma de relacionarnos...



→ Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

procesos industriales y en los objetos más cotidianos de nuestra vida que estarán motivados por la revolución de la Nanociencia, la contribución de la Física al avance de la Medicina, o la capacidad de hacer ordenadores cada vez más pequeños, más potentes y más rápidos, son algunos de los campos que marcarán el desarrollo de la ciencia en los próximos años.

Pero, con la publicación de este número, también hemos querido sumarnos a los actos de celebración del Año Mundial de la Física 2005, que conmemora el centenario del “Annus Mirabilis” de Albert Einstein en el que se sentaron las bases de la Teoría de la Relatividad y se abrieron las puertas a la teoría cuántica.

Sin duda, entre otras cosas, la celebración del Año Mundial de la Física está sirviendo para llamar la atención sobre la importancia de la ciencia en nuestros días. Y es que es un hecho incuestionable que vivimos en una sociedad donde la ciencia, a pesar de su protagonismo, es muy poco conocida. Por esta razón, desde instituciones estatales y privadas, se ha intentado incentivar la apreciación de los trabajos científicos a través de las exposiciones, conferencias y otras actividades que están teniendo lugar en el marco de este gran evento de dimensión mundial.

Desde el Colegio de Físicos, hemos querido aportar nuestro granito de arena a este esfuerzo divulgador. Y, qué mejor manera que mediante la publicación de este especial monográfico que ahora presentamos, así como con la puesta en marcha de la página web [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org). Una web que recoge toda la información sobre los actos conmemorativos del Año Mundial de la Física y que ha cosechado un rotundo éxito al recibir más de 46.000 visitas en sus primeros seis meses de vida. Esperemos que la publicación de esta revista tenga el mismo éxito de acogida que las anteriores.

**Como en otros períodos de la Historia, la Física vuelve a tener un especial protagonismo en buena parte de las investigaciones que se están realizando en estos momentos**

## •Juan Antonio Cabrera

Prospectiva y Vigilancia Tecnológica del Ciemat



→ Foto de la Tierra tomada por el astronauta André Kluijpers. Imagen cedida por ESA.

Coincidiendo con el cambio de milenio distintos autores e instituciones han publicado cuáles serían, a su entender, las líneas científicas y tecnológicas más relevantes en el siglo XXI. Los resultados, más o menos sesgados, están basados en opiniones personales, encuestas u opiniones de grupos de trabajo. En este artículo se repasan las tecnologías emergentes que transformarán nuestro mundo en las próximas décadas y su relación con la física.

*Problems cannot be solved by thinking within the framework in which the problems were created.*  
Albert Einstein

# NUEVAS TECNOLOGÍAS Y FÍSICA EN EL SIGLO XXI

En el inicio de un nuevo milenio, en el Año Mundial de la Física 2005, se celebra la importancia que tiene esta rama del conocimiento en nuestra vida diaria, su papel en el desarrollo científico-tecnológico y el impacto que tiene sobre la sociedad. Hace 100 años del “año milagroso” en el

que Einstein publicó una serie de trabajos que cambiaron nuestra imagen del mundo. Parece, por tanto, el momento más oportuno para analizar algunas de estas visiones de futuro, con especial atención en aquellas tecnologías que previsiblemente tendrán mayor impacto social y a

las que están dedicadas el contenido de este número de Física y Sociedad.

## LA FÍSICA EN EL SIGLO XXI

Los distintos estudios que analizan como será la ciencia en el siglo XXI coinciden en señalar la importancia que tendrán los avances de la ⇒

Física para el futuro de la humanidad. Los temas más relevantes y los problemas que aún quedan por resolverse se agrupan en grandes áreas como astrofísica, física de partículas, materia condensada o mecánica cuántica donde surgen preguntas a las que responder, tales como ¿qué es la materia oscura?, o nuevas áreas para el desarrollo de aplicaciones en múltiples campos, como la Nanociencia y las Nanotecnologías.

Sin embargo, al analizar la contribución de la Física al avance de la ciencia hoy en día encontramos ciertas

de los aceleradores en biología para conocer la estructura de proteínas, enzimas o virus, este rasgo parece claro.

Pero, en otras ocasiones, el papel de la Física aparece algo más escondido y no por ello resulta menos trascendente. Como ejemplo de esta realidad sólo basta recordar, ahora que se conmemoran también otros acontecimientos relacionados con la Física y los físicos, el descubrimiento de Louis Essen. El 3 de junio de 1955, Louis Essen construyó el primer reloj atómico basado en detectar y medir la absorción de

de ser válida. Las interacciones entre I+D, economía y sociedad son complejas, lo que hace necesario desarrollar herramientas de análisis que permitan tener en cuenta las interacciones existentes para poder resolver los problemas que se plantean. Además, no sólo es necesario responder a los retos desarrollando nueva ciencia y tecnología, también hay que poner los medios para que el conocimiento sea utilizado como soporte a la toma de decisiones para conseguir los objetivos buscados y conseguir un compromiso de acciones políticas continuadas.

## Hoy por hoy existen herramientas que permiten analizar cuáles son las tecnologías emergentes y sus implicaciones para la economía o la sociedad, proporcionando la información necesaria para la toma de decisiones y poder fijar las prioridades

similitudes con el protagonismo que tuvo esta rama del conocimiento durante el último siglo. En primer lugar, los avances de la Física juegan un papel fundamental en otras áreas (actualmente en disciplinas como la biología, la industria o la energía). En segundo lugar, como entonces, sigue resultando prioritario que los avances que se produzcan estén dirigidos a dar respuesta a las necesidades que se le plantean a la sociedad, sirviendo como base para la innovación.

En algunos casos, como la resonancia magnética donde se unen avances en física atómica, nuclear, partículas, estado sólido, química y física cuántica, computación y medicina o en la aplicación

microondas por átomos de cesio. Tenía una precisión de una parte en diez elevado a la diezésimas, es decir, una diferencia de 1 segundo en 300 años. Ahora, la precisión de los relojes atómicos es de un segundo en 60 millones de años y se aplican en el funcionamiento de internet, la sincronización de la distribución de electricidad o los sistemas de navegación por satélite. La idea de utilizar la estructura atómica para medir el tiempo en lugar de los movimientos de los cuerpos celestes había sido propuesta por Lord Kelvin en 1879.

Así, la relación lineal entre descubrimiento científico y desarrollo tecnológico como base para el bienestar económico ha dejado

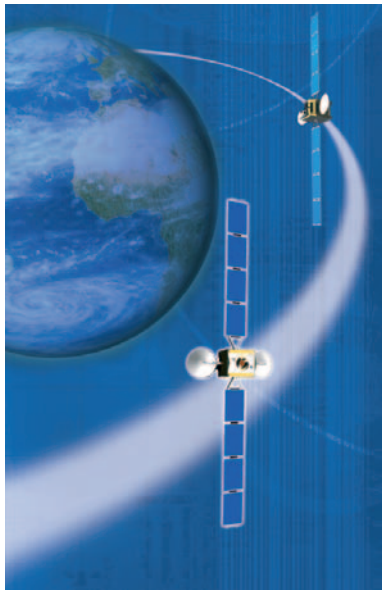
### FUTUROS TECNOLÓGICOS

Actualmente se hace cada vez más necesario movilizar a la comunidad científica y tecnología para aumentar los esfuerzos en I+D desarrollando tecnologías emergentes, innovaciones basadas en la ciencia que tengan el potencial de crear nuevas industrias o transformar las existentes. Pero, al mismo tiempo, también resulta indispensable contar con el conocimiento necesario para detectar cuáles son las necesidades en I+D, poder priorizar y seleccionar las inversiones necesarias con objetivos definidos estableciendo actuaciones estratégicas.

Pero, ¿cómo priorizar en ¿ciencia y tecnología?, ¿cuáles son las líneas prioritarias en I+ D? Estas ⇒

## Los distintos estudios que analizan cómo será la ciencia en el siglo XXI coinciden en señalar la importancia que tendrá el avance de la física para el futuro de la humanidad

Imagen cedida por GMV.



respuestas permitirán definir áreas estratégicas y establecer líneas críticas de actuación. Esto exige generar información sobre el futuro incierto aprovechando nuestra experiencia sobre el pasado para tomar decisiones.

Se desarrollan así una serie de herramientas para explorar el futuro tecnológico y sus consecuencias utilizando distintos métodos que permiten analizar cuáles son las tecnologías emergentes y sus implicaciones para la economía o la sociedad, proporcionando la información necesaria para la toma de decisiones y poder fijar las prioridades.

Entre ellas, está la prospectiva cuya característica fundamental, es suponer que el futuro no está determinado; existen distintos futuros posibles lo que permite alternativas de actuación.

### PROSPECTIVA

La definición formal de prospectiva es: Proceso para explorar sistemáticamente el futuro a largo plazo de la ciencia, la tecnología, la economía, el medioambiente y la sociedad con el objetivo de identificar las tecnologías genéricas emergentes y las áreas de investigación estratégicas en que se apoyan que tengan la mayor probabilidad de proporcionar beneficios económicos y sociales.

Puesto que resulta imposible poder predecir lo que no existe, intentamos analizar tendencias y desarrollos emergentes en función de su capacidad para responder a las necesidades de la sociedad y cuáles serán sus impactos sobre el desarrollo industrial y económico. Es un proceso participativo para debatir posibles alternativas con participación de todos los actores para generar un consenso sobre las actuaciones políticas que debe utilizarse en la definición de actuaciones en I+D+i. De esta forma, podremos identificar posibles futuros, alertando sobre los riesgos de cada uno y de oportunidades existentes lo que permitirá decidir actuaciones “hoy” y seleccionar objetivos en función de las características específicas nacionales y el contexto internacional.

La Fundación OPTI, Observatorio de Prospección Tecnológica, realiza estos estudios en España, desde 1997, con el objetivo de reforzar el sistema nacional de innovación explorando tendencias tecnológicas y analizando las necesidades de

la industria, generando información sobre los impactos futuros en la industria, el empleo y la competitividad.

Actualmente ha realizado estudios en las áreas de: agroalimentación, energía, química, transporte, tecnologías de diseño y producción aplicadas a los sectores de transformación del metal y el plástico, sectores tradicionales (cuero y calzado, madera y mueble, cerámica, juguete, joyería), construcción, biotecnología, tecnologías de la información y la comunicación, medio ambiente, ciencias de la salud, microtecnologías, materiales, tecnologías del mar y ciencias sociales. Como resultados ha publicado cuarenta estudios en las distintas áreas citadas que analizan el futuro tecnológico de nuestro país y la líneas de investigación necesarias en un horizonte de quince años.

Funciona como una red en la que una pequeña estructura central coopera con centros tecnológicos, centros de investigación e instituciones, cada uno de los cuales es responsable de un área determinada.

Los resultados permiten anticipar el futuro incierto en función de aspectos tecnológicos y científicos pero también sociales, económicos, políticos, medioambientales, integran distintas visiones y diferentes objetivos. ■

• **Antonio Correia**

Presidente de la Fundación PHANTOMS

• **Pedro A. Serena**

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (CSIC)

– Sede del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.



# LA NANOCIENCIA Y SUS APLICACIONES

Recientemente, la investigación en materiales de escala nanoscópica (es decir, la millonésima parte de un milímetro) ha adquirido una gran importancia. El término “Nanociencia” hace referencia al conjunto de áreas del conocimiento involucradas en el estudio de materiales con las mismas cualidades que los actuales, pero en proporciones diminutas. En este artículo se explica cómo la Nanociencia cambiará buena parte de los procesos industriales y algunos de los objetos que poblarán nuestros hogares en el futuro.

El prefijo “nano” se refiere a la posibilidad de comprender los fundamentos y propiedades de objetos (Nanociencia) y diseñar elementos o dispositivos con funciones específicas (Nanotecnología) cuyas dimensiones son de unos pocos nanómetros. Aunque ambos términos tienen su propia entidad, es el de Nanotecnología el que más ampliamente se ha usado, englobando tanto conocimientos básicos como aplicados. El nanómetro (nm) es la unidad

de longitud equivalente a la millonésima parte de un milímetro ( $1 \text{ nm} = 10^{-9}$  metros) y define las dimensiones típicas donde la Nanotecnología mostrará todo su potencial: la “nanoescala”. Se puede definir la nanoescala como la región de tamaños comprendida entre uno y cien nanómetros.

El término “Nanotecnología” fue acuñado por N. Taniguchi en 1974 para describir el conjunto de técnicas necesarias para fabricar

objetos o dispositivos con una precisión del orden de 1 nm. La Nanotecnología es una combinación de técnicas de muy diversa procedencia cuya finalidad es la investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular y supramolecular destinados a proporcionar entendimiento fundamental de los fenómenos y los materiales en la nanoescala y poder así crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas con nuevas propiedades y ⇒

funciones originadas por el particular comportamiento de la materia cuando su tamaño deja de considerarse macroscópico.

### El largo camino hacia la manipulación en la “nanoescala”

El vertiginoso ritmo de miniaturización que la industria microelectrónica ha mantenido durante cuatro décadas fue ya vaticinado por G. Moore hace ahora 40 años. Sin embargo, a pesar de la capacidad demostrada por la industria para solventar problemas tecnológicos de muy diversa índole, se cree que tarde o temprano dicho ritmo no podrá mantenerse por factores tanto de tipo físico como de carácter económico. Es evidente que a medio plazo se necesitarán alternativas a la tecnología actual, que implicarán el desarrollo de métodos de producción en la nanoescala, abandonando la Microelectrónica para entrar de lleno en la era de la Nanoelectrónica. Sin embargo, trabajar en la nanoescala significa en último término la posibilidad de manipular a voluntad átomos y moléculas para construir dispositivos capaces de realizar funciones específicas.

Pero, ¿disponemos de herramientas capaces de ver y manipular la materia a escala atómica? A principios de 1980 dos investigadores de IBM, H. Rohrer y G. Binnig dieron a conocer el microscopio de efecto túnel (STM, Scanning Tunneling Microscope) que permitió por vez primera observar superficies con resolución atómica (4,5). Esta herramienta ha sido la antecesora de otro grupo de herramientas, los microscopios de proximidad (SPM, Scanning Probe Microscopy), que permiten medir

de forma precisa otras propiedades (fuerzas electrostáticas o magnéticas, intensidad luminosa, etc) en la nanoescala. Estas nuevas herramientas permiten, además, la manipulación en ciertas condiciones de la posición de átomos, moléculas y otras nanoestructuras sobre una superficie.

### Dos visiones diferentes: “top-down” versus “bottom-up”

El control de la fabricación a escala atómica y molecular precisa de nuevas tecnologías que permitan trabajar de forma fiable, precisa y reproducible en la nanoescala. Muchas de estas tecnologías se están perfilando en la actualidad en los laboratorios de investigación (la Figura 1 ilustra una de estas técnicas emergentes) y, por lo tanto, no han demostrado aún su total potencial. A su vez existe un vasto conocimiento de técnicas que han demostrado gran potencial en la microescala. Muchas de estas tecnologías son susceptibles de mejora, permitiendo su aplicación en la nanoescala. Por lo tanto, estamos en una etapa de exploración donde surgen visiones contrapuestas sobre cómo abordar la manipulación/fabricación en la nanoescala.

Por un lado existe una visión más conservadora y continuista, la llamada aproximación “top-down” (de arriba hacia abajo) en la que se intenta conseguir una mejora de los procedimientos existentes, para conseguir más y más precisión en la fabricación de los elementos que forman los dispositivos. Un ejemplo de esta forma de pensar la encontramos en la evolución de las técnicas de litografía óptica, donde se usan

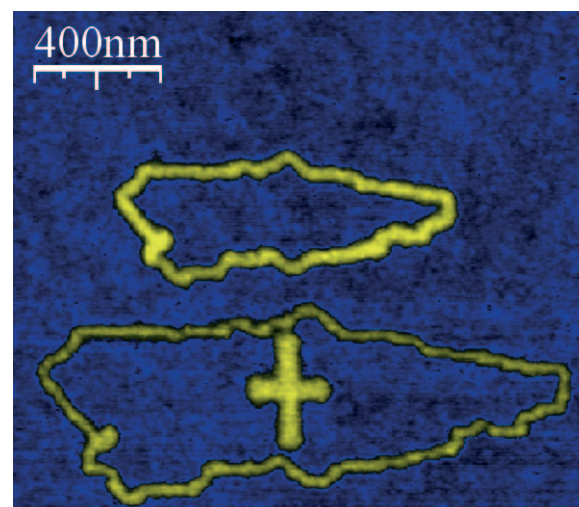


Figura 1: Nanolitografía por oxidación local de silicio (AFM). Cortesía de Pablo Ares (Nanotec S.L., España). La imagen muestra sendos perfiles de Asturias. El ancho de línea es de unas pocas decenas de nanómetros.

cada vez longitudes de onda más y más pequeñas, resolviendo de forma económicamente viable los numerosos inconvenientes que surgen.

En 1986, E. Drexler propuso construir objetos más grandes a partir de sus componentes atómicos y moleculares. Esta aproximación se conoce como “bottom-up” (de abajo hacia arriba) y es más cercana a la percepción de la Nanotecnología que un químico o un biólogo podrían tener. Esta aproximación es también consistente con la forma en la que trabajan los microscopios de proximidad (SPM), que pueden ser los antecesores de los “nanomanipuladores” que Drexler anticipó.

Se puede afirmar que cada problema tecnológico con una solución “top-down” presenta multitud de posibles aproximaciones del tipo “bottom-up”. Sin embargo serán las necesidades industriales y los ⇒

## A medio plazo se abandonará la Microelectrónica para entrar de lleno en la era de la Nanoelectrónica



→ **Figura 2:** Nanotubos de carbono ordenados sobre una superficie mediante técnicas de litografía electrónica (Cortesía Ken Teo, Universidad de Cambridge). La imagen ilustra el logotipo oficial de la edición del año 2004 de la conferencia Trends in Nanotechnology, celebrada en Segovia.

intereses comerciales los que determinen el tipo de solución apropiada en cada momento. Lo más razonable es pensar que dichas aproximaciones coexistirán en las factorías del futuro según el tipo de proceso que se necesite optimizar.

#### Impacto social de la revolución nanotecnológica

Predecir cuál será el impacto de un determinado avance científico o tecnológico es una tarea de alto riesgo. En el caso de la Nanotecnología, quizás el primer impacto haya sido el mediático. En pocos años lo 'nano' ha pasado de ser un tema inexistente a ser objeto de extensos reportajes en revistas de divulgación científica y a ser un tema ampliamente tratado en foros de Internet.

Sin embargo, cuando hablamos de implicaciones sociales, estas pasan por la capacidad de la Nanotecnología para generar aplicaciones y dispositivos que introduzcan verdaderos cambios en la forma de vida de las personas. El carácter multidisciplinar de la Nanotecnología determina

que la relación de posibles aplicaciones sea extensísima, pero se pueden enumerar algunos aspectos que describen la repercusión social de esta rama científico-técnica:

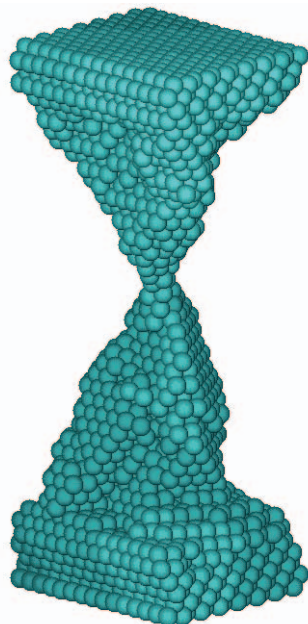
- La Nanotecnología determinará el diseño de procesos productivos eficientes, logrando ahorro considerable en materiales estratégicos. Muchos de esos procesos serán optimizados mediante el diseño de catalizadores (nanopartículas, zeolitas\*) que mejorarán el rendimiento de multitud de procesos químicos. Además, dispositivos de base nanotecnológica permitirán mejorar el filtrado de partículas contaminantes de aguas y aire. De esta manera se consolidarán métodos de producción de menor impacto medioambiental, donde se ahorren materias primas y recursos energéticos, y se controlen emisiones nocivas.
- La revolución en el sector de las Tecnologías de la Información mantendrá su vigor debido a la existencia de procesadores, memorias y periféricos más rápidos, diminutos, sofisticados y baratos. Esta

implantación masiva de nanosistemas dedicados a la adquisición, análisis y transmisión de datos seguirá profundizando la revolución que ha supuesto la llegada de la "sociedad digital". En este contexto podemos citar el uso de nanotubos de carbono como posibles elementos interconectores (metálicos o rectificadores) entre elementos activos de los circuitos. Otra de las importantes propiedades de los nanotubos es su alta capacidad de emisión de electrones. Son por lo tanto elementos que se utilizan en la fabricación de pantallas planas con ventajas frente a la de los cristales líquidos (amplio ángulo de visión, mejor brillo, etc.) (Figura 2). La empresa Motorola presentó en 2005 su primer prototipo de pantalla plana de 5 pulgadas a base de nanotubos con la expectativa de fabricar pantallas más eficientes y con un coste muy inferior al de las pantallas planas actuales. Un papel especial está reservado a las moléculas que formaran parte de los nanocircuitos debido a las propiedades electrónicas específicas con que pueden ser diseñadas. ⇒

(\*) medios porosos altamente cristalinos de poros de dimensiones moleculares

## Las expectativas de la Nanotecnología en las Ciencias Médicas son muy grandes en áreas como el diagnóstico precoz o el tratamiento de enfermedades

• La Nanotecnología se enfocará a la creación de nuevos materiales (se puede hablar de “nanomateriales”), de excelentes prestaciones mecánicas y menor peso, aunque también se podrán optimizar en ellos otras propiedades como el aislamiento térmico, la conductividad eléctrica, la funcionalidad de sus superficies, etc. Estos nuevos materiales poseerán un marcado carácter multifuncional. Entre los nanomateriales que serán desarrollados destacan aquellos dedicados al almacenamiento energético, a la fabricación de células solares más eficientes, etc. De nuevo, los nanotubos de carbono se presentan como elementos cruciales en el desarrollo de nanomateriales debido a que presentan una resistencia a tracción mejor que la del acero pero siendo mucho más ligeros. Imaginemos el impacto en las tecnologías del transporte que puede suponer la aparición de vehículos, aviones, etc. con una tercera o cuarta parte del peso de los actuales. Este tipo de vehículos permitirá alargar la vida de las escasas reservas de petróleo mientras que otras alternativas se asientan de forma definitiva. Ni que decir tiene que el proceso de modelización de nanomateriales es crucial en su estudio y desarrollo. De hecho, los investigadores poseen multitud de herramientas computacionales (muchas de ellas basadas en la Física Cuántica) capaces de simular el comportamiento de estos materiales cuando son deformados, calentados, etc. (en la Figura 3 se ilustra este aspecto con un ejemplo).



– Figura 3: Imagen de la configuración atómica de un nanocontacto de níquel durante su fractura causada por estiramiento, obtenida por técnicas de Dinámica Molecular.

• La Nanotecnología permitirá desarrollar a corto plazo “nanosensores” que se producirán de forma masiva. Estos sensores de bajo coste se incorporarán a nuestra vida cotidiana en miles de aplicaciones. Las redes de “nanosensores” permitirán un control en tiempo real de la calidad de las aguas, alimentos y de la atmósfera, podrán controlar las condiciones medioambientales en viviendas, oficinas, fábricas, etc. Los nanosensores tendrán fuerte impacto en Medicina, mejorando las técnicas de diagnóstico en tiempo real, gracias a la monitorización de decenas de variables de forma fiable, rápida y barata. Los nuevos sensores

también tendrán su aplicación en el ámbito de la seguridad, proporcionando sofisticados detectores de explosivos o amenazas biológicas.

• También relacionado con la Medicina existe una línea poderosa para construir dispositivos nanométricos capaces de liberar fármacos específicos de forma local allí donde reside el problema a tratar. Dichas “nanomáquinas” serán el producto de una combinación de sensores (de origen nanoelectrónico o biológico), estructuras donde se albergará el fármaco (bien cavidades basadas en materiales porosos, sistemas que emulen membranas celulares, etc.) y un propulsor (nanomotores basados en ejemplos que la naturaleza ya nos ofrece en bacterias, espermatozoides, etc). Hoy por hoy nos debemos contentar con la existencia de “nanodosificadores”, pero las expectativas de la Nanotecnología en las Ciencias Médicas son muy grandes en áreas como diagnóstico precoz, etc.

Como puede observarse, las implicaciones de la Nanotecnología son muchas y afectan a facetas distintas de la actividad de los seres humanos. Sin embargo, se puede destacar que muchas aplicaciones de la Nanotecnología están encaminadas hacia la mejora de la salud del ser humano, y otras hacia el planteamiento de una economía basada en un desarrollo más sostenible, optimizando recursos y disminuyendo la agresión al medio ambiente. ⇔

**Imaginemos el impacto que puede suponer en el transporte la aparición de vehículos, aviones... con una cuarta parte del peso actual. Los nanotubos presentan una resistencia mejor que la del acero pero siendo mucho más ligeros**



→ Entrega de premios de la "Trends in Nanotechnology 2004", conferencia organizada por investigadores españoles y de gran prestigio internacional.

### La financiación de la investigación en Nanotecnología

La Nanotecnología está dando sus primeros pasos fuera del laboratorio, pero presenta un potencial inmenso para la fabricación de bienes de consumo tangibles que, en muchos casos, tardarán un par de décadas en ser comercializados. Debido a su fuerte impacto económico, la Nanotecnología ha suscitado el interés de organismos, instituciones y empresas de los países más desarrollados del mundo.

Desde 1997, las inversiones en Nanotecnología han ido creciendo de manera constante. En Estados Unidos diversas agencias federales lanzaron en 1996 el plan NNI (National Nanotechnology Initiative) que ha invertido más de 2.700 millones de dólares en el periodo 1997-2003 para fomentar la investigación en Nanociencia y Nanotecnología. Además de la iniciativa federal, hay que destacar el esfuerzo comparable que llevan a cabo los distintos gobiernos estatales de los EE.UU. y las empresas como Motorola, Intel, Hewlett-Packard, IBM, etc.

Los países industrializados asiáticos han promovido desde sectores industriales y gubernamentales el desarrollo de la Nanotecnología, con inversiones similares a la de EE.UU. Como ejemplo baste decir que el esfuerzo en promoción de la Nanotecnología en Japón durante el periodo 1997-2003 ha sido de 2850 millones de dólares, superior incluso al de EE.UU. Países como Taiwán y Corea han hecho grandes esfuerzos por no perder posiciones en el control de las herramientas y conocimientos de índole nanotecnológica. China también se ha incorporado recientemente a esta carrera con un gran vigor realizando inversiones millonarias en la creación de polos universitarios-industriales dedicados a la Nanotecnología.

En Europa se ha dado un serio impulso a la Nanotecnología en el VI Programa Marco de la U.E., mediante la creación del Área temática denominada "Nanotecnologías y Nanociencias, Materiales multifuncionales y nuevos procesos de producción" (NMP) que está dotada con 1.300 millones de Euros para el periodo

2003-2006, o con la creación del Programa NID dentro del plan IST (Information Society Technologies). El auge en Europa de las iniciativas dedicadas a desarrollar y divulgar la Nanotecnología ha crecido, hasta el punto de que hoy existen casi 200 redes nacionales o regionales. En el futuro VII Programa Marco la Nanotecnología mantendrá su papel estelar como lo demuestra la creación de Plataformas Tecnológicas con una fuerte componente industrial para impulsar este desarrollo tecnológico en áreas como la Nanoelectrónica (ENIAC) o la Nanomedicina (NanoMED).

### La Nanotecnología en España: más vale tarde que nunca

Ante la ausencia de un marco institucional que impulsase actuaciones para fomentar la I+D en Nanotecnología, fue la comunidad científica la encargada de promover iniciativas encaminadas a fortalecer la investigación en Nanotecnología y, de paso, a concienciar a la Administración Pública y a la industria de la necesidad de apoyar este campo emergente. Un ejemplo de estas iniciativas ha sido la formación de la Red NanoSpain, que aglutina actualmente a casi 1000 investigadores pertenecientes a 160 grupos de investigación. Otra iniciativa llevada a cabo por investigadores españoles es la organización en España de la serie de conferencias Trends in Nanotechnology, que se ha convertido en referencia mundial en el ámbito de la Nanotecnología y en la que anualmente cerca de 400 investigadores analizan la situación de este campo.

Además de estos esfuerzos por articular la interacción entre científicos que trabajan en Nanotecnología, existen otros esfuerzos de carácter más institucional como la creación ⇒

## Estados Unidos y Japón se encuentran a la cabeza de la investigación de nanomateriales

## La Nanotecnología se presenta como una línea de investigación prioritaria en España, con una dotación de 12 millones de Euros por año

del Laboratorio de Nanobioingeniería (Parque Científico de Barcelona), del Instituto de Nanotecnología de Aragón y del Laboratorio de Nanotecnología de la Universidad de Oviedo. En algunos casos, las Administraciones regionales han apoyado otras iniciativas, como la creación del Círculo de Innovación Tecnológica en Microsistemas y Nanotecnologías de la Comunidad de Madrid o de las redes NanoGalicia y Saretek. Quizás la actuación de la Generalitat de Cataluña ha sido la más decidida, promoviendo una Acción Especial para el desarrollo de la Nanociencia y de la Nanotecnología en Cataluña, convocando becas para estancias postdoctorales en centros de referencia, creando un Centro de Referencia de Bioingeniería de Cataluña, y el Instituto Catalán de Nanotecnología. Además, existe un claro acercamiento a la Nanotecnología por parte de los Centros Tecnológicos como TEKNIKER, INASMET, CIDE-TEC, IKERLAN, LABEIN, etc sabedores de que la presencia competitiva en Europa implica una fuerte apuesta en este campo. A otra escala, la Fundación de Ciencia y Tecnología (FECyT) promovió en el periodo 2004-2005 una Acción Piloto para el desarrollo de las Nanotecnologías.

Todas estas iniciativas de investigadores españoles junto con la influencia decisiva de las tendencias observadas en la Unión Europea han logrado que la Adminis-

tración Pública muestre su interés por este campo científico-tecnológico. Así, en el Plan Nacional de I+D+i para el periodo 2004-2007, la Nanotecnología se presenta como una línea de actuación prioritaria. En concreto, se ha definido una "Acción Estratégica en Nanociencia y Nanotecnología", con una dotación de 12 millones de Euros por año, que tiene entre sus objetivos mejorar las infraestructuras de uso compartido, formar técnicos cualificados y desarrollar una serie de actuaciones que intenten atraer al sector industrial hacia el ámbito de la I+D.

### Conclusiones

La Nanociencia y la Nanotecnología representan áreas científico-técnicas que han pasado, en menos de dos décadas, de las manos de un reducido grupo de investigadores que vislumbraron su gran potencial a constituir uno de los pilares reconocidos del avance científico durante las próximas décadas. La capacidad de manipular la materia a escala atómica ha permitido plantear la posibilidad de diseñar y fabricar nuevos materiales y dispositivos de tamaño nanométrico. Dicha posibilidad alterará por un lado los métodos de producción en fábricas, permitiendo optimización y automatización de procesos, contribuyendo a un desarrollo sostenible. Por otro lado, la revolución nanotecnológica impondrá un ritmo más fuerte en la imparable expansión de las tec-

nologías de la información, haciendo que la globalización de la economía, la propagación de ideas, el acceso a las distintas fuentes de conocimiento, la mejora de los sistemas educativos, etc, sigan sucediéndose vertiginosamente. Finalmente, la irrupción de las Nanotecnologías incidirá directamente en el ser humano mediante mejoras sustanciales en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, o la mejora de nuestras capacidades para interaccionar con el entorno.

Se puede afirmar, por lo tanto, que nos encontramos ante un nuevo paradigma científico de carácter multidisciplinar, donde Física, Química, Ingeniería, Biología, Medicina, Ciencia de Materiales, y Computación convergen, sin que esto signifique que haya que abandonar las perspectivas de partida. Lo que sí se hace imprescindible es establecer enlaces entre las comunidades científicas, buscar puntos de encuentro y promover la existencia de grupos multidisciplinarios donde se fraguen soluciones imaginativas a los problemas que se planteen en la nanoescala. ■

#### Más información:

- Red NanoSpain  
<http://www.nanospain.org>
- Conferencias Trends in Nanotechnology  
<http://www.tnt2005.org>
- Fundación de Ciencia y Tecnología  
<http://www.fecyt.es>

## Los nanomateriales tendrán menor impacto medioambiental, al ahorrar en materias primas, energía y poder controlar mejor las emisiones nocivas

•Isla Ramos Chaves. Directora general de Lenovo España\*

# EVOLUCIÓN DE LOS ORDENADORES PERSONALES: HACIA LA INFORMÁTICA AUTÓNOMA

¿Qué pasaría si los ordenadores contuvieran procesos automáticos que les permitieran autoregularse sin necesidad de intervención humana? Los estudios llevados a cabo por Lenovo ponen de manifiesto que este futuro está más cerca de lo que pueda parecer. Los sistemas informáticos con capacidad de autoconfiguración, autoprotección, autodiagnóstico y autoreparación son el presente y futuro de la informática personal.



→ Para simplificar la gestión de contraseñas y aumentar la seguridad de los ordenadores, se están empezando a utilizar sistemas que identifican al usuario con su huella dactilar.

Hace 24 años el primer ordenador personal vió la luz. De la mano de IBM, el 12 de agosto de 1981 se presentó el primer PC compatible, que revolucionaría el sector informático mundial. Su introducción en el mercado supuso la entrada

de los ordenadores en los hogares de todo el mundo y una nueva forma de concebir el trabajo. Este primer ordenador personal integraba un microprocesador Intel 8088 de 16 bits a 4,7 MHz, 16 KB de memoria RAM, pantalla de 11,5"

en blanco y negro y sin soporte para gráficos. Su teclado tenía 83 teclas y algunos modelos tenían también disquetera. El sistema operativo que integraba era el IBM PC DOS (antecesor del MS-DOS) y ofrecía conexiones para impresoras y otros dispositivos.

Presentado como “una computadora de bajo precio que tendrá una gran aceptación social”, tuvo un precio inicial de 3.280 dólares (400.000 pesetas de la época). Aunque las previsiones de venta iniciales fueron de 241.683 dólares (unos 45 millones de pesetas) para los cinco años siguientes, esa cifra fue superada en tan sólo un mes. En diciembre de 1984, ya se habían vendido más de 250.000 PCs.

Los analistas de aquella época predijeron que a final del siglo XX estarían en uso unos 80 millones de PCs. Sin embargo, la realidad es que a finales del año 2000 había más de 500 millones de PCs. La puesta en el mercado del PC -una herramienta revolucionaria para la época- marcó un hito en la historia de la informática personal. ⇨

(\*) Lenovo es la multinacional recientemente creada tras la adquisición de la división de ordenadores personales de IBM por parte de Lenovo Group.

**De la misma manera que respiramos, laten nuestros corazones o sudamos cuando tenemos calor, actualmente se trabaja en el desarrollo de tecnologías que liberen al usuario de múltiples tareas relacionadas con la gestión de los ordenadores.**

### Presente y futuro de la informática personal

Lejos de las posibilidades que ofrecía el primer PC, los ordenadores han ido incrementado de forma extraordinaria su potencia y capacidad a lo largo de los años. No obstante, procesador, memoria y disco duro han acabado convirtiéndose en estándares que los fabricantes actualizan periódicamente y que, por lo tanto, ya no marcan las diferencias entre unos equipos y otros. A pesar de los avances conseguidos en velocidad, gráficos y capacidad de almacenamiento, existen nuevos retos en el desarrollo de ordenadores personales, desde elementos de diseño hasta soluciones y aplicaciones que hagan más sencilla y “amigable” su utilización.

Lenovo mantiene un fuerte compromiso con la innovación como

elemento clave para diseñar equipos que respondan a las nuevas necesidades de los usuarios y a la vez fomenten el desarrollo de la Sociedad de la Información. Para Lenovo, el ordenador personal ha pasado a un nuevo estadio en su evolución, en el que la innovación tecnológica debe estar orientada a incrementar los niveles de seguridad de los equipos y simplificar su utilización, gestión y mantenimiento, ya que todavía requieren una gran inversión de tiempo y recursos para su configuración, actualización y reparación.

Estas premisas cobran mayor importancia si cabe en el caso de los equipos portátiles, ya que la información confidencial que contienen viaja de un lugar a otro y, la mayoría de las veces, los usuarios se encuentran lejos del centro de soporte técnico.

En definitiva, se trata de diseñar ordenadores que disminuyan la complejidad de la interacción con las personas, que se utilicen de forma intuitiva y sean “transparentes” para el usuario, de forma que éste sólo tenga que centrarse en lo que quiere hacer con el ordenador sin tener que conocer los procesos o la operativa que se esconden detrás de la realización de tareas.

Por este motivo, Lenovo ya está incorporando en sus ordenadores personales una serie de soluciones tecnológicas exclusivas, denominadas tecnologías ThinkVantage, que ayudan al usuario a utilizar y gestionar el equipo a la vez que protegen la información, como primer paso de la evolución hacia lo que denominamos “informática autónoma”.

### Hacia los PCs autónomos

¿Qué pasaría si los ordenadores contuvieran procesos automáticos que les permitiera gestionarse sin necesidad de intervención humana?

La informática autónoma utiliza el cuerpo humano como modelo ideal. De la misma manera que respiramos, laten nuestros corazones, sudamos cuando tenemos calor o nuestros ojos parpadean cuando están secos, Lenovo está trabajando en el desarrollo de tecnologías que liberen al usuario de múltiples tareas relacionadas con la gestión de los ordenadores y les permita concentrarse exclusivamente en su actividad. ⇒



## Los sistemas operativos de emergencia representan un avance significativo, ya que permiten operar con el equipo incluso cuando no es posible iniciar Windows.

El objetivo de la informática autónoma es reducir el número, la complejidad y la duración de las intervenciones humanas en los sistemas informáticos utilizando tecnología capaz de auto-gestionarse, de ajustarse a circunstancias variables y de crear

recursos para llevar el trabajo a cabo de forma eficiente.

Por este motivo, los dispositivos personales deben adaptarse a nuestro ritmo de vida e integrarse de forma natural en nuestra realidad cotidiana. Para que esto sea

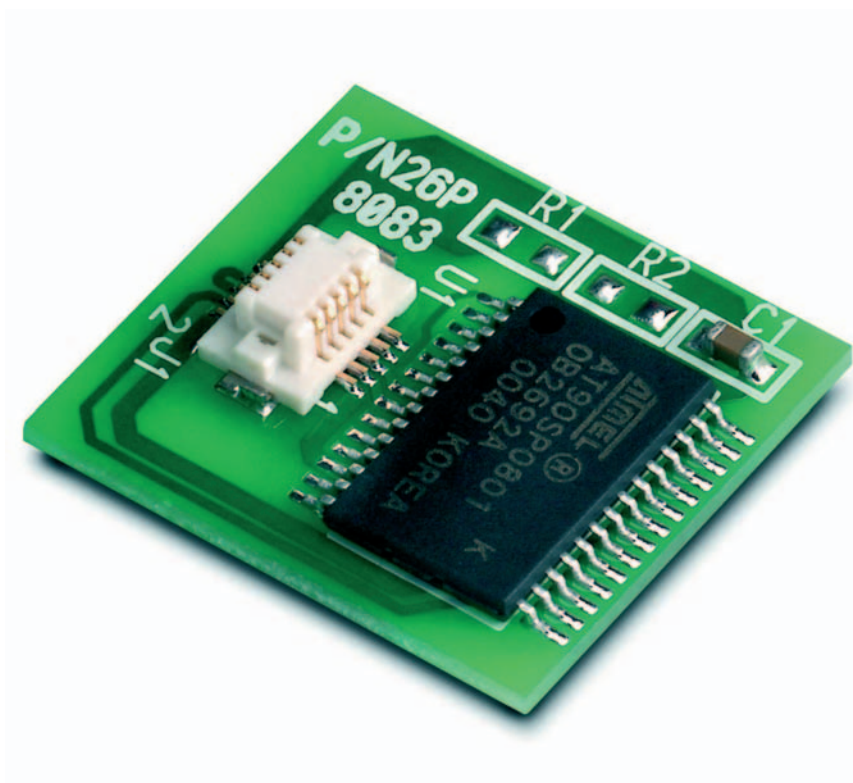
posible, los equipos deben de ser fáciles de usar y ofrecer una serie de prestaciones en materia de seguridad, portabilidad, autonomía y conectividad, que están marcando el camino en la evolución de la informática personal.

### Seguridad

La seguridad se ha convertido en un factor crítico en el ámbito de la informática personal, especialmente a raíz del incremento de la utilización de ordenadores portátiles y del desarrollo de la tecnología inalámbrica. Podemos abordar las cuestiones de seguridad desde distintos ángulos, desde la protección física de los equipos, hasta la prevención de accesos no deseados o el ataque de virus.

Para nosotros, la seguridad es un elemento clave y por eso hemos desarrollado diversas soluciones que cubren todos estos frentes. En la protección de los equipos influye hasta la elección de los materiales utilizados en su fabricación. Materiales como el titanio, el magnesio o la fibra de carbono son a la vez ligeros y altamente resistentes.

Con el fin de proteger la información almacenada en los ordenadores portátiles hemos desarrollado un sistema automático de protección del disco duro que evita la pérdida de datos. Está basado en una tecnología similar a la utilizada en los automóviles para activar los airbags en caso de impacto. Utiliza un chip en la placa del sistema que detecta cualquier movimiento brusco y responde bloqueando el disco duro hasta que el sistema se estabilice de nuevo. Esta respuesta instantánea evita los ⇒



posible, los equipos deben de ser fáciles de usar y ofrecer una serie de prestaciones en materia de seguridad, portabilidad, autonomía y conectividad, que están marcando el camino en la evolución de la informática personal.

### Tecnologías ThinkVantage

Hoy en día, la informática está íntimamente ligada a nuestras vidas; está presente en nuestra actividad profesional, en los centros educativos, en los hogares, e incluso nos acompañan en todo momento gracias al desarrollo y proliferación de dispositivos móvi-

daños en el disco duro que, con el tiempo, pueden provocar un fallo general del mismo y una pérdida total de los datos.

Asimismo, hemos dotado a todos nuestros ordenadores de un conjunto de herramientas ubicadas en un sistema operativo de emergencia que crea un entorno totalmente aislado para la restauración del equipo y la recuperación de datos, con un segundo sistema operativo independiente. Con solo pulsar una tecla, el usuario puede acceder de forma sencilla y directa a una serie de herramientas que le permiten solucionar muchos de los problemas comunes de los PCs, como ataques de virus, pérdida de archivos del sistema y fallos en los controladores de software.

El sistema operativo de emergencia, que funciona incluso cuando no es posible arrancar Windows, permite al usuario realizar numerosas tareas, como acceder a Internet, obtener soporte remoto, enviar correos electrónicos, o recibir archivos críticos del servicio de soporte o de cualquier otro usuario. Esta solución representa un gran avance respecto a las soluciones de recuperación tradicionales ya que permite al usuario operar con el equipo, restaurar el sistema y recuperar la información perdida aunque no sea posible iniciar Windows, ampliando las posibilidades del usuario de recibir soporte técnico.

El ataque de virus también es un problema cada vez más frecuente. Para elevar el nivel de protección de los equipos, hemos incorporado un software que ayuda a los departamentos de informática a prevenir los ataques de virus y gusanos. Esta solución permite a las compañías realizar actualiza-

ciones en todos los equipos de la empresa de forma eficiente y segura, y establece políticas de seguridad de forma que los PCs puedan acceder a estas actualizaciones e instalarlas de forma rápida, o desconectarse de la red de forma automática para impedir la difusión de los virus.

Por último, con el objetivo de evitar accesos no deseados y simplificar la gestión de las contraseñas, estamos incorporando en nuestros portátiles un sistema integral de seguridad basado en tecnología biométrica. Combina un lector de huellas dactilares integrado en el equipo con un chip de seguridad y un software avanzado que incluye un gestor de contraseñas fácil de instalar y utilizar. Permite identificar al usuario mediante el escaneo de su huella dactilar o combinar este sistema con el procedimiento de contraseñas tradicional para crear dos niveles de protección. Estos tres elementos -lector, chip y software de seguridad- funcionan de forma integrada para ofrecer el máximo nivel de seguridad de la industria, evitando accesos no deseados a la información confidencial.

#### Conectividad

La posibilidad de conexión es un aspecto que está cobrando gran importancia, de la mano del desarrollo de la tecnología inalámbrica y la proliferación de "hots spots" (puntos de acceso público). Hoy en día resulta fundamental que los equipos integren todas las posibilidades de comunicación, tanto por cable como inalámbricas -Bluetooth, Wi-Fi, infrarrojos, Ethernet, modem, etc.-, pero no basta con que el ordenador tenga la capacidad de conectarse, sino que en la práctica resulte sencillo.

Nuestra experiencia nos dice que a la mayoría de usuarios les

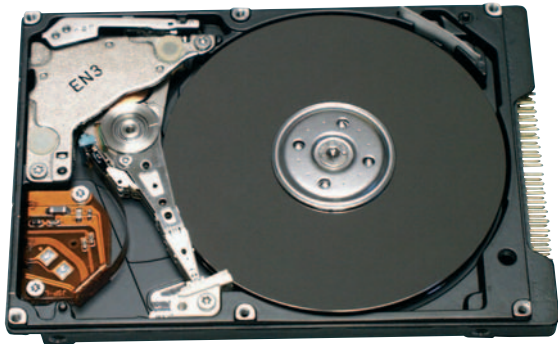


→ Mejorar la facilidad de manejo de los ordenadores es otro aspecto que preocupa al sector de la informática.

resulta extremadamente complicado conectarse a una red inalámbrica o pasar de un entorno de conectividad a otro, ya que requiere de su intervención para introducir distintos parámetros de configuración.

Para evitar este problema, hemos desarrollado de un programa de asistencia que permite al usuario crear, gestionar y distribuir perfiles de comunicación. Cada perfil guarda la personalización de la red, Internet, programas y dispositivos necesarios para cada una de las conexiones, dependiendo de la ubicación en que se encuentre el usuario: el hogar, el lugar de trabajo, el aeropuerto, etc. Seleccionando el perfil adecuado es muy sencillo conectarse a una red sin la necesidad de configurar manualmente los parámetros para esa conexión y sin tener que apagar y encender el ordenador cada vez que los modificamos.

Este gestor de comunicaciones permite al usuario trabajar con un amplio espectro de conexiones disponibles, determinar automáticamente la conexión LAN más rápida y alternar entre las diferentes conexiones según la prioridad y la velocidad. Almacena las configuraciones de red, tanto inalámbricas ⇒



como por cable, para que los usuarios puedan cambiar de forma fácil y segura de un entorno a otro. Adicionalmente, ofrece herramientas de diagnóstico muy visuales que ayudan al usuario y al soporte técnico a resolver conflictos.

#### Autonomía

Si, como hemos dicho anteriormente, la tecnología tiende a estar cada vez más presente en el desarrollo de nuestra actividad diaria, la autonomía también resulta un factor fundamental para garantizar la continuidad del servicio de los dispositivos que nos acompaña en nuestra vida cotidiana. Así pues, la duración de la batería de los equipos es también un aspecto clave. Sin duda, las características técnicas de la batería, como el número de celdas, el material utilizado o el tiempo de recarga, tienen que ser tomadas en consideración a la hora de elegir un dispositivo portátil, y por descontado que es una línea importante de investigación, pero todavía podemos ir más allá.

Aparte de la capacidad de la batería, podemos maximizar su autonomía controlando distintas variables que inciden especialmente en

su duración. Este es el planteamiento en el que se basa el sistema inteligente de gestión de la batería que hemos desarrollado, y que permite al usuario controlar parámetros como la velocidad del procesador y del ventilador para prolongar su autonomía y mejorar su rendimiento. Este sistema incluye una serie de funciones y características adicionales que permiten al usuario crear patrones de batería personalizados para sus necesidades, o comprobar la capacidad de carga y el tiempo restante mediante una pestaña informativa que actúa como centro de control.

#### Facilidad de uso

Tal como hemos comentado, no es suficiente con que los ordenadores sean capaces de hacer las cosas más diversas, sino que los usuarios puedan realizar todas las tareas de forma autónoma y sencilla, sin tener que dedicar gran parte de su tiempo a gestionar los equipos o recurrir al servicio técnico. Sin duda, cuanto más fácil e intuitiva sea la utilización de los ordenadores, antes se romperán algunas de las barreras que dificultan el desarrollo de la Sociedad de la Información.

Así pues, el usuario deberá tener a su disposición el máximo de información posible sobre su sistema para poder sacarle el máximo partido sin tener que recurrir a profesionales especializados. Por ejemplo, una tecla de acceso directo a un portal de soporte con recursos, herramientas de diagnóstico, soluciones automatizadas, enlaces con actualizaciones y servicio online, resulta de gran utilidad, y evita que el usuario tenga llevar consigo manuales y guías de producto. Otras aplicaciones que hemos incorporado realizan una actualización automatizada del software del sistema operativo y dispositivos de la máquina de forma transparente o migran de forma automática nuestros perfiles personales de un ordenador a otro cuando deseamos renovar nuestro equipo.

#### Informática transparente

Las capacidades de la informática autónoma son un componente básico de las tecnologías ThinkVantage, que ya estamos incorporando en nuestros ordenadores. No obstante, todavía queda mucha camino por recorrer en este sentido, por lo que la investigación de Lenovo se centra en desarrollar sistemas informáticos con capacidad de autoconfiguración, autoprotección, autodiagnóstico y autoreparación -capaces de anticiparse a las situaciones y de adaptarse a circunstancias variables-, que liberen completamente al individuo de las tareas de gestión y le permitan interactuar de forma totalmente transparente con los ordenadores. Parece ciencia ficción, pero probablemente podamos disfrutar de esta experiencia en un futuro no muy lejano. ■

**Con el fin de proteger de golpes a los ordenadores portátiles se ha desarrollado un sistema de protección similar al que utilizan los automóviles para activar el airbag.**



•Juan José García Ripoll.

•J. Ignacio Cirac.

Instituto Max-Planck de Óptica Cuántica, Garching (Alemania)

# TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN CUÁNTICA

## LA ÚLTIMA FRONTERA DE LA INFORMÁTICA

Los expertos pronostican que a partir de 2020 será imposible miniaturizar aún más los ordenadores fabricados con la tecnología actual. Vendrán entonces las nuevas generaciones de chips: primero serán los moleculares, posteriormente los de tamaño atómico, y finalmente los cuánticos, los más revolucionarios y sorprendentes, la verdadera última frontera de la computación.

El año en el que nos encontramos es ciertamente el Año Mundial de la Física, pero también es un año más en la denominada “Era de la Información”, en el que la oferta y la demanda de datos, sean éstos páginas Web, música, noticias, videos, etc... están llevando al límite los recursos tecnológicos de que disponemos, tanto a nivel de almacenamiento masivo, como de procesamiento y comunicación.

Por poner un ejemplo, en el caso de los ordenadores la tendencia gene-

ral consiste en miniaturizar los circuitos electrónicos, de forma que no sólo tengamos más elementos de computación en cada microchip, sino que además los electrones, portadores de la información, se puedan mover más rápidamente entre ellos. El problema es que, dado el ritmo de miniaturización actual, muy pronto nos encontraremos con circuitos en los que los transistores, compuestos de muy pocos átomos, dejarán de funcionar como tales. Es el “límite cuántico”, una frontera infranqueable, en

la que electrones y átomos se comportan a la vez como ondas y como partículas y pueden, por ejemplo, saltar de un elemento conductor a otro (Fig. 1). ⇔



→ Figura 1: Para un electrón, los conductores de un microchip son pozos de potencial en los que se mueven libremente. Cuando los circuitos integrados se hacen demasiado pequeños, las reglas de la Mecánica Cuántica permiten a los electrones pueden atravesar las separaciones aislantes entre conductores.

Algo de esta dualidad onda-corpúsculo encontramos ya en el artículo de Einstein de 1905 dedicado al efecto fotoeléctrico, y que forma parte de los cimientos de la Mecánica Cuántica. Más tarde Einstein se ocuparía también de esa teoría, aparentemente aleatoria y que él consideraba incompleta, en otro artículo, no por incorrecto menos memorable, conocido como la “paradoja de Einstein-Podolski-Rosen”. Pese a las objeciones de Einstein y muchos otros científicos, la Mecánica Cuántica se ha seguido desarrollando hasta nuestros días, permitiéndonos explicar con satisfacción el mundo de lo muy pequeño, desde el átomo de hidrógeno hasta los superconductores, y en los últimos años sugiriendo incluso una solución alternativa al problema de la información.

Hablamos de la Teoría de la Información Cuántica (I.C.), un campo de investigación relativamente joven, que propone emplear sistemas cuánticos para almacenar y procesar información de manera más eficiente que por medios clásicos. La idea básica es muy sencilla y utiliza el principio de superposición de la Mecánica Cuántica: un sistema físico (electrón, fotón, átomo...) puede encontrarse en una superposición de dos o más estados medibles. Por ejemplo, los electrones tienen un momento angular intrínseco, el espín, que dada una dirección puede estar “apuntando hacia arriba”, o “hacia abajo”. Pero un electrón también puede, por ejemplo, encontrarse en un estado intermedio con el 50% de probabilidad de cada sentido, y denotado por:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\uparrow\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\downarrow\rangle$$

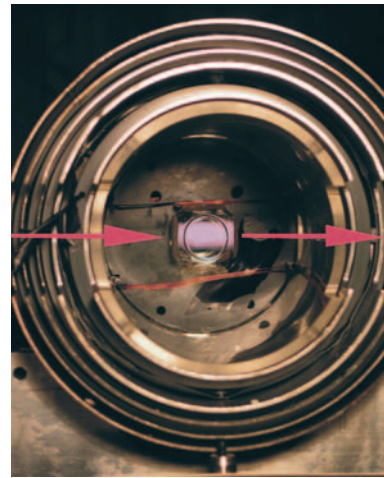
Cualitativamente, a pesar de ser nuestra partícula un sistema aparentemente biestable (los dos valores del espín), podemos usar superposiciones para almacenar más información que en el sistema binario {0,1} de los dispositivos digitales clásicos. Sin embargo, hay dos diferencias fundamentales entre un bit cuántico o qubit y la información clásica. La primera es que, hasta que no medimos el estado del electrón, éste permanece indeterminado. Ahora bien, una vez realizamos la medida, el electrón estará siempre en uno de los dos estados posibles. La segunda diferencia es que para caracterizar completamente el estado de un qubit, esto es, para conocer las probabilidades de que el espín tenga un valor u otro, debemos hacer muchas medidas sobre sistemas idénticos.

## La imparable demanda de información está llevando al límite los recursos tecnológicos disponibles.

Precisamente la imposibilidad de determinar completamente un sistema cuántico arbitrario con una única medida, junto a la imposibilidad de realizar copias idénticas, constituyen los pilares de la Criptografía Cuántica, la primera rama de la I.C. con aplicaciones tecnológicas.

Un tercer concepto fundamental es el “entanglement”, que aquí traduciremos como “entrelazado”, y que consiste en la existencia de fuertes correlaciones entre los componentes de un sistema cuántico. Tomemos por ejemplo:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\uparrow, \uparrow\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\downarrow, \downarrow\rangle$$

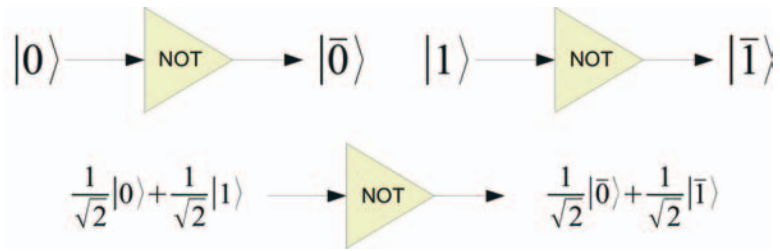


– Figura 2: Una celda de vidrio empleada en los experimentos de entrelazado y memoria cuántica en el instituto Niels Bohr, Copenhague (<http://quantop.nbi.dk/>). Cada celda contiene vapor de cesio y está en un cilindro metálico para evitar la influencia de campos magnéticos externos. La luz sigue el camino marcado en rojo y transmite su información a los átomos. (Cortesía de E. Polzik)

La ecuación anterior nos describe el estado de una pareja de electrones. Si medimos el espín de un electrón, encontraremos los valores “arriba” o “abajo” con igual probabilidad. Ahora bien, siempre sabremos que el otro electrón se encuentra en el mismo estado, incluso sin medirlo. Lo que podemos hacer ahora es repartir estas dos partículas entre dos puntos alejados, p.ej. Madrid y Barcelona, y emplear estas correlaciones para transmitir información de forma segura. La seguridad en este tipo de comunicación o Criptografía Cuántica viene dada por las leyes de la Física: un observador externo no puede influir la comunicación sin ser detectado, esto es, sin destruir el estado cuántico correlacionado. ⇒

La Teoría de la Información Cuántica es un campo de investigación a caballo entre la Matemática Aplicada y la Física Matemática, que se estudia cómo almacenar, procesar y distribuir información empleando las leyes de la Mecánica Cuántica. De una forma abstracta, se encuentran respuestas a preguntas como, “¿Cuánta información clásica (= binaria) se puede almacenar en un qubit?” “¿Cómo caracterizar y utilizar los estados entrelazados?” “¿Cómo corregir los errores que se producen al manipular la información con un sistema físico determinado?”...Cuestiones similares que ya se han resuelto en el desarrollo de la informática clásica.

Aparte de estos problemas fundamentales, quizás uno de los retos más interesantes sea diseñar dispositivos para el procesamiento de la I.C. Nos referimos, por ejemplo, a memorias, canales de comunicación, o incluso el equivalente de los computadores actuales. La primera pregunta que uno se hace al abordar semejante problema es qué sistemas físicos son aptos para almacenar, transmitir y procesar información cuántica. Desgraciadamente no existe una única respuesta. Por un lado, los fotones o partículas de luz se pueden emplear como qubits y transmitir a largas distancias sin errores y son el sistema ideal para comunicaciones cuánticas. Así, como mencionábamos anteriormente, las primeras aplicaciones comerciales de I.C. son sistemas criptográficos que, bien a través del aire libre o por medio de fibras ópticas, emplean luz coherente para transmitir información de manera segura.



~ Figura 3: Una puerta cuántica puede operar sobre superposiciones de dos valores distintos y proporcionar ambos resultados a la vez.

Por el contrario, si lo que deseamos es almacenar y manipular la información, es posible que los átomos sean los mejores candidatos para nuestro diseño. Los átomos, al contrario que los fotones, son capaces de interactuar entre sí, se pueden atrapar y, bajo condiciones adecuadas de aislamiento, pueden preservar su estado cuántico durante años. Todas estas propiedades los convierten en elementos ideales para memorias y computadores cuánticos.

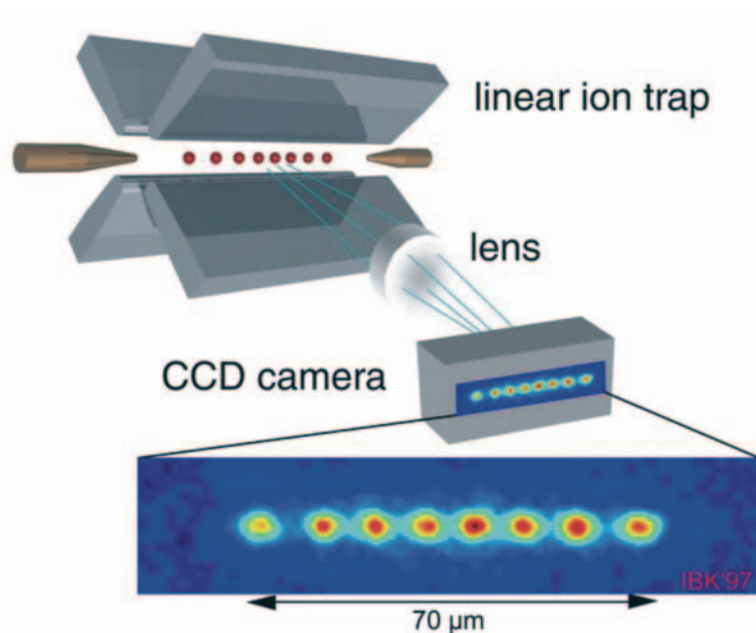
A modo de ejemplo, en la figura 2 vemos el montaje experimental empleado por el grupo del Prof. Polzik (Instituto Niels Bohr, Copenhague, Dinamarca) para crear una memoria cuántica. En este diseño, la información almacenada en la polarización de los fotones se transmite a todo una nube de átomos de cesio encerrados en celdas de cristal. Este proceso es reversible y por medio de múltiples haces de luz láser podemos leer, borrar y reescribir el estado de los átomos tantas veces como queramos. Resulta interesante pensar que, cualitativamente hablando, cada una de las celdas de vapor

se comporta a todos los efectos como un qubit. Las leyes de la Mecánica Cuántica se manifiestan por tanto no sólo a nivel microscópico, sino también a nivel mesoscópico. Nada nos impide, por ejemplo, crear estados entrelazados entre dos o más celdas de vapor, ¡cada una con cientos de miles de átomos!

Sin embargo, la propuesta más arriesgada y también la que más atención atrae sobre I.C. es la posibilidad de crear ordenadores más potentes que los actuales. Tan potentes que serían capaces incluso de descifrar códigos como los que empleados habitualmente en las transacciones bancarias o al comprar por Internet.

La idea principal es el paralelismo inherente a la Mecánica Cuántica. Para entenderlo volvamos a nuestro amigo el electrón y supongamos que identificamos los estados de espín arriba y abajo con el 0 y el 1 de un ordenador. Supongamos además que, como muestra la figura 3, tenemos una puerta lógica que realiza la operación NOT sobre este bit, esto es, invierte su valor. En un ordenador clásico, si queremos calcular esta operación  $\Rightarrow$

**En los últimos años han surgido soluciones alternativas al problema de la información: hablamos de la Teoría de la Información Cuántica.**



→ Figura 4: Una trampa de Paul con ocho iones (Cortesía de R. Blatt, Universidad Innsbruck, Austria)

sobre el 0 y el 1 tenemos que hacerlo secuencialmente: primero introducir el 0 y luego el 1. En cambio, si la puerta lógica actúa de acuerdo a las reglas de la Mecánica Cuántica podemos introducir una superposición de ambos valores: ¡La puerta calculará los dos resultados NOT(0) y NOT(1) a la vez!

Naturalmente, no es oro todo lo que reluce y, recordando lo que decíamos anteriormente, para recuperar los dos resultados habrá que hacer por lo menos dos medidas. Sin embargo, existen ciertos algoritmos para los cuales este tipo de operación en paralelo produce una ganancia exponencial en tiempo y recursos computacionales. Algunos de estos algoritmos, como la factorización de números enteros, bastarían para romper

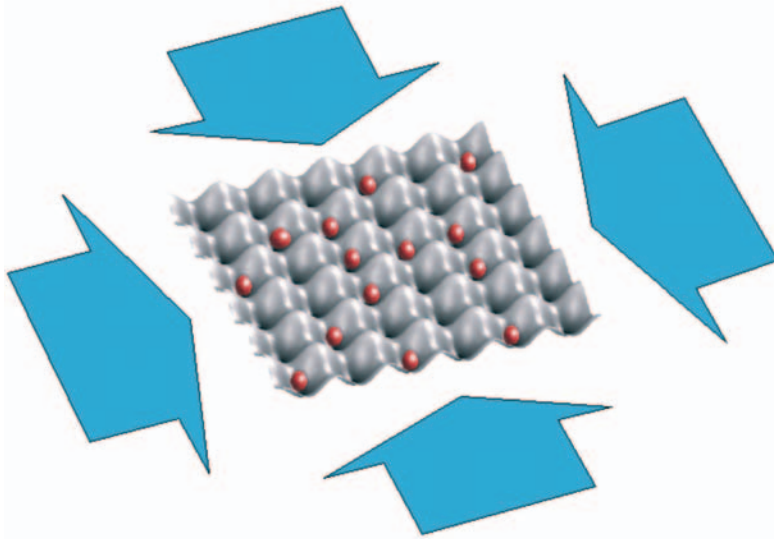
todos los códigos de criptografía clásica conocidos.

Existen numerosas y muy diferentes ideas sobre cómo implementar un computador cuántico universal. Entre los sistemas propuestos encontramos fotones y óptica lineal, superconductores, impurezas y defectos en semiconductores, átomos neutros atrapados con láseres, iones atrapados con trampas electromagnéticas, resonancia magnética nuclear con macromoléculas (R.M.N.),... De todos los candidatos, la R.M.N. y los iones atrapados son los dos sistemas más avanzados experimentalmente, si bien parece que sólo los diseños basados en iones son lo bastante escalables como para considerar aplicaciones realistas.

Como muestra la figura 4, un computador cuántico basado en iones consiste esencialmente en una distribución de átomos cargados (p.ej. berilio, calcio, etc), confinados por medio de una matriz de campos electromagnéticos oscilantes. Cada ión tiene dos o más estados internos con una vida media extremadamente larga (segundos en el peor de los casos, años en otros), que podemos denotar como “arriba” y “abajo”, ó “0” y “1”. Utilizando una técnica conocida como enfriamiento “side-band”, es posible dejar a los iones casi en reposo –tanto como lo permiten las leyes de la Mecánica Cuántica–. Gracias a esto y a que la repulsión electrostática mantiene a los átomos bastante separados, podemos leer y escribir en cada uno de ellos al menos un qubit de información cuántica, que se guarda en el estado interno del átomo. Sin embargo, para realizar computaciones cuánticas hace falta algo más: necesitamos poder crear estados entrelazados de dos o más átomos. Ésto se consigue manipulando las interacciones entre iones mediante láseres y campos magnéticos.

Todos los elementos necesarios para la computación cuántica con iones, esto es, el atrapamiento y enfriamiento, la lectura y la escritura de los iones, así como el control de las interacciones, han sido realizados experimentalmente en los grupos de D. Wineland (NIST, Boulder, USA) y R. Blatt (Univ. de Innsbruck, Austria). Sin embargo, los experimentos actuales son muy aparatosos y se ven limitados a un número pequeño de átomos y de ⇒

**La Teoría de la Información Cuántica permite crear ordenadores de tal potencia que serían capaces de descifrar códigos como los que actualmente se utilizan en las transacciones bancarias por Internet.**



– Figura 5: En una red óptica, haces de luz coherente crean una onda estacionaria que confina átomos individuales en los mínimos de intensidad.

operaciones. El siguiente reto es principalmente tecnológico y consiste en desarrollar trampas micro-fabricadas, capaces de acoger muchos más iones y de trabajar en paralelo para incrementar el poder de computación.

Por decirlo de otra forma, nos encontramos en la actualidad a un nivel comparable a cuando Shockley, Bardeen y Brattain desarrollaron el primer transistor, mientras que nuestro objetivo es construir algo comparable a las calculadoras actuales, compuestas de miles de transistores. Hay pues un largo camino por recorrer, pero entre medias hay también objetivos más modestos y aplicaciones interesantes aún por descubrir, a la vez que se está avanzando a pasos agigantados en el control de los sistemas cuánticos, llámense éstos fotones, electrones o átomos.

Precisamente una de esas aplicaciones interesantes es el desarrollo de un “simulador cuántico”. Anteriormente mencionamos que algunos problemas se resolverían más fácilmente en un computador cuántico. Uno de esos

problemas consiste en simular otros sistemas cuánticos. Se trata, además, de un tema importante: hay muchos problemas físicos, como el doblado de proteínas, la superconductividad de alta temperatura o los sistemas aleatorios, que involucran modelos matemáticos extremadamente complicados, intratables con las técnicas analíticas o recursos computacionales existentes. Sin embargo sería relativamente fácil, de tener un ordenador cuántico, obtener información sobre el estado fundamental y las propiedades de estos sistemas. Para simular muchos de estos problemas físicos no necesitamos los requerimientos de precisión y control exigidos por un computador cuántico universal. En muchos casos nos basta con unas decenas de átomos y una serie de trampas electromagnéticas y láseres para controlar sus interacciones.

Un ejemplo paradigmático de simulación cuántica lo encontramos en las redes ópticas. Se trata de un conjunto de haces láser que dan

lugar a una onda estacionaria de luz, atrapando átomos neutros en los máximos o mínimos de intensidad. Como la figura 5 muestra, el efecto es similar a un “cartón de huevos”, donde cada hueco contiene muy pocos átomos. Gracias a que el espaciado entre celdas es muy pequeño (700 nanómetros), las leyes de la Mecánica Cuántica permiten a los átomos saltar de un sitio a otro, de forma similar a como los electrones se mueven en algunos sólidos. De hecho, colocando el tipo preciso y la cantidad adecuada de átomos en la red, será posible simular desde materiales magnéticos hasta superconductores. Experimentalmente, el desarrollo de las redes ópticas está muy avanzado, siendo liderado por los grupos de I. Bloch (Mainz, Alemania), T. Esslinger (Zurich, Suiza) y R. Grimm (Innsbruck, Austria), y habiéndose simulado ya algunos problemas sencillos con Hamiltonianos de Hubbard bosónicos y fermiónicos.

Si bien en este breve artículo hemos hecho énfasis en conceptos muy básicos y en algunos avances experimentales, la Teoría de la Información Cuántica es un campo que genera y precisa importantes desarrollos teóricos. En el grupo de Física Teórica en Garching, por ejemplo, aparte de los temas ya mencionados, hay gente que trabaja en caracterización del “entrelazado” y en cómo aparece en numerosos sistemas de materia condensada; en aplicar las ideas de T.I.C. al desarrollo de nuevos algoritmos numéricos para simular sistemas cuánticos; en el diseño de computadores cuánticos basados en dispositivos de estado sólido; en simuladores cuánticos con iones atrapados... En definitiva, en todo un rango de temas interdisciplinares que surgen de la imbricación entre la T.I.C., la Materia Condensada y la Óptica Cuántica. ■

## • Ángel Gavín

GMV



→ Imagen cedida por la ESA.

El rápido avance tecnológico que se está experimentando en las últimas décadas se debe, en gran medida, a la disponibilidad de información. En la era de las comunicaciones móviles, Internet y contenidos multimedia, la tecnología espacial está llamada a ocupar un papel primordial en muchas y muy variadas aplicaciones. Prevención y detección de catástrofes naturales, telemedicina, transporte multimodal, agricultura y ganadería de precisión, o vehículos auto-guiados son sólo unos pocos ejemplos de las aplicaciones que dicha tecnología traerá a nuestras vidas.

## PRESENTE Y FUTURO DE LOS SATÉLITES DE COMUNICACIÓN Y DETECCIÓN

Desde que en 1957 la por entonces Unión Soviética lanzase el Sputnik I, los satélites artificiales terrestres se han venido usando para muy diversos fines. La observación de la Tierra, la predicción meteorológica, las comunicaciones y la navegación por satélite, son los ámbitos en los que se pueden englobar la mayor parte de los avances que hasta hace tan sólo unos años parecerían argumentos de un guiño de ciencia ficción.

Pero, sepamos un poco más sobre cuáles son las conductas que lleva-

mos a cabo en nuestra vida diaria y están relacionadas con estos satélites artificiales, así como qué otras aplicaciones podremos disfrutar en los próximos años gracias a la instalación de nuevas plataformas espaciales como: EGNOS, Galileo, ENVISAT, los satélites METEOSAT de segunda generación y el sistema GMES.

### Telecomunicaciones

Los satélites de telecomunicaciones representan claramente el mayor mercado comercial espacial, siendo sus aplicaciones las

más conocidas y usadas. Hoy en día estamos acostumbrados a recibir radio y televisión por satélite, así como usar telefonía móvil (por satélite) y videoconferencias. Del mismo modo, somos conscientes de la educación a distancia, especialmente en zonas rurales y desfavorecidas. Sin embargo, hay otras aplicaciones que tendrán cada vez mayor importancia en los próximos años y son mucho menos conocidas. Nos referimos sobre todo a la telemedicina.

El envejecimiento de la población ⇒

lleva a una mayor demanda de asistencia sanitaria. La telemedicina, o medicina a distancia, permitirá reducir las visitas al médico bajo mínimos. Los propios pacientes podrán controlar su salud desde casa, enviando los datos al centro de salud, donde se evaluará la necesidad de asistencia sanitaria urgente. Esto optimizará los servicios de atención primaria, que se podrán centrar en aquellos casos que realmente lo necesitan.

Además, se tendrá acceso remoto al historial médico, lo que resultará especialmente interesante para personas que necesitan de un seguimiento continuado, permitiéndoles una mayor movilidad y confianza en el tratamiento a recibir independientemente de donde se encuentren. Más todavía, se emitirán recetas electrónicas, manteniendo registros y resultados de laboratorio en bases de datos que a su vez contribuirían a la mejora de los medicamentos.

La educación a distancia podrá también ser usada aquí para la formación de médicos y personal sanitario, manteniéndoles al día de los últimos avances en sus respectivas especialidades. Esto incluye la divulgación de información a la ciudadanía sobre hábitos saludables y medidas preventivas.

La telemedicina permitirá también mejorar la asistencia sanitaria en emergencias y áreas remotas. Por ejemplo, las ambulancias podrían estar comunicadas vía satélite con los centros médicos (que a su vez pueden encontrarse a miles de kilómetros). Médicos especialistas

pueden aconsejar sobre el tratamiento o cura a seguir, o incluso asesorar al personal local durante la realización de operaciones. Ya se habla, por ejemplo, de conceptos como la telemamografía e incluso telecirugía (o cirugía robotizada) que permite la operación remota de pacientes por expertos que se hallan a gran distancia.

### Navegación por satélite

En los próximos años, el conocimiento de nuestra posición de manera precisa será tan necesario y habitual como lo es hoy en día consultar la fecha y la hora en un reloj. Hoy en día son muchas las aplicaciones (tanto profesionales, como científicas y comerciales) que usan sistemas de posicionamiento como GPS. Muchos coches de gama media vienen ya equipados con un sistema de navegación por satélite, por no hablar de las aplicaciones de ocio (senderismo, pesca deportiva,...) La puesta en funcionamiento de EGNOS (inicio de 2006), Galileo (2008) y la modernización del propio sistema GPS (denominado GPS III) abrirá un nuevo mundo de posibilidades, sobre todo en el sector de los transportes.

El pago del peaje en autopistas se hará de manera más eficiente mediante sistemas automáticos de peaje. Ante el creciente problema de congestión de tráfico y contaminación en los núcleos urbanos, y "gracias" a los sistemas de navegación las autoridades locales podrán cobrar a los usuarios por entrar con sus vehículos en determinadas zonas de la ciudad (y a determinadas horas). De hecho, el sistema se está poniendo en funcionamiento ya en el Reino Unido, si bien no

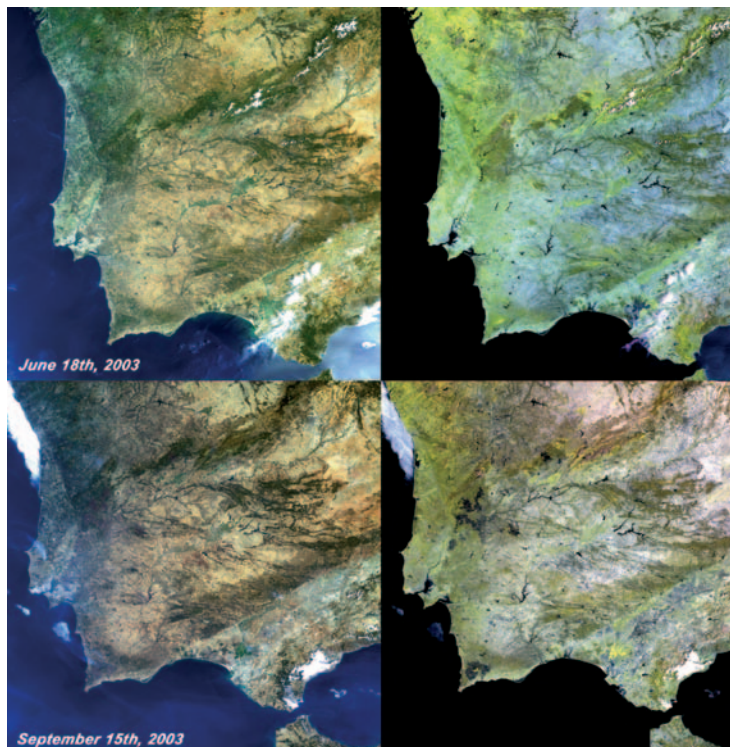
mediante navegación por satélite. Evidentemente no se trata de una medida muy popular, que debe ser investigada desde muchos puntos de vista, incluyendo el llamado "efecto Gran Hermano", o lo que es lo mismo, la sensación de sentirse observado en todo momento.

Es importante saber que mediante el satélite sólo se puede conocer la posición y el instante de tiempo. La transmisión de dicha información a una central remota debe hacerse por medios convencionales (por ejemplo, mediante GPRS o UMTS). Es decir, por el mero hecho de tener un receptor GPS/Galileo no podemos ser localizados a no ser que transmitamos nuestra posición.

En línea con esto, otras aplicaciones muy interesantes tienen que ver con el seguimiento de personas. Por ejemplo, los enfermos de Alzheimer podrán llevar una pulsera o brazalete mediante el cual podrán ser localizados en todo momento, reduciendo el riesgo de pérdida. Y lo mismo se puede decir de los maltratadores, que podrán ser controlados para que no accedan a ciertas zonas, o se encuentren a una distancia de su víctima inferior a la que se dictamine (en tal caso, la víctima sería avisada de tal suceso).

Los sistemas de navegación por satélite también permitirán regular la velocidad máxima a la que puede circular un vehículo en función de la vía (y el tramo de la misma) por la que circule en cada momento, reduciendo la siniestralidad. Al mismo tiempo, abrirán la posibilidad de registrar el recorrido (posiciones y velocidades) en una especie de "caja negra" que podrá ⇒

## La puesta en funcionamiento de EGNOS (inicio de 2006) y Galileo (2008) abrirá un nuevo mundo de posibilidades para la navegación por satélite



→ La imagen muestra el Algarve (Portugal), antes y después del incendio que tuvo lugar en el año 2003

ser utilizada como prueba legal para establecer la causa de accidentes, o para demostrar una conducción responsable frente a compañías aseguradoras (rebajando la cuantía de la prima del seguro). Los usuarios podrán suscribirse a determinados servicios para recibir información actualizada sobre tráfico, incidencias meteorológicas, publicidad y contenidos multimedia (en función de la zona que se esté atravesando).

Cabe destacar que las aplicaciones anteriormente citadas tienen un trasfondo legal. Es necesario “certificar” que el sistema funciona correctamente en el momento de su uso para evitar cobros incorrectos (caso del peaje automático) o

estar protegido legalmente ante reclamaciones injustificadas de los usuarios. Si bien con GPS es tecnológicamente posible implementar estas soluciones, aún se carece de una base legal que permita llevarlas a buen puerto, para lo cual se requieren sistemas que proporcionen integridad de la información, tal y como sucede con EGNOS y Galileo. De hecho, éste será el valor añadido de estos sistemas, junto con una mejora de las prestaciones de navegación (precisión, disponibilidad y continuidad de servicio) que recibirán los usuarios.

Otra aplicación bastante sorprendente de la navegación por satélite es la ayuda al guiado de invidentes. En un reciente proyecto denomina-

do Tormes (y llevado a cabo por la ONCE y la empresa española GMV Sistemas) se ha desarrollado un terminal portátil para invidentes basado en EGNOS. El usuario introduce el destino al que quiere ir y el sistema le va guiando del mismo modo que lo hace el navegador del coche (mediante un sistema audio).

El abanico de posibilidades es casi infinito. Vehículos autoguiados, incluyendo maquinaria agrícola (agricultura de precisión). Existen ya cosechadoras autoguiadas mediante GPS que permiten recoger cereal posicionando la maquinaria con un error del orden de unos pocos centímetros (asegurando el corte a la altura adecuada). Y lo mismo sucede con otras labores agrícolas, como la siembra o el arado, asegurando que no queda ninguna zona por cubrir y optimizando al mismo tiempo las pasadas.

A esto hay que añadir otras aplicaciones de interés en el ámbito laboral y profesional: la gestión de recursos en grandes superficies industriales y ganaderas, lo que se ha dado en llamar ganadería de precisión; control de contenedores en grandes zonas portuarias, como ya está ocurriendo en el puerto de Hamburgo; y la mejora de la navegación aérea, que permitirá ahorrar costes en infraestructuras y agilizar el tráfico aéreo.

Es tal la precisión que se puede lograr complementando la navegación por satélite con otros sistemas, que es incluso posible medir el movimiento de las placas tectónicas (cuya velocidad es del orden de unos pocos centímetros por año). Esto no sorprende si ⇒

**La observación terrestre por satélite proporciona una información muy valiosa a la comunidad científica para conocer cuál es la salud de nuestro planeta**

## La telemedicina hará posible la revisión médica a distancia y que el propio paciente pueda controlar su salud desde casa

pensamos en el uso que se está haciendo en ingeniería civil. Mediante GPS (en combinación con otros sistemas) es posible medir deformaciones de estructuras (por ejemplo, puentes) de unos pocos milímetros.

Las señales de navegación constituyen en sí un dato muy valioso para la predicción meteorológica. En efecto, al atravesar la ionosfera la señal sufre un retraso; retraso que está relacionado con el contenido electrónico de la atmósfera, que a su vez es un indicador utilizado en la predicción del tiempo. Existen incluso estudios para la predicción de sismos mediante GPS.

### Observación de la Tierra

La observación de la Tierra mediante satélites artificiales proporciona una fuente de datos que permite abordar problemas a diferentes escalas, desde carreteras y bosques, hasta regiones, países, continentes o conflictos de dimensiones planetarias. Algunas de las aplicaciones que pueden llevarse a cabo con estos satélites de detección y vigilancia son:

**Seguimiento del medioambiente.** La observación terrestre por

satélite permite, entre otros, el seguimiento del nivel de los océanos, la temperatura de la superficie marina, el estudio de las grandes masas de hielo, la contaminación medioambiental, el estudio de los bosques y un largo etcétera. Todo ello proporciona información muy valiosa a la comunidad científica para el estudio del cambio climático. Cabe también destacar la aplicación a la planificación urbanística y su efecto en el medio ambiente.

**Implementación de tratados internacionales.** Los datos obtenidos por satélite permiten la evaluación y seguimiento de implementación de políticas medioambientales (por ejemplo, los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> o el control de la desertificación) y acuerdos internacionales tales como el protocolo de Kyoto.

**Protección del patrimonio de la humanidad.** Existe una iniciativa conjunta entre la Agencia Europea del Espacio (ESA) y la UNESCO para usar los datos provenientes de la observación de la Tierra en la política de gestión de los bienes del Patrimonio Mundial. Más concretamente, las autoridades pueden ser avisadas de cualquier fenómeno

que pueda poner en peligro dichos bienes, como por ejemplo la propia actividad humana.

**Protección civil.** El seguimiento de la actividad volcánica permite anticipar situaciones de riesgo por erupción, incluso en volcanes etiquetados como inactivos. La posibilidad de disponer de imágenes de riadas e incendios forestales en tiempo real permite a las autoridades gestionar de manera eficiente en estas situaciones y actuar en consecuencia. Es incluso posible detectar el control de vertidos (intencionados o no) al mar mientras están sucediendo. Así las autoridades pueden ser avisadas en el acto, pudiendo enviar efectivos a la zona.

**Ayuda humanitaria.** En zonas de difícil acceso o seriamente dañadas (por causa, por ejemplo, de un terremoto), donde puede no haber siquiera cartografía, las imágenes por satélite permiten gestionar y coordinar los equipos de ayuda humanitaria.

**Control epidemiológico.** Los datos tomados por satélite permiten a las autoridades un mejor conocimiento de la propagación de epidemias, incluyendo la incidencia de enfermedades, tales como la malaria, que se ve afectada por cambios climáticos locales.

Las instituciones europeas (y, principalmente, la Agencia Europea del Espacio) han puesto en marcha numerosas iniciativas para permitir la vigilancia de los datos anteriormente mencionados. Todo ello, gracias a satélites de última tecnología como ENVISAT o el sistema GMES. ■



→ Hoy en día es posible utilizar vehículos autoguiados para recoger cosechas agrícolas.

## SATÉLITE DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA GMES

• **Milagros Couchoud.**

Secretaria general CIEMAT

**El proyecto GMES es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea cuyo objetivo es el de establecer la capacidad europea para obtener y utilizar información operacional fiable que permita la observación global en áreas de medio ambiente y seguridad que debe estar disponible en el 2008. Se trata de conseguir unir a los proveedores de información y los suministradores de datos con los usuarios para que cada uno entienda mejor las necesidades de los otros y se pongan de acuerdo en como conseguir que la información ambiental este disponible para quien la necesita. Esta capacidad se alcanzará a través de una serie de actividades, agrupada en tres módulos:**

- La producción y difusión de información como soporte a las políticas de medio ambiente y seguridad en la UE
- Los mecanismos necesarios para asegurar un dialogo permanente entre los que tomas decisiones, stakeholders, los proveedores de información y los usuarios del sistema.

• El marco institucional, financiero, legal, institucional y la organización para asegurar el funcionamiento el sistema y su evolución

Como valor añadido el proyecto implica poder disponer de un sistema para intercambiar y compartir información en Europa, ya que será necesario conseguir la compatibilidad entre todos los elementos que formen el sistema.

GMES debe ser capaz de establecer procedimientos para recopilar los datos relevantes y proporcionar servicios innovadores, fáciles de usar para los usuarios, de manera que permitan a los responsables de la toma de decisiones anticipar o integrar respuestas a situaciones de crisis en los aspectos relacionados con el medioambiente y la seguridad.

La aplicación inmediata de este proyecto es la observación territorial, estudios de impacto ambiental y la lucha contra los desastres naturales, como incendios, inundaciones o desertificación. Otras áreas de gran importancia para GMES son las relacionadas con la

interacción océanos y atmósfera, salinidad de los mares y humedad del suelo.

En España, las actividades relacionadas con el espacio están condicionadas en gran medida por la pertenencia de nuestro país a la Agencia Europea del Espacio (ESA), canalizándose esta contribución a través del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), del Ministerio de Industria Turismo y Comercio.

La Comunidad de Madrid, consciente de la importancia de la innovación ha establecido, a través de su Consejería de Economía e Innovación, una estrategia para fomentar el encuentro entre los ámbitos académicos, empresariales y políticos para conocer los recursos, las iniciativas y los programas de innovación tecnológica en el Sector Espacial con especial atención a los programas GALILEO y GMES. ■

**La aplicación inmediata de este proyecto es la observación territorial, el estudio de impactos ambientales y la lucha contra los desastres naturales**

## LOS NUEVOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS EUROPEOS

• **Manuel Palomares.**

Instituto Nacional de Meteorología



– La imagen del satélite muestra una Europa sin nubes.

**El primero de los satélites Meteosat de Segunda Generación (MSG)** se lanzó al espacio en agosto de 2002 y, tras una fase de pruebas y actividades preparatorias, comenzó sus operaciones efectivas en enero de 2004, en órbita geoestacionaria sobre 0° de latitud. Es el octavo de los satélites meteorológicos diseñados y gestionados mediante colaboración europea, primeramente, a través de la Agencia Espacial Europea y desde 1986 bajo explotación (desde 1995 también control técnico) de EUMETSAT, la Agencia Europea de Satélites Meteorológicos a la que pertenecen 18 estados europeos, entre ellos España.

Durante la última época la tecnología ha progresado considerablemente, así como las exigencias de los usuarios de los datos meteorológicos. El primer satélite Meteosat se lanzó en 1977 y el primero de la nueva serie se ha bautizado, siguiendo la tradición, como Meteosat-8, pero sus prestaciones superan ampliamente a las de sus predecesores. Como ellos está situado en una órbita geoestacionaria estable y realiza barridos de todo el disco terrestre, pero al disponer de 12 canales espectrales y un ciclo que se repite cada 15 minutos (en lugar de los 30 minutos anteriores) el

MSG proporciona una información 20 veces más amplia que la del anterior sistema Meteosat.

Su instrumento principal es el SEVIRI un radiómetro de exploración por rotación bastante más avanzado del que incorporaban los anteriores Meteosat. Proporciona datos e imágenes de una precisión notable que constituyen excelentes herramientas de observación de la atmósfera, de los océanos y de la superficie terrestre. Cada uno de los 12 canales puede ser utilizado aisladamente, pero pueden obtenerse igualmente imágenes compuestas y algoritmos útiles para variadas aplicaciones meteorológicas y medioambientales, muchas inéditas hasta ahora. Varias de ellas se han desarrollado en el Centro de Aplicaciones de EUMETSAT (“SAF”) para la predicción inmediata y a muy corto plazo, que acoge el Instituto Nacional de Meteorología en Madrid.

El programa MSG comprende un total de 4 satélites, lo que asegura el futuro de las observaciones al menos hasta el año 2018, cuando una tercera generación deberá estar lista para el relevo. A fin de asegurar un servicio plenamente operativo, el lanzamiento del

MSG-2 está actualmente programado para otoño del 2005 mientras que el MSG-3 quedará en reserva hasta que el primer satélite de la serie esté próximo al final de su vida de funcionamiento.

El desarrollo de los Meteosat de Segunda Generación ha ido paralelo a la preparación del Sistema Polar Europeo con el que, por primera vez en la historia Europa, gestionará satélites meteorológicos de órbita polar que complementan la información suministrada por los geoestacionarios, sobre todo en altas latitudes. Se trata, en realidad, de la componente europea de un sistema operativo conjunto con Estados Unidos en el que satélites de órbita “matutina” y “vespertina” se complementarán para ofrecer un servicio global. Instrumentos americanos viajarán a bordo de los satélites METOP desarrollados por EUMETSAT en cooperación con la Agencia Espacial Europea y otros instrumentos diseñados en Europa volarán en los satélites americanos; de hecho, el “sondeador de humedad por microondas” (MHS) europeo vuela ya en el satélite americano NOAA-N lanzado en mayo de 2005. La fecha histórica del lanzamiento del primero de los METOP europeos está prevista para abril de 2006. ■

**El Meteosat de Segunda Generación proporciona una información 20 veces más amplia que el anterior sistema**

## entrevista Carlos Alejaldre

**José Manuel López Cózar**

Periodista ambiental y científico

Carlos Alejaldre, Director General de Política Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia



Cada año la Administración Pública articula un conjunto de convocatorias de ayudas públicas destinadas a estimular a las empresas y a otras entidades para llevar a cabo actividades en I+D+i. En esta entrevista el Director General de Política Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia, Carlos Alejaldre, explica cómo funcionan estas ayudas y su contribución al fomento de la I+D+i en España.

### “HAY QUE FOMENTAR LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DESDE LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN PÚBLICOS AL SECTOR PRIVADO”

**¿En qué consiste el Programa de Fomento de la Investigación Técnica (PROFIT)? ¿Cómo contribuye al desarrollo de la I+D+i en España?**

**Antes de nada debemos señalar** que, formalmente, el programa PROFIT como tal ya no existe, lo que existe son las convocatorias de ayudas del Plan Nacional de Investiga-

ción Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i 2004-2007), en la parte dedicada al Fomento de la Investigación Técnica. Estas convocatorias son, en parte, herederas del llamado programa PROFIT, pero incorporan nuevas características que las hacen mucho más potentes como instrumentos de política tecnológica.

Entre ellas caben destacar, además de la versión más o menos ‘clásica’ de las ayudas PROFIT, las nuevas ayudas a proyectos científico-tecnológicos singulares y de carácter estratégico, definidos éstos como un conjunto de actividades de I+D+i interrelacionadas que pretenden alcanzar un objetivo común y que potencien ⇒

Hay que fomentar la transferencia de tecnología desde los centros de investigación públicos al sector privado

la integración de agentes científicos tecnológicos e impulsen la transferencia de tecnología, que contribuyan a la elevación de la capacidad tecnológica de las empresas y que conlleven un alto riesgo empresarial.

La singularidad de estas actuaciones puede deberse a su objetivo, su configuración, su oportunidad, su planteamiento o por el propio destino de sus resultados.

## En nuestras convocatorias de ayudas estamos dando mucha importancia a la creación de infraestructuras tecnológicas, porque estas instalaciones constituyen grandes activos para el país

El carácter estratégico debe encuadrarse en el contexto global de la ciencia y la tecnología y puede deberse a cuestiones como su beneficio medioambiental, por favorecer la competitividad del sector productivo en el que se enmarca, por su interés socioeconómico nacional o por motivos relacionados con la mejora evidente de la calidad de vida, entre otras. Estos proyectos precisan un mecanismo de gestión específico que asegure el correcto desarrollo de las actividades y su coordinación.

El presupuesto mínimo total que se exige a este tipo de proyectos es de seis millones de euros, lo que da una idea de la envergadura y el grado de concentración de esfuerzos que se pretende fomentar. Creemos que hay un

amplio campo de acción para esta tipología de proyectos en nuestro sistema de ciencia-tecnología-empresa y, de hecho, en la primera convocatoria hemos recibido un buen número de solicitudes de elevadísimo interés y calidad que están actualmente en fase de evaluación.

Pero no son estas las únicas medidas puestas en marcha desde la Dirección General de Políti-

ca Tecnológica dentro del Plan Nacional de I+D+i. Siempre en la línea de fortalecer los vínculos entre los sectores público y privado, entre generadores y consumidores de I+D, hemos lanzado otras convocatorias destinadas a fomentar el asociacionismo y la cooperación por medio de la creación de redes y plataformas tecnológicas, siguiendo la misma línea que promueve la Comisión Europea de cara al séptimo programa marco comunitario de I+D. También otorgamos gran importancia a la creación de infraestructuras tecnológicas, por lo que nuestras convocatorias de ayudas para proyectos realizados en Parques Científicos y Tecnológicos y para la mejora de las Grandes Instalaciones Científicas son también prioritarias para construir y consolidar la

base tecnológica de este país.

### ¿Cuáles son las competencias del Ministerio de Educación y Ciencia en el Plan Nacional de I+D+i?

En línea con lo expuesto anteriormente, el MEC es el responsable de lo que ahora llamamos la 'investigación cooperativa'. Esto responde a la necesidad de fomentar la transferencia de tecnología y la colaboración en I+D entre los agentes generadores de conocimiento y el mundo empresarial. Para conseguir este acercamiento entre ambos mundos, tradicionalmente alejados en nuestro sistema de I+D+i, el MEC realiza convocatorias de ayudas, dentro del Plan Nacional, a las que sólo pueden presentarse aquellas empresas que concurren a las mismas en cooperación con Universidades y centros públicos de I+D, o en los que dichas empresas subcontraten a aquellos por una cuantía superior al 15% del presupuesto total del proyecto. Si no se cumple esta condición el proyecto deberá presentarse a las convocatorias equivalentes del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. El resto de las características de los proyectos son, en general, similares entre ambos ministerios, de hecho unas y otras convocatorias se rigen por una orden de bases conjunta del MEC y el MITYC, salvo en lo referente a las áreas temáticas en las que existen ciertas diferencias, siendo la más visible la competencia exclusiva del MITYC en el Área de Tecnologías de la Sociedad de la Información. En definitiva, el objetivo del MEC es fomentar una nueva cultura de intensa cooperación entre todos los agentes involucrados en la I+D, ya sean públicos o privados, científicos o empresariales, nacionales o internacionales. ⇨

### ¿Quiénes se pueden presentar a estas ayudas? ¿Cuáles son las partidas subvencionables?

**A estas ayudas pueden acceder** las empresas (incluyendo en este concepto las sociedades mercantiles públicas, los entes públicos empresariales y los empresarios individuales), los centros privados de investigación y desarrollo sin ánimo de lucro, los centros tecnológicos, los organismos públicos de investigación (entendiendo por tales los adscritos o dependientes de cualquier Administración Pública; las Universidades sin ánimo de lucro, sus departamentos e institutos universitarios; y otros centros públicos de investigación y desarro-

actuación y debidamente justificados. En el caso de PYMES se incluyen los gastos ligados al registro de patentes. En el caso de los Organismos Públicos de Investigación los costes de personal fijo vinculado estatutaria o contractualmente con el mismo no son objeto de ayuda.

### ¿A qué líneas de investigación se le está dando mayor prioridad?

**El Plan Nacional de I+D+i continúa** siendo la referencia para el establecimiento de las áreas temáticas prioritarias de investigación y desarrollo tecnológico. Por ello, desde el MEC preferimos

centros tecnológicos, empresas... Esto permitirá estrechar los vínculos entre el mundo científico y el sector productivo, potenciar la transferencia de tecnología y, en definitiva, hacer llegar a la sociedad los beneficios de la investigación científica, que hasta hoy sólo se han manifestado de forma muy limitada. Por otro lado, el asociacionismo que fomentamos debe permitir incrementar la masa crítica y aunar los esfuerzos de aquellos agentes interesados en un campo determinado, lo que resulta a su vez beneficioso por el efecto focalizador de la investigación que conlleva, permitiendo así combatir la elevada dispersión de los recursos que ha venido caracterizando a nuestro sistema de ciencia-tecnología-empresa en los últimos años.

## Desde el MEC queremos motivar a los pequeños grupos de investigación para que busquen socios y colaboradores en la universidad, centros de investigación, empresa...

llo), otras Entidades de Derecho Público, y las agrupaciones o asociaciones (comprendiendo aquí las uniones temporales de empresas, las agrupaciones de interés económico y las asociaciones empresariales sectoriales sin ánimo de lucro).

En cuanto a los conceptos susceptibles de ayuda, éstas podrán aplicarse a gastos de personal propio o contratado, subcontrataciones, material fungible, aparatos y equipos, y otros gastos generales suplementarios, siempre que estén directamente derivados del proyecto o

dejar trabajar a este mecanismo ya consolidado y centrarnos en otros aspectos para nosotros fundamentales y, en cierto modo, desatendidos hasta hoy, como es la forma en que las investigaciones se llevan a cabo. Buscamos cambiar el modo de hacer, para que los pequeños grupos de investigación que hasta hoy funcionaban de forma autónoma se movilicen para buscar socios y colaboradores, tanto dentro como fuera de sus propios ámbitos de actuación: universidades, Organismos Públicos de Investigación, centros privados de I+D,

Existe por otra parte una línea prioritaria para nosotros, de carácter horizontal, que no corresponde a ningún área temática concreta y que consideramos de vital importancia para el desarrollo científico y tecnológico del país. Me refiero al impulso de las infraestructuras de investigación y de las Grandes Instalaciones Científicas. Estas instalaciones constituyen grandes activos para el país, ya que no sólo incrementan la capacidad científica del sistema y permiten elevar la calidad de la investigación realizada, sino que también actúan como motores tecnológicos para la industria que participa en su construcción, quien al enfrentarse a los retos que ésta supone consigue elevar su capacidad tecnológica y su competitividad en el entorno internacional. Esta convicción nos ha llevado a iniciar el proceso de generación, conjuntamente con las Comunidades Autónomas, de un mapa de infraestructuras singulares a ⇒

Hay que fomentar la transferencia de tecnología desde los centros de investigación públicos al sector privado



→ Carlos Alejaldre, en el centro de la foto, director General Política Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia.

largo plazo, integrado en el programa Ingenio 2010 y a cuya implementación se dedicarán mil millo-

**En un momento en el que se habla tanto de la importancia de la I+D+i en el crecimiento económico de un país, ¿cuál es la salud de la investigación pública en España? ¿Qué expectativas de futuro existen?**

**La salud de la investigación pública** en España está mejorando poco a poco, y nosotros estamos haciendo todos los esfuerzos para que así sea. En este momento, pensamos que nos encontramos en una encrucijada histórica, no sólo por causas externas como la globalización y la competencia de las economías emergentes (que según todos los análisis hacen de la I+D la única tabla de salvación posible), sino tam-

tema. En mi Dirección General estamos tomando iniciativas para mejorar estas condiciones, obviamente en lo relativo a política tecnológica, como son las mencionadas anteriormente y otras encaminadas a fomentar la transferencia de tecnología del sector público investigador al sector privado. Tengo la confianza de que todas estas acciones comenzarán a dar sus primeros frutos en un plazo de tiempo próximo, aunque sin duda el proceso de 'reconversión' será largo y precisará el esfuerzo de todos.

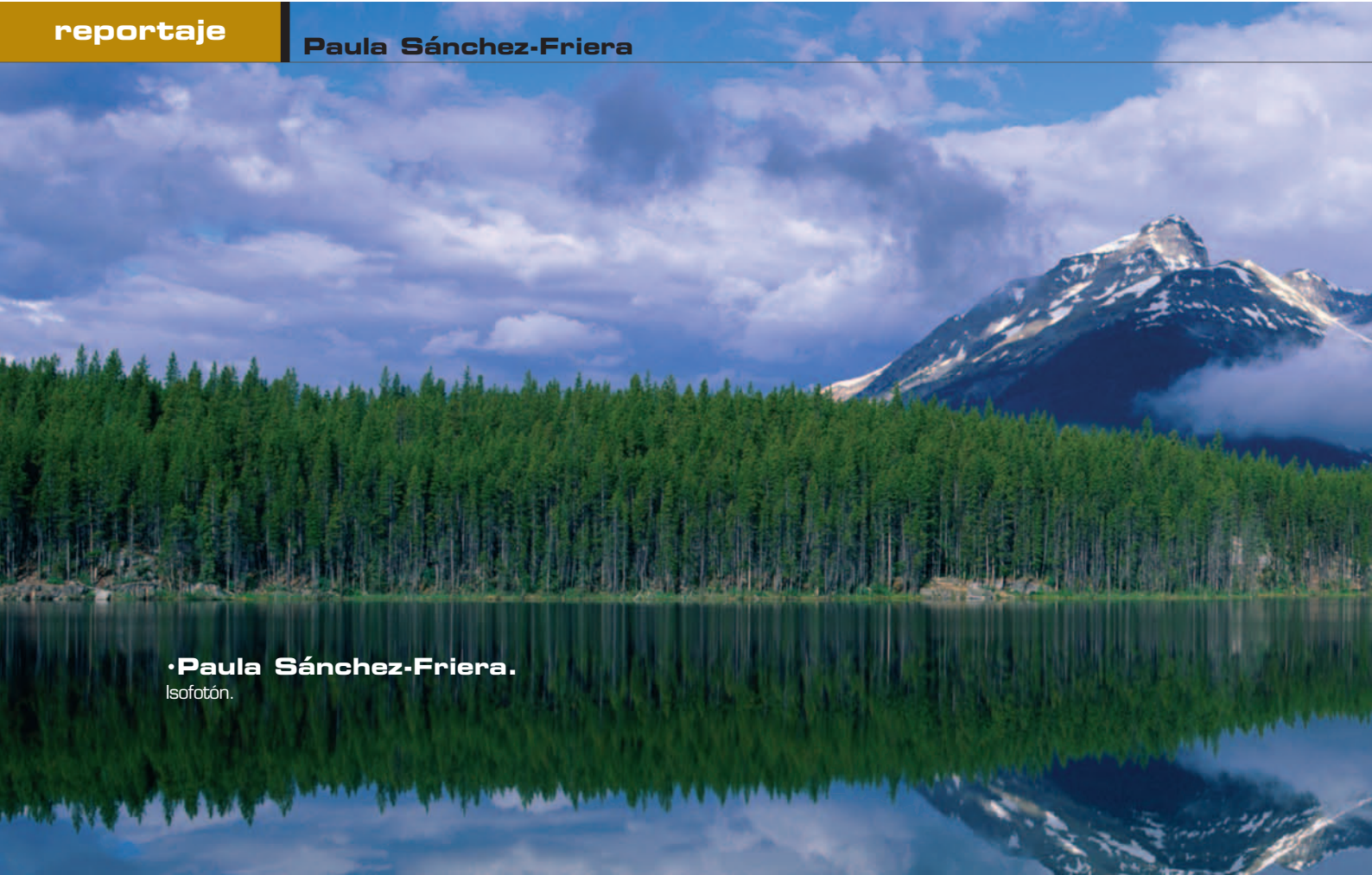
**Cambiando de tema, ¿cómo valora la celebración del Año Mundial de la Física 2005? ¿Cree que esta iniciativa está contribuyendo a la divulgación de la ciencia en nuestro país?**

**Yo soy un firme defensor de esta** iniciativa, como sabe soy físico por formación y profesión y me enorgullezco de contribuir a su promoción y divulgación en la medida de mis posibilidades. Creo que la divulgación de la ciencia es fundamental para que la sociedad se conciente de su importancia y de la repercusión que tiene en la vida cotidiana de cualquier ciudadano. Esto es importante por sí, pero lo es aún más en el contexto de la educación primaria y secundaria, donde debemos esforzarnos en transmitir a nuestros jóvenes que la ciencia es el motor del futuro y animarles a tomar este camino. En nuestro país, nos enfrentamos a dificultades adicionales ya que nuestra cultura ha relegado tradicionalmente la ciencia a un papel secundario, por ello debemos combatir esta imagen obsoleta y contribuir a crear la de una España pionera en investigación científica y desarrollo tecnológico, como un objetivo alcanzable. Esta nueva perspectiva nos ayudará, sin duda, a avanzar hacia dicho objetivo, que no sólo es posible sino que es ya una realidad en algunos campos. ■

**Tradicionalmente, nuestra cultura ha relegado la ciencia a un papel secundario. Sin duda, debemos combatir esta imagen y contribuir a crear la de una España pionera en investigación científica y desarrollo tecnológico**

nes de euros, que recogerá las prioridades y necesidades expresadas por la comunidad científica en este ámbito, con objeto de potenciar los sistemas regionales y el sistema nacional de I+D. Pero no es ésta la única medida de apoyo a las infraestructuras en marcha, ya que en 2005 hemos renovado y potenciado las ayudas a los parques científicos y tecnológicos, multiplicando los fondos disponibles para el impulso de estos importantes espacios físicos generadores de conocimiento y de transferencia de tecnología.

bién porque la evolución de nuestro sistema de ciencia-tecnología-empresa precisa de nuevas medidas de más amplio alcance que las acometidas hasta ahora para cambiar definitivamente su fisionomía. Hasta hoy hemos progresado en indicadores como el número de publicaciones científicas o el número de investigadores por millón de habitantes, pero aún padecemos importantes problemas como la fragmentación de los recursos, la escasa transferencia de tecnología y la escasa consideración social de la carrera científica, que vienen frenando el despegue definitivo de nuestro sis-



•Paula Sánchez-Friera.  
Isofotón.

# HACIA UN NUEVO MODELO ENERGÉTICO BASADO EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES

**Actualmente, las renovables son la mejor forma de obtener energía limpia y respetuosa con el entorno.** El viento, el sol, el agua y los residuos orgánicos proporcionan energía sin necesidad de reducir los recursos naturales del planeta y sin perjuicio para la salud ni el medio ambiente. En este artículo, Isofotón, el fabricante de energía solar más importante de España, explica las bondades de las renovables en nuestros días y sus expectativas de futuro.

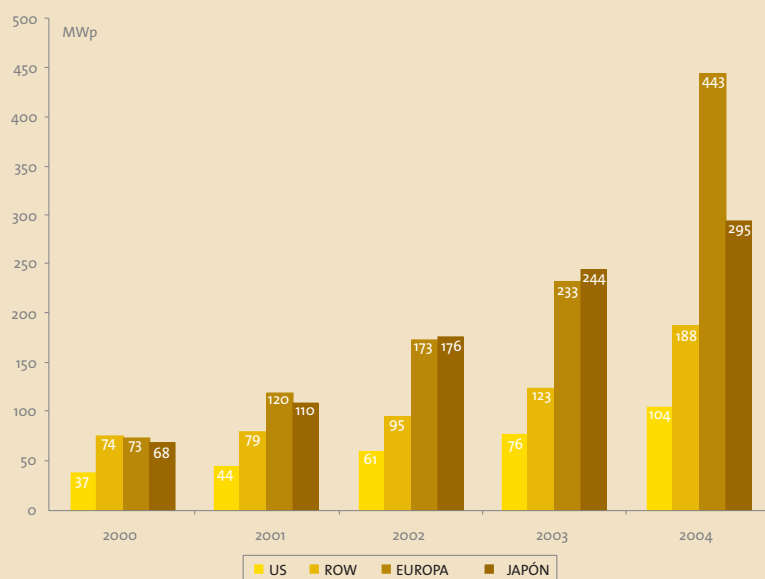
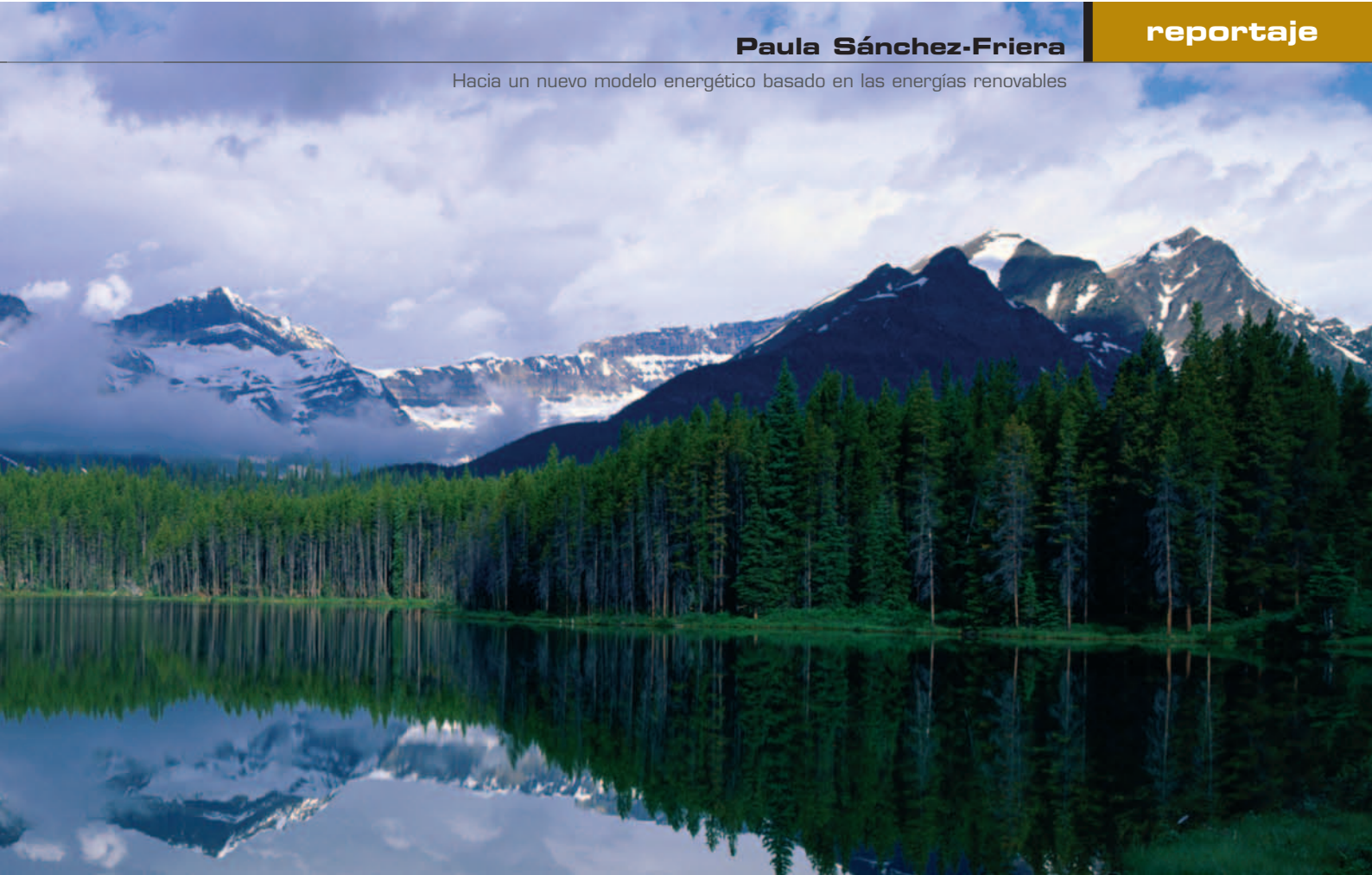
El uso de las energías renovables se extiende por todo el mundo cada vez con mayor rapidez. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la tasa media de crecimiento anual del mercado eólico en las últimas tres décadas fue del 50%, mientras que el mercado solar creció en torno a un 30% cada año. A pesar de estas cifras tan espectaculares, la contribución de las energías renovables (sin

tener en cuenta la hidroeléctrica) a la producción global de electricidad es todavía mucho menor de lo que sería deseable, estando en torno al 2% en el año 2000, por detrás del carbón (39%), la energía hidroeléctrica (18%), la nuclear (17%), el gas natural (17%) y el petróleo (8%).

El modelo energético actual basado en combustibles fósiles presenta graves limitaciones,

que inducen a desear su sustitución por un modelo energético basado en fuentes de energía limpias y renovables. La preocupación por el cambio climático, los peligros ambientales asociados con los vertidos de petróleo, los residuos radioactivos, y la emisión de gases contaminantes son factores que bastarían por sí solos para promover un cambio de modelo energético. Por si fuera poco, el agotamiento ⇒

Hacia un nuevo modelo energético basado en las energías renovables

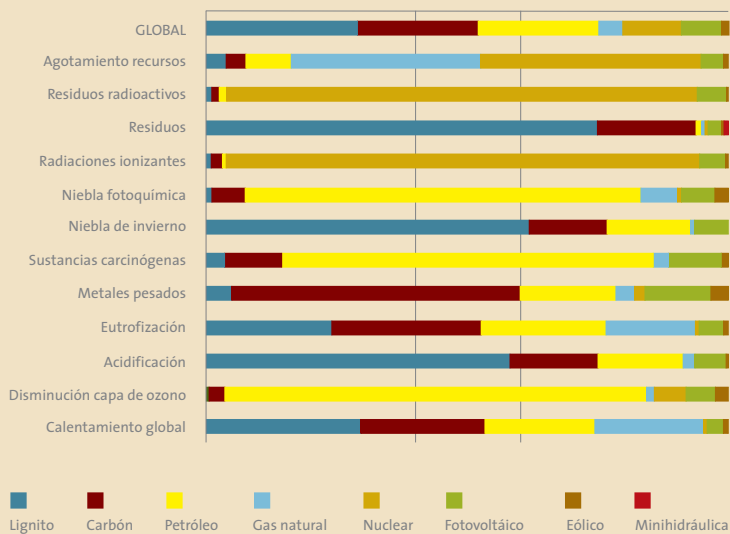


→ Figura 1. El ritmo de crecimiento de la capacidad instalada de energía fotovoltaica en el mundo ha sido del 30% en las últimas tres décadas. Fuente: Strategies Unlimited.

progresivo de las reservas de combustibles, junto con el aumento descontrolado de la demanda energética, y la inestabilidad geopolítica que genera la dependencia de los países desarrollados del suministro externo de carburantes, agravan la situación actual hasta el punto de que hoy en día pocos dudan de la necesidad de un cambio de modelo energético mundial. (Figura 1)

Las energías renovables se caracterizan por utilizar recursos naturales inagotables o que pueden ser constantemente regenerados, como la luz y el calor del sol, o el calor emitido por la Tierra. Debido a su gran modularidad, las fuentes de energía renovables permiten un uso local de la energía y por tanto una mayor independencia ⇒

**Los costes asociados a la generación de energía eólica se han reducido un 90% en los últimos 30 años. Hoy en día es posible construir aerogeneradores de más de 1,5 MW de potencia.**



→ Figura 2. Análisis del impacto ambiental de distintas tecnologías de producción eléctrica. Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2000).

energética de los países que actualmente se ven obligados a importar la mayor parte de sus recursos energéticos, eliminando así la causa que está detrás de muchos de los conflictos mundiales que vivimos hoy en día. (Figura 2)

desarrollo tecnológico incentivado por el apoyo legislativo de los gobiernos. Promoviendo el uso de energías limpias e inagotables mediante subvenciones al fabricante o al usuario, las tecnologías correspondientes alcanzarán el

una masa de agua en movimiento y transformarla en energía eléctrica mediante una turbina. Se consideran centrales minihidráulicas aquellas con una potencia instalada de menos de 10 MW. Se trata de una tecnología ya muy madura y con pocas perspectivas de grandes desarrollos tecnológicos o reducción de costes. Y es que desde el siglo XVIII la eficiencia de una turbina ha pasado del 25 al 100%.

Conforme a la producción de energía de las centrales minihidráulicas, en el año 2000 se consideraba que la capacidad instalada en el mundo rondaba los 32 GW, mientras que la Agencia Internacional de la Energía estima para 2010 los 45 GW. En España la potencia instalada en centrales minihidráulicas en 2002 era de 1,6 GW. El crecimiento en los últimos años ha sido bastante moderado y la proyecciones para el año 2010 oscilan entre 1,8 y 2,2 GW. Los principales inconvenientes de este tipo de energía son: los altos costes de

## Al igual que la energía eólica, el mercado solar fotovoltaico ha sufrido un crecimiento muy fuerte en los últimos años, hasta el punto de que en 2004 la oferta se vio ampliamente superada por la demanda.

Por otra parte las energías renovables no sólo permiten un uso ilimitado de los recursos naturales, sino que reducen en gran medida los aspectos medioambientales negativos asociados a las energías convencionales, en particular la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático del Planeta.

Para lograr una mayor implantación de las energías renovables en nuestra sociedad, es necesaria una mayor reducción de costes que se conseguirá a través de un

grado de madurez necesario para competir por sí solas en el mercado energético global.

### Desarrollo tecnológico de las energías renovables y perspectivas de implantación en el mercado

Las energías renovables con mayor implantación en el mercado son hoy en día la energía eólica, la energía minihidráulica, la biomasa, la geotérmica, la solar fotovoltaica y la solar térmica.

La tecnología hidráulica se basa en aprovechar la energía cinética de

inversión cuando no se instala sobre ríos o cascadas naturales y los problemas medioambientales asociados con la alteración del ecosistema. (Figura 3)

La energía eólica aprovecha la fuerza del viento y la convierte en electricidad mediante un aerogenerador, que consiste en una torre, un bastidor donde se sitúan el generador eléctrico, los multiplicadores y varios sistemas de control, y un rotor que consta de un buje y varias palas. El mercado eólico es el que ha experimenta- ⇒

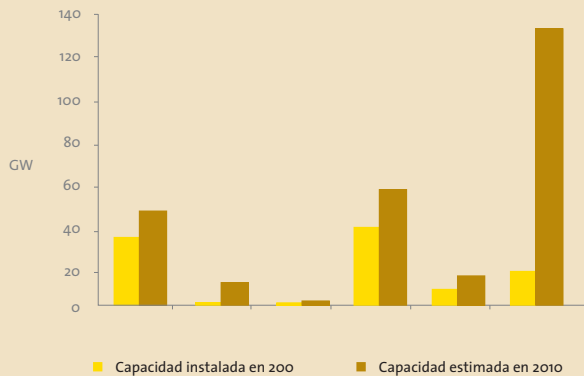


Figura 3. Capacidad instalada en el mundo en el año 2000 para distintas tecnologías de producción eléctrica y proyección para el año 2010. Fuente: AIE (Agencia Internacional de la Energía)

do un mayor crecimiento en los últimos años, pasando de una capacidad instalada en España de 6,6 MW en 1990 a 6,2 GW en el año 2003.

Esta tecnología presenta un grado de madurez bastante elevado, los costes de generación eólica se han reducido en un 90% desde los años 70, y hoy en día se construyen aerogeneradores de más de 1,5 MW de potencia. Las perspectivas de reducción de costes son medias, según la Agencia Internacional de la Energía se estima una reducción del 10% cada vez que se dobla la capacidad instalada global. Las proyecciones para el año 2010 son de unos 12 GW instalados en España y 130 GW a escala mundial. Una de las principales desventajas de la energía eólica es la poca rentabilidad para sistemas pequeños y por tanto la menor modularidad en comparación con otras fuentes de energía. Asimismo organizaciones medioambientales critican el deterioro del paisaje visual y la contaminación acústica asociada con los aerogeneradores.

**La biomasa** es la fuente de energía más antigua utilizada por el hombre. Engloba cualquier combustible energético obtenido a partir de materia orgánica que pueda ser fácilmente regenerada. Existen muchos tipos distintos de biomasa asociados con tecnologías muy diferentes, aunque la más extendida es la combustión de biomasa sólida, como la madera. Se considera que el balance neto de CO<sub>2</sub> asociado a esta tecnología es nulo, puesto que la absorción de CO<sub>2</sub> de los organismos vegetales durante su crecimiento es equivalente a la emisión producida durante la combustión. Debido a su uso extendido en zonas rurales, no existen datos precisos sobre la cantidad de energía primaria proveniente de esta fuente, aunque la estimación de la AIE (Agencia Internacional de la Energía) es del 13% a escala mundial. Su presencia en el mercado español es muy limitada, con una producción de unos 280 MW en el año 2002.

**La energía geotérmica** se origina en el interior de la Tierra, bien como calor procedente de la for-

mación del planeta, o bien por emisión radioactiva de isótopos. Las centrales geotérmicas se sitúan siempre en el lugar donde se da el recurso natural, pues no es eficiente transportar agua o vapor a alta temperatura. Esta fuente energética se concentra en unos pocos países del mundo, como Estados Unidos, México o Italia, mientras que su presencia en el resto es reducido. En España, el consumo primario en el año 2001 era de 8 ktep, según la Asociación de Productores de Energías Renovables de España (APPA), y no existen objetivos claros en el Plan Nacional de Fomento para el año 2010.

**La energía solar térmica** se basa en el aprovechamiento de la radiación solar para calentar un fluido, normalmente agua. El uso más frecuente de la energía solar térmica es el calentamiento de agua caliente sanitaria, aunque también se utiliza para producir energía eléctrica o en sistemas de precalentamiento para calefacciones y refrigeración.

El sistema más extendido es el colector o captador solar plano, que consiste en un circuito de un material con una buena conductividad térmica (habitualmente cobre), llamado absorbedor, que capta la radiación; y una carcasa o cofre que se usa para evitar las pérdidas de calor. Otras técnicas existentes son los tubos de vacío y los concentradores cilindro-parabólicos, generalmente usados para la conversión en energía eléctrica.

En España la energía solar térmica está en constante desarrollo, con ⇒

**Según un estudio de Shell las energías renovables podrían llegar a satisfacer la mitad de la demanda mundial para el año 2050.**



→ Figura 4. Instalación fotovoltaica en un proyecto de electrificación rural en Marruecos.

incrementos anuales en torno al 15% en los últimos años. La capacidad instalada en España en el año 2004 según IDAE era de 700.400 m<sup>2</sup>, lo que equivaldría a casi 500 MWth. Las perspectivas de futuro son muy favorables con el apoyo legislativo que ha supuesto el nuevo Código Técnico de Edificación (CTE) que obliga a que los edificios deban diseñarse, construirse y conservarse adecuándolos al uso de la energía solar térmica en todo el territorio español. Para el año 2010, el Plan de Fomento de las Energías Renovables tiene como objetivo alcanzar la cifra de 1.620.150 m<sup>2</sup> (1,1 GWth) de potencia instalada en España.

**La energía solar fotovoltaica** se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad, utilizando para ello un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica. La radiación que incide sobre la célula genera pares electrón-hueco que producen una

corriente eléctrica que puede ser extraída mediante terminales metálicos conectados en los polos de la célula. Las células fotovoltaicas conectadas entre sí se encapsulan en un material plástico con un vidrio protector frontal, formando un sistema estanco y resistente, llamado módulo fotovoltaico. En una instalación fotovoltaica aislada (no conectada a la red eléctrica), es necesario también incluir baterías para almacenar la electricidad generada durante las horas de mayor radiación para poder utilizarla durante la noche y en los días de menor radiación solar. Otros elementos necesarios son el regulador de carga y el transformador. (Figura 4)

Al igual que el eólico, el mercado fotovoltaico ha sufrido un crecimiento muy fuerte en los últimos años, hasta el punto de que en el año 2004 la oferta se vio ampliamente superada por la demanda. Los mayores consumidores de energía fotovoltaica en el mundo son actualmente Japón y Alemania. En Europa los mercados español e italiano están experimentando fuertes aceleraciones, gracias a marcos legislativos muy favorables. En particular, España se perfila como segundo mercado europeo en importancia tras el alemán, gracias al fuerte empuje sufrido tras la aprobación del Real Decreto RD 436/2004, que proporciona primas de 0,4215 g/kWh para instalaciones de hasta 100 kWp. La potencia acumulada instalada en España en el año 2001 estimada por APPA es de 18MWp, y el Plan de Fomento prevé un incremento hasta 144 MW para el año 2010.

La tecnología fotovoltaica presenta aún un gran potencial de reduc-

ción de costes. Su curva de aprendizaje (costes frente a capacidad instalada) presenta la mayor pendiente de todas las energías renovables. Cada vez que se dobla la capacidad instalada, se reducen los costes en un 20%, lo cuál unido a los incentivos proporcionados por muchos gobiernos, auguran un crecimiento espectacular de la energía fotovoltaica en los próximos años.

Una de las aplicaciones de la energía fotovoltaica que permitirá una reducción de costes aún mayor es la tecnología de la concentración, en la cual se utilizan lentes plásticas que concentran la radiación solar en células solares de pequeño tamaño. De este modo la cantidad de material semiconductor, que es la parte más costosa del módulo fotovoltaico, se reduce en gran medida permitiendo una disminución global del coste de producción del sistema.

Estos adelantos tecnológicos y otros asociados a las demás tecnologías de producción energética a partir de fuentes renovables, hacen prever un escenario a medio plazo en el que el papel de las energías renovables será fundamental para satisfacer la alta demanda energética de la siempre creciente población mundial. De acuerdo con el escenario presentado por la compañía Shell en la década de los 90, las energías renovables podrían llegar a satisfacer la mitad de la demanda mundial de energía en el año 2050. Para ello, además de un desarrollo tecnológico progresivo, será necesario el apoyo continuado de los gobiernos e instituciones que permitan el empuje necesario para la implantación a gran escala de estas tecnologías. ■

**La energía solar fotovoltaica presenta un gran potencial para el desarrollo, sobre todo la tecnología de concentración**



•Alberto Vegas Serrano.

ARIEMA

## EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

En el año 2020, según las previsiones de la UE, buena parte de los automóviles europeos se moverán mediante pilas de combustible, lo que justifica que sea una de las líneas de investigación de mayor futuro en el ámbito continental. En este artículo se describe en qué consiste la tecnología basada en el hidrógeno y cuáles son sus aplicaciones en el ámbito del transporte o la informática.

Expertos de la Comisión Europea estiman que para 2015 el 2% de los vehículos europeos estarán alimentados por hidrógeno, y que para 2020 este porcentaje aumentará hasta el 5%. En otro documento, la propia comisión europea aboga por que en la segunda mitad de este siglo el sistema energético europeo esté basado fundamentalmente en el hidrógeno. Asimismo, la administración de los Estados Unidos y algunos de sus políti-

cos más significativos, presentan grandes planes para el hidrógeno y las pilas de combustible, siendo profundos defensores de estas tecnologías. A su vez, grandes compañías fabricantes de vehículos presentan planes de comercialización de vehículos de hidrógeno y/o pilas de combustible cada vez más cercanos y ambiciosos.

Sin embargo, hay expertos que indican que no es posible la penetra-

ción a gran escala en el mercado de estas tecnologías, bien por barreras tecnológicas, bien por problemas de suministro a nivel mundial de algún material crítico que sea necesario (en concreto el platino para las pilas de combustible que se pueden utilizar para el transporte), o bien por los problemas que puedan causar al medioambiente. Algunos grupos ven que todo este desarrollo tecnológico es sólo un discurso para la galería que está condenado ⇒

al fracaso, llevado a cabo por los “mismos” que quieren seguir haciendo “lo de siempre”.

### Y eso del hidrógeno y las pilas de combustible, ¿qué es?

Cuando se piensa en el hidrógeno como combustible, el primer concepto que hay que tener claro, y no todo el mundo lo tiene, es que el hidrógeno NO es una fuente de energía. A diferencia del gas natural, el petróleo, o las energías renovables, que “están ahí” para que podamos recogerlas y usarlas, el hidrógeno debemos producirlo a partir de otra fuente de energía. En la naturaleza el hidrógeno podemos encontrarlo en dos formas, en forma de agua, que no tiene ningún valor energético, o en los hidrocarburos de los compuestos fósiles. Producir hidrógeno a partir de agua o de hidrocarburos precisa de un aporte energético superior a la energía que luego queda “almacenada” en el hidrógeno.

El hidrógeno, al igual que otros combustibles, pero a diferencia de la electricidad, puede ser almacenado durante largos periodos de tiempo y transportado en depósitos. Por el contrario, el hidrógeno, al igual que la electricidad, y a diferencia de los combustibles fósiles (gas natural o derivados del petróleo o del carbón) puede ser utilizado sin emisiones contaminantes.

En la siguiente tabla se recogen las principales características energéticas del hidrógeno, comparadas con las de otros combustibles de uso corriente (la gasolina y el gasóleo tienen unas propiedades muy similares, y el metano es el principal componente del gas natural, y las pro-

	Hidrógeno	Gasolina	Metano
Poder calorífico inferior (kJ/gr)	120	43	50
Densidad gas (kg/Nm <sup>3</sup> )	0,090	-	0,717
Densidad energética gas	10,8	-	35,8
Densidad líquido (kg/l)	0,071	0,733	-
Densidad energética liq. (MJ/l)	10,8	31,5	-
Límites de inflamabilidad (%)	4,0 - 75	1,0 - 7,6	5,3 - 15,0
Límites de detonación (%)	18,3 - 59	1,1 - 3,3	6,3 - 13,5
Mínima energía de activación (mJ)	0,02	0,24	0,29
Temp. de comb. espontánea (K)	858	501-744	813
Emisiones (mg CO <sub>2</sub> / kJ)	0	≈ 80	55
Visibilidad de la llama	no	sí	sí
Toxicidad (combustible y emisiones)	no/no	sí/ sí	sí/ sí

→ Tabla 1. Propiedades energéticas del hidrógeno y de otros combustibles

iedades del gas natural no difieren mucho de las del metano).

Cabe destacar que el hidrógeno es un combustible con un gran poder calorífico, es decir que un gramo de hidrógeno libera mucha más energía que un gramo de otros combustibles, aunque debido a su baja densidad (tanto en forma gaseosa como líquida) hace que un depósito que almacene la misma cantidad de energía que otro de gasolina o de gas natural, sea más voluminoso y más pesado.

Las pilas de combustible son unos dispositivos electroquímicos, capaces de convertir directamente la energía química contenida en un combustible en energía eléctrica. Esta transformación electroquímica (sin combustión) no está limitada por el rendimiento de Carnot, lo que permite conseguir rendimientos relativamente altos (en la práctica en el entorno del 40 ó 50%, aunque en teoría podrían ser bas-

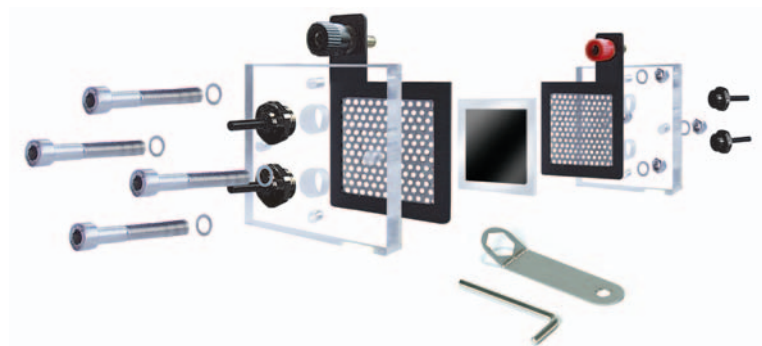
tante superiores). Se presentan como unos dispositivos con enorme potencial de aplicación. Aunque podrían llegar a funcionar con distintos combustibles, su uso con hidrógeno es el que normalmente presenta las mayores facilidades y ventajas.

Fundamentalmente una pila de combustible es un apilamiento (con conexiones internas en serie) de células o celdas individuales. Estas celdas están formadas por dos electrodos (ánodo y cátodo) donde se producen respectivamente la oxidación del hidrógeno y la reducción del oxígeno, y por un electrolito (que puede ser un medio tanto ácido como básico) que permite el intercambio de los iones que hace posible ambas reacciones. Uniendo cada dos celdas existe un elemento de unión, denominado normalmente placa bipolar (que además facilita la canalización de los gases) que permite la ⇔

## El hidrógeno, a diferencia del petróleo y derivados, puede ser utilizado sin que produzca emisiones contaminantes

circulación de los electrones, que pasando por el circuito externo, completan las reacciones.

Las pilas de combustible se clasifican normalmente atendiendo al electrolito que tienen. Entre las de baja temperatura están las alcalinas y las de polímeros (estas últimas también conocidas como de membrana intercambiadora de protones, o por las siglas en inglés PEM). Las de metanol directo son un tipo particular de pilas PEM



que consumen directamente metanol. Las pilas de combustible de media temperatura son las de ácido fosfórico, y las de alta temperatura son las de carbonatos fundidos y las de óxidos sólidos. A día de hoy las pilas que levantan más expectativas son las de polímeros para aplicaciones móviles o de poca potencia (transporte, aplicaciones residenciales y aplicaciones portátiles) y las de óxidos sólidos para generación centralizada o distribuida de electricidad.

**Entre las ventajas generales de las pilas de combustible, cabe destacar:**

- Su buen rendimiento, en torno al 40 ó 50% con posibilidad de mejorarlo.
- Este rendimiento, a diferencia de

otros sistemas, es relativamente alto para distintas potencias en un mismo sistema; es decir funcionando tanto a plena potencia como a cargas parciales, lo que permite ajustar la producción a la demanda sin sacrificar la eficiencia.

- Asimismo, el rendimiento es bueno independientemente del tamaño de un sistema (a diferencia de los sistemas térmicos que para conseguir buenos rendimientos hay que ir a escalas grandes).
- Son sistemas con muy poca iner-

cia, que pueden seguir casi al instante la curva de demanda.

- Tienen un carácter modular, lo que significa por un lado un aumento de la fiabilidad a la vez que una reducción de costes, por otro lado que las plantas se pueden construir en poco tiempo y que pueden aumentar o disminuir la potencia sin cambiar su diseño, y por último, que se puede conseguir una muy alta disponibilidad ya que la parada de un módulo no supone la parada del sistema completo.
- Al carecer de partes móviles, las pilas de combustible son silenciosas, no producen vibraciones (estas afirmaciones no son válidas para algunos de los compo-

ponentes auxiliares) y, por ello, en teoría requieren poco mantenimiento.

### ¿Por qué hidrógeno y pilas de combustible?

El uso del hidrógeno y/o las pilas de combustible tiene sentido en dos escenarios futuros. El primero es pensando en el largo plazo, en el que hayamos dejado de hacer uso (mejor dicho abuso) de los combustibles fósiles, y nos encontremos ante un sistema energético basado bien en energías renovables, o en energía nuclear de fusión, o probablemente en una combinación de ambas. Las energías renovables (si excluimos el uso de la biomasa) tienen como principal inconveniente que producen electricidad en los momentos y en los lugares en el que haya el recurso (sol, viento, corrientes fluviales o marinas, etc) que muchas veces no coinciden ni con los lugares ni con los momentos en los que hay demanda energética. Las plantas nucleares de fusión serán grandes plantas funcionando probablemente en régimen constante. En ambos casos su aplicación queda limitada a instalaciones fijas (no sería operativo poner ni unos paneles fotovoltaicos, ni un aerogenerador, ni un reactor nuclear en un coche). Para este sistema energético de futuro y sostenible, haría falta “algo” que permitiera almacenar y transportar energía (tanto para ajustar la producción a la demanda, como sobre todo para el transporte), y el hidrógeno se perfila como un buen candidato para ser ese “algo”.

En el corto y medio plazo, mientras sigamos haciendo uso de ⇒

**El hidrógeno es un combustible con un gran poder calorífico: un gramo de hidrógeno libera mucha más energía que un gramo de otros combustibles**

## Las pilas de combustible podrían sustituir a las baterías de teléfonos, cámaras, ordenadores portátiles... por su alta autonomía y menor peso

los combustibles fósiles, el hidrógeno y las pilas de combustible también pueden participar con dos contribuciones fundamentales. Por una parte, el alto rendimiento de las pilas de combustible permite reducir el impacto ambiental en forma de contaminación, tanto en emisiones de CO<sub>2</sub> (por el menor consumo), como de otros contaminantes como CO, NO<sub>x</sub>, etc. (por ser un proceso más "limpio" que la combustión). Por otro lado, producir hidrógeno a partir de un combustible fósil contamina, aunque no su uso. Esto nos permite tener unas plantas de producción de hidrógeno que tengan sistemas de purificación, e incluso de secuestro de CO<sub>2</sub>, y que ese hidrógeno sea utilizado de forma no contaminante por vehículos circulando por los centros de las ciudades. Con ello, conseguiremos una drástica reducción de emisiones a nivel local, y una apreciable disminución de emisiones a nivel global (que podría ser también drástica reducción, si aplicamos técnicas de secuestro de CO<sub>2</sub>).

### ¿Para qué?

Las pilas de combustible y el hidrógeno tienen distintos campos de aplicación, presentando ciertas ventajas y ciertos inconvenientes frente a los sistemas convencionales:

**Aplicaciones en electrónica de potencia.** Las pilas de combustible podrían sustituir a las baterías de los teléfonos móviles, cámaras fotográficas o de video, ordenadores portátiles, etc. Es



→ Estación de Servicio de Hidrógeno de Madrid. Fuente: Ariema.

un tipo de aplicación en la que el precio del sistema de potencia no es un parámetro crítico (suelen costar pocos comparados con el resto del equipo), ni el precio de la energía (casi nadie sabemos cuanto nos cuesta la electricidad para recargar el móvil, sólo sabemos que muy poco). Las pilas de combustible podrían funcionar con metanol (que habría que recargar periódicamente en forma líquida o en cartuchos recargables), o con hidrógeno (en este caso se produciría el hidrógeno por electrólisis conectándose al enchufe), en el primer caso tendríamos que estar pendientes de tener siempre metanol disponible, pero no necesitaríamos estar pendientes de llevar el cargador, ni de encontrar un enchufe, ni tendríamos problemas al viajar a países que tengan distinta tensión eléctrica o diferentes clavijas, y en el segundo caso seguiríamos actuando exacta-

mente igual que hasta ahora. En ambos casos, lo que sí ganaríamos es densidad de energía (en comparación con las baterías, que aunque se ha avanzado mucho continúan siendo grandes y pesadas), y con un sistema del mismo tamaño y peso, conseguiríamos unas autonomías muy superiores.

**Aplicaciones en el transporte.** Se pueden tener vehículos que recarguen hidrógeno, que se almacenará bien en forma comprimida en niveles de presión entre 300 y 700 bares o incluso superiores, bien en forma líquida (criogénica) o bien fijada en algunos compuestos con los hidruros metálicos. Este hidrógeno se puede utilizar en una pila de combustible o en un motor de combustión interna (una adaptación del motor de ciclo Otto que utilizan los de gasolina). También podremos pensar en coches que recarguen ⇒

## Una de las aplicaciones de la tecnología del hidrógeno menos conocida es la del hogar. A partir de gas natural, y por medio de una pila de combustible, se puede producir electricidad



– Autobús de hidrógeno de ISRIBUS  
Fuente: Ariema.

gas natural, metanol o gasolina, y que a bordo del vehículo se produzca el hidrógeno que alimenta la pila de combustible. Las ventajas que encontramos vienen por la parte del rendimiento de la pila de combustible (muy superior a la de los motores de combustión interna), y medio ambientales, sin emisiones en caso de repostar hidrógeno y tener pila de combustible, sólo con NOx en el caso de repostar hidrógeno y tener motor de combustión interna, y sólo CO<sub>2</sub> en el caso de repostar otro combustible y tener pila de combustible, y en menor medida por la alta eficiencia del sistema. Otra ventaja importante que pueden ofrecer los vehículos de hidrógeno frente a los de gasolina es la de la seguridad, demostrada con todo tipo de ensayos de impacto, balazo y accidentes provocados (principalmente por la alta fugacidad del hidrógeno). Entre las desventajas: el hidrógeno se almacena mal, es decir que con un depósito del mismo tamaño y volumen se alcanza una autonomía muy inferior, o en el caso de embarcar otro combustible, que hay que integrar otro equipo a bordo para la obtención del hidrógeno.

### Aplicaciones residenciales.

En nuestros hogares podemos tener sistemas que, a partir de gas natural y por medio de una pila de combustible, produzcan la electricidad que necesitamos. Estos sistemas pueden ser tan eficientes o más que las grandes plantas de producción de electricidad, pero además nos ahorraríamos las pérdidas por el transporte de la electricidad. El principal inconveniente sería la inversión necesaria.

### Generación de electricidad.

Algunos tipos de pilas de combustible (las de alta temperatura) pueden llegar a competir con las plantas de ciclo combinado para la generación de electricidad, cuando alcancen un grado de madurez superior.

### ¿Para cuándo?

Lo cierto es que la tecnología de las pilas de combustible no es en absoluto una tecnología madura, es difícil encontrar equipos que puedan garantizar un número de horas de funcionamiento como para competir con las tecnologías asentadas, y el coste de cualquier equipo es desorbitado. Y respecto al almacenamiento de hidrógeno para aplicaciones en transporte se puede decir algo parecido, todavía no existen sistemas que puedan competir en igualdad de condiciones con los sencillos depósitos de gasolina o de gasóleo.

Queda un largo camino por recorrer, pero lo cierto es que en los últimos años se han recorrido varias de las etapas del camino y existe muy buena predisposición para seguir avanzando en estas líneas.

### ¿Mientras tanto?

Los técnicos deben seguir trabajando como lo están haciendo. Son muchos y están consiguiendo continuamente éxitos. España, sin ser un país puntero, está contribuyendo y son numerosos los investigadores y las empresas nacionales que están en primera línea (la inmensa mayoría de ellos pertenecen a la Asociación Española del Hidrógeno [www.aeh2.org](http://www.aeh2.org), cuyo fin es el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible).

En definitiva, la sociedad debería conocer esta tecnología y mostrarse dispuesta a utilizarla sin complejos. Entre los días 22 y 25 de noviembre de 2005 se celebran en Zaragoza conjuntamente el 2º Congreso Europeo del Hidrógeno y el 2º Encuentro Empresarial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible, lo que supone una magnífica oportunidad para acercarse a esta tecnología en nuestro país. Durante esos 4 días se darán cita los principales investigadores del mundo para explicar los últimos avances, se reunirán los principales fabricantes y empresas de servicios, que contarán sus productos y líneas de desarrollo y se podrá tocar los últimos modelos de equipos y vehículos en la exposición comercial. Es una oportunidad que ninguna persona interesada en hidrógeno y pilas de combustible debería dejar de aprovechar. Más información en [www.ehec.info](http://www.ehec.info). ■

• **Eduardo López Viñas**

Licenciado en Biología Molecular “Severo Ochoa” (CSIC-UAM)

• **Paulino Gómez-Puertas**

Científico Titular del consejo Superior de Investigaciones Científicas y Profesor Honorario de la Universidad Autónoma de Madrid



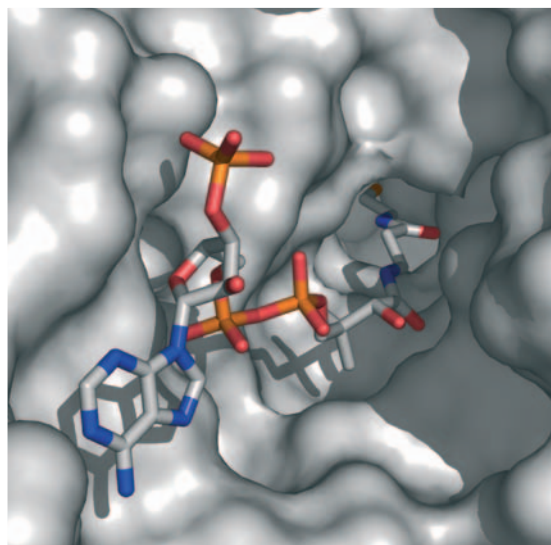
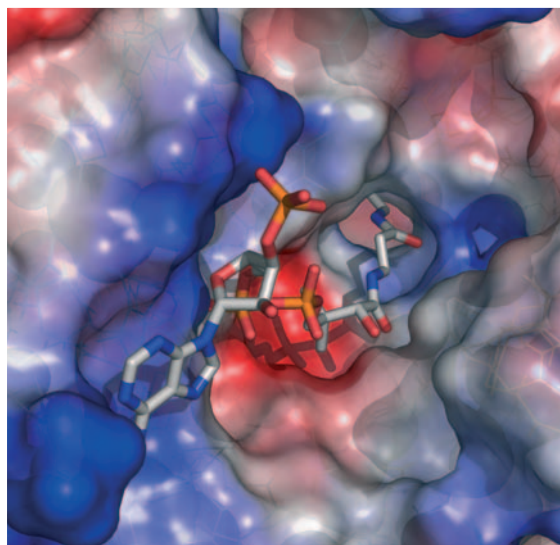
## BIOINFORMÁTICA, LA INFORMACIÓN AL SERVICIO DE LA CIENCIA

La Bioinformática es la disciplina que se encarga de estudiar el contenido y flujo de la información en sistemas y procesos biológicos. Esta disciplina, entre la informática y la biología, surgió principalmente como respuesta a las necesidades de computación y análisis de datos genéticos producidos en el estudio del Proyecto “Genoma Humano”. Hoy en día la bioinformática ofrece grandes posibilidades para el avance de la medicina.

**El fin último de la investigación en Bioquímica y Biología Molecular es siempre el conocimiento de los procesos que gobiernan el funcionamiento de los seres vivos, generalmente con el ánimo de utilizar esta información en provecho del ser humano y de su entorno, con nuevos avances en medicina, mejoras en el medio ambiente, o simplemente para satisfacer la curiosidad innata de saber cómo es el mundo que nos rodea y por qué se comporta como lo hace.**

En los últimos años, este ansia de conocimiento ha provocado la generación de una cantidad cada vez mayor de datos genómicos, bioquímicos y funcionales que, paralelamente al auge de las tecnologías del almacenamiento y transmisión de la información, ha derivado en el nacimiento de una nueva rama de la Biología conocida en general con los nombres de “Bioinformática”, “Biología Computacional” o incluso “Biología Digital”.

En las primeras décadas de auge de la Biología Molecular (de los años 60 a principios de los 90), la investigación se caracterizaba por la abundancia de conocimiento detallado sobre una cantidad no muy grande de genes y proteínas de especial importancia biomédica, implicados en procesos conocidos de señalización, división y metabolismo celular. Sin embargo, la publicación en 1995 del primer genoma completo (*Haemophilus influenzae*) abrió las puertas a un fenómeno ⇒



– La integración de datos estructurales y de secuencia permitirá a la Bioinformática diseñar, de forma eficiente, fármacos específicos dirigidos a centros activos de proteínas de interés biomédico. En la ilustración, una molécula de inhibidor ocupa el sitio que correspondería al sustrato en la superficie de una enzima responsable de la degradación de ácidos grasos, punto clave en futuras terapias de procesos ligados a la obesidad o la diabetes.

no diferente: desde entonces se han obtenido un total de 274 genomas completos, de los cuales 36 pertenecen a organismos eucariotas, algunos tan emblemáticos como los de levadura, arroz, maíz, ratón, chimpancé y, por supuesto, el humano, publicado en junio de 2000. Los dos últimos genomas completos disponibles son el del hongo *Aspergillus fumigatus* y el del pez-cebra (*Danio rerio*), ambos publicados en julio de 2005. En la actualidad están en proceso de secuenciación 1.222 genomas, incluyendo 494 eucariotas (fuente: "Genomes OnLine Database" [www.genomesonline.org](http://www.genomesonline.org)).

El panorama, apenas diez años después de la publicación del primer genoma, ha cambiado radicalmente: en lugar de una gran cantidad de conocimiento sobre unos pocos genes de interés, encontramos encima de la mesa una enorme montaña de datos (el número de secuencias conocidas, depositadas en la base de datos pública de GenBank, es de casi 45 millones) de los

## En 1995 se publicó el primer genoma. Desde entonces se han descifrado un total de 274 genomas completos, entre ellos, el humano

que de apenas un pequeño porcentaje tenemos información acerca de su posible estructura, función, localización o mecanismo en el que se encuentra implicado. Y es en este momento, como disciplina con capacidad de integración de información, cuando la Bioinformática juega un papel central en la generación de los enlaces que permiten correlacionar la información disponible para extraer los patrones subyacentes y avanzar así en el conocimiento del funcionamiento de los organismos vivos.

La fuente de la que se nutre la Bioinformática la constituyen una serie de bases de datos de acceso público donde se acumula, continuamente, toda la información disponible. Éstas se han especializado

según la naturaleza de los datos almacenados, siendo las principales las que recogen secuencias de genes, genomas y proteínas (GenBank: [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov); EMBL: [www.ebi.ac.uk](http://www.ebi.ac.uk); DDBJ: [www.ddbj.nig.ac.jp](http://www.ddbj.nig.ac.jp); Uniprot: [www.ebi.uniprot.org](http://www.ebi.uniprot.org)), estructuras tridimensionales de macromoléculas (Protein Data Bank: [www.rcsb.org/pdb](http://www.rcsb.org/pdb)), datos de expresión génica (Array Express: [www.ebi.ac.uk/arrayexpress](http://www.ebi.ac.uk/arrayexpress); Stanford Microarray Database: [genome-www5.stanford.edu](http://genome-www5.stanford.edu)), ontologías (GeneOntology: [www.geneontology.org](http://www.geneontology.org)) y literatura científica (PubMed: [www.ncbi.nlm.nih.gov/Literature](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Literature)).

El primer reto al que se enfrenta la Biología Computacional es, precisamente, el mantenimiento y regulación de acceso a estas bases de datos, cuyo volumen ⇒



→ El Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa" es uno de los más activos de nuestro país

crece exponencialmente al tiempo que lo hace el número de usuarios que solicitan su utilización o descarga. A esto se unen algunos problemas históricos que arrastran algunas de ellas desde su nacimiento, como que cada una de las 30.000 entradas del Protein Data Bank sea un archivo independiente en formato de texto o, aún más complicado, que toda la base de datos de GenBank o de Uniprot sea un sólo archivo de texto de un tamaño cada vez más inmanejable. Aunque, por suerte, la memoria de trabajo de los ordenadores y la capacidad de transporte de las redes ha crecido también en los últimos años, no está claro si en un futuro la estructura de estas bases de datos no necesitará de una reforma radical para permitir que sigan siendo útiles.

Es, sin embargo, esta enorme cantidad de datos disponibles y la esperanza de encontrar los nexos de unión entre ellos lo que empuja a los especialistas en Bioinformática a plantearse una serie de retos ambiciosos que

parecen encontrarse al alcance de la mano, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- **Modelado virtual de la estructura tridimensional de proteínas y complejos proteicos.** En la década de los 90 fue este campo de la Bioinformática uno de los que registraron un mayor crecimiento. En unos pocos años se pasó de sistemas capaces de apenas sugerir características unidimensionales como la capacidad de los aminoácidos de plegarse en láminas beta y hélices alfa a obtener modelos tridimensionales completos de gran calidad para una cantidad que se aproxima al 30% de todas las entradas de la base de datos Uniprot (con 2 millones de secuencias de proteína anotadas). Los avances se fueron haciendo patentes desde las primeras ediciones de la competición internacional CASP (Critical Assessment of Techniques for Protein Structure Prediction: [www.predictioncenter.org](http://www.predictioncenter.org)) y su variante para sistemas completamente automáticos (CAFASP). Hay, sin embargo,

similar a la que posee la proteína in vivo. Pese a que los esfuerzos dedicados son cada año mayores, entre los que destacan la actividad del ordenador "BlueGene" de IBM o la inauguración reciente del "Mare Nostrum" en Barcelona, los resultados, aunque esperanzadores, son aún escasos. En todo caso, merece la pena seguir en el empeño: si se encontrase la manera correcta de plegar una proteína completa in silico, se habría dado con la Piedra Rosetta que permitiría el paso de gigante de la simulación efectiva de muchos de los procesos que tienen lugar dentro de la célula y que están guiados por fuerzas de interacción entre aminoácidos muy similares.

- **Simulación in silico de los mecanismos de interacción entre macromoléculas.** Un problema en parte similar al anterior, pero en el que entran en juego factores como la definición de superficies de interacción y sus características fisicoquímicas. Los sistemas actuales de predicción de interacciones entre macromoléculas, aunque han avanzado conside-

## El auge de las tecnologías de almacenamiento y transmisión de información, ha derivado en el nacimiento de una nueva rama de la Biología conocida como Bioinformática

en este campo un tema pendiente que aún no termina de avanzar a la velocidad deseada: la obtención, utilizando únicamente el conocimiento de las fuerzas físicas que gobiernan las interacciones entre los átomos que componen una cadena polipeptídica desplegada de la trayectoria de plegamiento que permita alcanzar una forma final energéticamente estable y

rablemente en los últimos 4-6 años como lo demuestran los cada vez mejores resultados de la competición internacional CAPRI (Critical Assessment of Prediction of Interactions: [www.capri.ebi.ac.uk](http://www.capri.ebi.ac.uk)), no han llegado aún a la capacidad de los sistemas de predicción de plegamiento, sobre todo cuando se utilizan modelos tridimensionales obtenidos a su vez mediante ⇒

modelado informático. En coordinación con técnicas recientes de obtención de volúmenes tridimensionales de complejos macromoleculares mediante microscopía electrónica de alta resolución, en los últimos tiempos están apareciendo sistemas que permiten acoplar en estos volúmenes los modelos atómicos de las moléculas que lo constituyen. Aún es pronto para asegurarlo, pero probablemente sea éste uno de los puntos más cercanos de conexión entre el mundo macromolecular (microscópico) con el atómico a desarrollar en los próximos años.

· **Integración de datos de secuencia y estructura tridimensional.** Mejor suerte que los anteriores corren los sistemas de simulación de interacciones de fármacos con los centros activos de determinadas proteínas de interés biomédico. Aunque lejos aún de poder sustituir efectivamente a las técnicas tradicionales de muestreo in vitro, la integración de análisis de datos de secuencia aminoacídica y de su conservación a lo largo de la evolución en familias de proteínas junto con el modelado tridimensional de su estructura, están permitiendo conocer cada vez mejor los mecanismos responsables de la especificidad funcional de las proteínas y de cómo utilizarla para diseñar fármacos “a la carta” en un futuro cada vez más cercano.

· **Análisis de la expresión génica.** El uso de microarrays para obtener información de la relación entre determinados estados celulares, tisulares e incluso sistémicos con los niveles de expresión específicos de determinados genes o grupos de genes es, de entre todas las técnicas bioinformáticas, la que probablemente se utilice de forma más generalizada en los laborato-

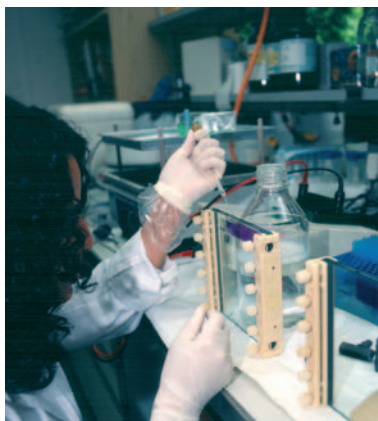
## La Bioinformática, como disciplina independiente, posee la capacidad de generar conocimiento nuevo además de procesar eficientemente el ya existente

rios de experimentación en Biología Molecular. El avance en los métodos estadísticos que permiten una correcta interpretación de los datos y su integración con información funcional y de secuencia hace de esta técnica una de las más poderosas en el estudio simultáneo de grandes cantidades de información experimental.

· **Análisis de genomas y secuencias de genes y proteínas.** Entre los sistemas estrella de la Bioinformática figuran aquellos capaces de predecir, a partir de la maraña de bases nucleotídicas que componen la salida de los sistemas automáticos de secuenciación genómica, la localización de los genes y secuencias reguladoras. Una vez localizados, el siguiente paso es la asignación funcional utilizando para ello métodos que integran el análisis de la composición física del DNA con la comparación de secuencias a nivel tanto de familias de proteínas como de genomas completos. La asignación de función por comparación con secuencias similares, idealmente homólogas es, al tiempo, un éxito de la Bioinformática y uno de sus mayores riesgos. Un éxito porque permite extrapolar la función de una proteína en un organismo del que apenas si es necesario dispone de poco más que su secuencia de DNA (en ocasiones apenas si se conoce el organismo en sí, no habiéndose trabajado nunca con él en el laboratorio como ocurre con determinadas bacterias y arqueas presentes en ecosistemas extremos). Y un riesgo porque la cantidad de

proteínas de las que su función sólo se conoce por este método supera ya a aquellas de las que se ha obtenido experimentalmente y las probabilidades de que, por proximidad de secuencia y de forma transitiva, determinadas funciones se asignen equivocadamente a terceros que a su vez pueden ser el origen de nuevos errores en anotación, aumentan cada vez más. Aunque se utilizan métodos para prevenir estos problemas, es éste sin duda un riesgo latente que habrá que cuidar en el futuro.

· **Análisis de la literatura científica.** Uno de los proyectos más novedosos, por lo alejado de los conceptos biológicos clásicos, es el análisis de texto científico. Estos sistemas de minería de datos utilizan parámetros de frecuencia de aparición de determinadas palabras (nombres de genes, proteínas y funciones) o combinaciones de palabras, así como su relación mediante determinados verbos o conjunciones para extraer información específica de función o de relaciones entre macromoléculas a partir de resúmenes o textos completos de artículos científicos. Verdadera arqueología del conocimiento guardado en las bases de datos de literatura (en la base de datos de PubMed hay, en la actualidad, 14 millones de entradas), estos métodos permiten combinar el conocimiento previo con el actual para encontrar relaciones que pasarían desapercibidas de otro modo ante la imposibilidad de consultar personalmente tal cantidad de información. ⇔



## La Bioinformática, ordena y regula la basta información que existe sobre genes y proteínas de toda naturaleza

Y, por último, el gran reto de la Biología Molecular en las próximas décadas, en el que la Bioinformática puede jugar un papel protagonista, es dar un paso más allá de la biología de lo pequeño para encontrar grandes patrones comunes que permitan conocer el funcionamiento completo de organismos y ecosistemas complejos, en lo que se ha venido a llamar la "Biología de Sistemas".

La Bioinformática, como disciplina independiente posee ya la capacidad de generar conocimiento nuevo además de procesar eficientemente el ya existente. Precisamente, por ello, tiene ahora por delante la obligación, no necesariamente fácil de asumir, de compartir realmente este conocimiento con la amplia comunidad de científicos experimentales, expertos en los diferentes campos de la Biología Molecular. Esta interacción no siempre es de la naturaleza deseada. A modo de ejemplo, no es infrecuente encontrar especialistas en un grupo de genes o proteínas que, al consultar las bases de datos donde se recoge su secuencia y función, experimentan una cierta frustración al comprobar que la información

no es lo precisa que desearían o que ésta se ha generado de forma automática sin tener en cuenta pequeños detalles específicos que resultan ser clave en la función real de ese grupo concreto de genes. La interacción estrecha con los grupos experimentales expertos en cada tema permitiría conocer los puntos en los que la Bioinformática no genera las respuestas adecuadas, el primer paso para poder corregirlos. Sería esta retroalimentación la que posibilitaría un nuevo avance de la Biología Computacional.

Para hacer frente a este reto, la mejor herramienta con la que se cuenta es la formación de un número elevado de especialistas en Bioinformática y Biología Computacional, con formaciones diferentes (en ciencias bio-sanitarias, informáticos, matemáticos, químicos, físicos) capaces de integrarse en equipos multidisciplinares con capacidad de interacción con los expertos de cada una de las áreas concretas. Por desgracia, en nuestro país y con alguna honrosa excepción, tal oferta formativa es muy escasa, reduciéndose en muchos casos a cursos de pocos días de duración para licencia-

dos que no permiten ofrecer una panorámica adecuada de los fundamentos de la disciplina. Esto sigue provocando que la mayoría de los licenciados en Biología Molecular apenas si hayan tenido contacto durante la carrera con las herramientas básicas de acceso y manejo de lo que más tarde será parte fundamental de su trabajo: las bases de datos donde se almacena el conocimiento de secuencia, estructura y función de las macromoléculas biológicas. Pero el panorama puede cambiar, y ya algunas universidades públicas y privadas empiezan a ofrecer como asignatura, en sus estudios de segundo ciclo, materias relacionadas con la Bioinformática, además de los cursos de doctorado y "master" de especialización para posgraduados, en lo que quizá sea, esperemos, la señal de que en esta materia no perderemos el tren de la investigación puntera por falta de base formativa. ■

## ESPECIAL AÑO MUNDIAL DE LA FÍSICA

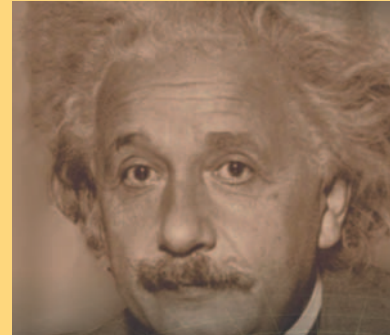
El portal [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org) recoge toda la información sobre los actos conmemorativos



■ Visitas recibidas en [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org)

Finalizado el primer semestre del 2005, todos los datos demuestran la calurosa acogida que esta celebración ha tenido en la sociedad española. Durante estos meses, por todo el país, se han organizado actividades para conmemorar el centenario de la teoría de la relatividad y el Annus Mirabilis de Einstein. El portal [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org),

gestionado por el Colegio Oficial de Físicos con la colaboración del Ministerio de Educación y Ciencia y la Real Sociedad Española de Física, se ha convertido en la principal fuente de información para seguir todos los actos conmemorativos. En lo que lleva de año ya ha recibido más de 46.300 visitas. (página 52) ⇒



Exposición “De Einstein al futuro” (página 54)



Jornadas sobre “nuevas tendencias en la enseñanza de Física y Química” (página 57)



El Colegio de Físicos contribuye a la lucha contra el Cambio Climático (página 57)



## CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Por iniciativa de la ONU y de la UNESCO, el presente año ha sido declarado Año Mundial de la Física. Se trataba de conmemorar, con la mayor solemnidad posible, el centenario del primer artículo que escribió Einstein sobre las bases de la relati-

vidad especial. En la misma fecha publica otros dos artículos auténticamente revolucionarios. En uno de ellos se fundamenta la teoría del movimiento browniano, sobre el que se fundará la termodinámica de los procesos irreversibles. (página 54) ⇒

CONAMA VII  
CUMBRE DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

Finaliza el VII CONAMA y comienza la octava edición (página 57)

⇒ (viene de la página 51)

**I Marta Izquierdo**

## EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO MUNDIAL DE LA FÍSICA SE CIERRA CON UN GRAN ÉXITO DE PÚBLICO

La celebración del Año Mundial de la Física ha dado lugar a una gran cantidad de iniciativas culturales relacionadas con Einstein y su Año Milagroso, así como a otras más generales, dedicadas a las distintas áreas de la Física. Las propuestas han tenido distintos objetivos: las más generales han conseguido acercar la Física a la sociedad y fomentar el estudio de las disciplinas científicas entre los más jóvenes; y, aquellas más técnicas y específicas, han querido profundizar en aspectos concretos y actualizar los conocimientos de los expertos.

La Teoría de la Relatividad, que cumple cien años en este 2005, ha sido sin duda alguna el tema más tratado, pero muchas instituciones han querido también acercar al mundo la personalidad, más allá del mito, de Albert Einstein. Su vida, sus inquietudes sociales, sus viajes... Este gran genio de la Física no sólo fue un brillante científico, sino también un excepcional personaje. Por ello, este año se ha querido acercar a todos su dimensión más humana.

### www.fisica2005.org, el portal del Año Mundial de la Física

Todos los esfuerzos de las distintas universidades, asociaciones, institutos, museos, centros de investigación, colegios profesionales, etc., para preparar actividades relacionadas con la Física, merecían un punto de encuentro donde cualquier persona pudiera encontrar la actividad que más se ajustara a sus intereses. Consciente de la enorme cantidad de propuestas, el Colegio Oficial de Físicos, junto con el Ministerio de Educación y Ciencia y la Real Sociedad Española de Física, pusieron en marcha el portal [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org)



Desde esta web se pueden localizar todas las actividades relacionadas con el centenario de Einstein. A través de un sencillo buscador, es posible encontrar eventos en función de la Comunidad Autónoma, la institución que organiza el acto, la fecha o el tema que tratan. Así, ningún esfuerzo queda perdido y, desde cualquier parte del mundo, los usuarios pueden encontrar el curso, conferencia o exposición que más les interese.



### Más de 350 actividades de todo tipo

En su labor por recoger todas las propuestas, [fisica2005.org](http://www.fisica2005.org) se ha convertido en testigo de excepción de la activi-

dad que ha propiciado este acontecimiento. En total, se han indexado más de 350 actividades, entre conferencias, jornadas, cursos, exposiciones, congresos, ciclos temáticos, etc.

Además de la labor de búsqueda desde el Colegio Oficial de Físicos para recopilar los eventos y, por supuesto, de la información que cada institución ha facilitado sobre sus actos, es necesario mencionar las actividades que los propios usuarios han enviado al portal. Y es que [fisica2005.org](http://fisica2005.org) está abierto a todos aquellos que quieran poner su granito de arena en la celebración del Año Mundial de la Física: los visitantes tienen la posibilidad de incluir eventos en la web. Esta opción del portal ha tenido un gran éxito entre las asociaciones y los centros de enseñanza secundaria, que ha podido ver cómo sus conferencias y exposiciones recibían difusión desde la web.



### Interactividad: la apuesta de [fisica2005.org](http://www.fisica2005.org)

Uno de los motivos del éxito del portal es el protagonismo que ofrece tanto a los usuarios como a las instituciones. Todos ellos han podido involucrarse, introduciendo sus propios eventos para mantenerlo siempre actualizado y completo. Así, se ha convertido en una página viva, creada entre todos a modo de mosaico. La interactividad que el Colegio de Físicos ha querido dar a la web ha propiciado su carácter abierto y variado. Además, las instituciones han encontrado una forma sencilla de dar difusión a sus actividades, desde una red de trabajo abierta a todos.

El valor de esta infraestructura es innegable y, por ello, al comienzo del ⇒

2006 se aprovechará esta red que ya está establecida para seguir difundiendo la importancia de la Física y las actividades relacionadas con ella. A partir del próximo año, se dará cobertura no sólo a los eventos relacionados con el Año Mundial y el centenario de Einstein, sino a todos los actos sobre la Física, estructurados en los diversos portales de la red [www.fisicaysociedad.es](http://www.fisicaysociedad.es)

Este carácter plural ha convertido a [fisica2005.org](http://fisica2005.org) en punto de referencia a la hora de localizar los acontecimientos en todo el país. Más de 120 instituciones, entre museos, organizaciones, asociaciones, institutos, centros de investigación, fundaciones y universidades, han confiado en este portal para dar a conocer sus iniciativas.

**[www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org)  
recibió más de 10.300  
visitas el pasado mes de junio**

Este esfuerzo realizado por todos para promover el conocimiento de la Física y su trascendencia en la sociedad actual, ha sido recompensado por el público que ha visitado el portal. Desde su puesta en marcha, se han realizado más de 46.000 consultas para encontrar noticias, organizaciones, bibliografía, reflexiones y eventos.

En el mes de abril, el Colegio Oficial de Físicos envió el primero de sus boletines electrónicos del Año Mundial de la Física, en los que cada semana se sintetizan los contenidos más importantes del portal. Coincidiendo con este primer envío, [fisica2005.org](http://fisica2005.org) alcanzó su mayor número de visitas: un total de 12.475.

El boletín semanal, de suscripción gratuita a través de la web, informa semanalmente de los eventos más destacados y las últimas noticias. Se completa con una exclusiva reflexión de algunas de las personalida-

des más importantes del mundo científico europeo, y enlaces a otras páginas web relacionadas con la Física y con Einstein.

Los boletines han sido la mejor prueba de la actividad académica y cultural que ha despertado esta ocasión, y su utilidad se ha plasmado en el creciente número de suscriptores. Se envía cada semana a más de 2.800 personas que, además, tienen la posibilidad de consultar los boletines anteriores, y de reenviarlo a sus conocidos.

Durante el mes de junio, más de 10.000 personas accedieron a la página web. Las estadísticas muestran que [fisica2005.org](http://fisica2005.org) no sólo ha sido útil al público de España, sino que también se ha convertido en referente para los internautas de toda Iberoamérica, especialmente de Perú, Argentina y Chile. Y es que el 20 por ciento de las visitas recibidas durante el mes de julio procedían de estos países.

#### **Las reflexiones de los expertos han acercado la Física a la sociedad**

Una de las secciones más visitadas del portal ha sido la de las reflexiones sobre el Año Mundial de la Física. Algunas de las personalidades más relevantes del ámbito científico han querido compartir su valoración de este acontecimiento. En exclusiva para [fisica2005.org](http://fisica2005.org), numerosos catedráticos de universidades de España e Iberoamérica, así como investigadores de centros españoles y europeos, e incluso la Ministra de Educación y Ciencia, M<sup>a</sup> Jesús San Segundo, han dejado constancia de la oportunidad que este año presentaba para acercar al público al mundo de la Física.

Tras un balance tan positivo, desde el Colegio Oficial de Físicos sólo podemos augurar un segundo semestre aún

más intenso y lleno de actividades con las que celebrar el acontecimiento y difundir la importancia de esta ciencia a toda la sociedad. Hasta el próximo diciembre, cuando se dé por finalizado el Año Mundial de la Física, [fisica2005.org](http://fisica2005.org) continuará cumpliendo con sus objetivos: reunir en un solo portal todas las propuestas, y ser punto de encuentro entre la sociedad y las instituciones, con el fin último de promover y difundir la trascendencia de la Física en todos los ámbitos. ■

#### **Galería**

Los físicos más importantes de la Historia, retratados por Antonio Gómez Miguel en la Galería de [fisica2005.org](http://fisica2005.org)

Esta original iniciativa del Colegio de Físicos permite dar un paseo por la historia de la Física a través de la colección de dibujos de Antonio Gómez Miguel "Mis Queridos Físicos". Desde Copérnico o Galileo hasta Heisenberg, pasando por los españoles Julio Palacios o Blas Cabrera y, cómo no, Albert Einstein, el autor repasa con sus originales el desarrollo de la Física.

Se trata de una galería virtual que recoge la colección de dibujos sobre los físicos más relevantes de la historia, los que impulsaron el avance de la ciencia con sus descubrimientos. Los retratos se dividen en cinco secciones: Antigüedad, Siglos XVI-XVII, Siglos VII-XVIII, Siglos XVIII-XIX, y Físicos Españoles.

En total, hay 71 personajes y un cartel de Einstein que el autor realizó en 1968, para la 22<sup>a</sup> promoción de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid, de la que forma parte. Para realizar los originales, Antonio Gómez empleó rotuladores de pluma y pincel de tinta sin alcohol con punta nylon, en una gama de 12 grises.

**El portal [www.fisica2005.org](http://www.fisica2005.org) está gestionado por el Colegio Oficial de Físicos, con la colaboración del Ministerio de Educación y Ciencia y la Real Sociedad Española de Física**

⇒ (viene de la página 51)

**Alberto M. Arruti**

## CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN EL AÑO MUNDIAL DE LA FÍSICA

En otro de los artículos, se lanza la idea de que la radiación no es continua, sino que está constituida por cuantos de energía discretos, lo que abre las puertas a la teoría cuántica.

Que la ciencia y la técnica constituyen dos realidades distintas es una obviedad, pero se encuentran estrechamente relacionadas. La ciencia busca el conocimiento, sin preocuparle su posible utilidad. La técnica, en cambio, busca la utilidad; diríamos que la ciencia pretende comprender el mundo y la técnica pretende dominar el mundo.

Mario Bunge ha podido escribir que “la ciencia es un estilo de pensamiento y de acción: precisamente el más reciente, el más universal y el más provechoso de todos los estilos”. De todas las ciencias, la Física ha ocupado un lugar señero en la primera y en la segunda revolución industrial, hasta el punto que Rutherford ha escrito que “toda ciencia es Física o colecciones de sellos”.

**Todo ese conjunto de técnicas, que han recibido el nombre de “nuevas tecnologías”, están basadas en aquellas dos grandes revoluciones científicas que tuvieron lugar en el siglo XX: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica**

Todo ese conjunto de técnicas, que nos invaden todos los días y que han recibido el nombre de “nuevas tecnologías”, están basadas en aquellas dos grandes revoluciones científicas que tuvieron lugar en el siglo XX y que son: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica. Precisamente, la Física de los procesos nucleares tiene como base la célebre ecuación de Einstein, que identifica masa con energía y que ha servido de base a los sellos y a los carteles publicitarios que han aparecido con motivo de

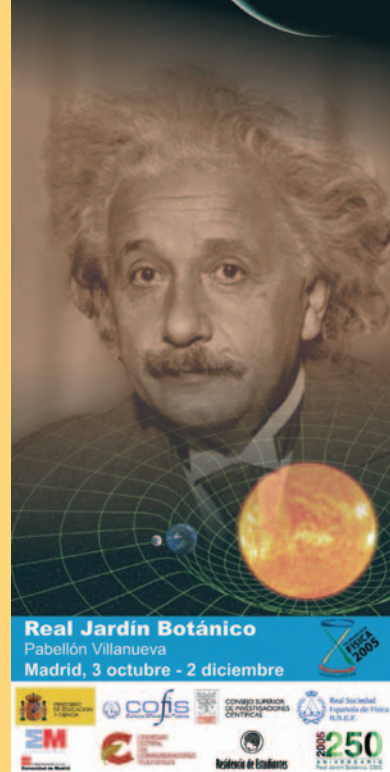
este Año Mundial. La ecuación, que aparece por todas partes, es  $E=mc^2$ . Por citar otro ejemplo, el láser, cuya interpretación admite dos aspectos, clásicos y cuánticos.

En realidad fue en 1905 cuando aparece la relatividad especial. Diez años más tarde, Einstein dará a conocer la relatividad general. Mientras que la primera modifica los conceptos básicos de la Mecánica y, en consecuencia de la Física, la segunda se limita a un único problema del vasto campo de la Mecánica.

Todas estas celebraciones nos llevan a considerar el eterno problema de la ciencia en España. Del “que inventen ellos” de Unamuno hasta el “inventamos nosotros” de Menéndez Pelayo media un profundo abismo. Hoy podemos felicitarnos porque se ha superado la mítica barrera del 1 por ciento en I+D. Este indicador representa el porcentaje total, público y privado, de inversión relativo al Producto Interior Bruto (PIB). Pero conviene recordar que la mayor contribución hasta alcanzar esta cota corresponde al sector privado, que ha pasado de aportar un 0,51 por ciento en 2001 a un 0,6 en 2003. También ha contribuido, de forma importante, la inversión en investigación en la enseñanza superior. El hecho de que la Unión Europea haya pasado del 1,92 por ciento en 2001 al 1,95 en 2002 pone de manifiesto que, de hecho, no acortamos distancias. En definitiva, parece cada vez más inalcanzable el objetivo del 3 por ciento para el año 2010 propuesto por el Consejo de Europa.

En realidad fue en 1905 cuando aparece la relatividad especial. Diez años más tarde, Einstein dará a conocer la relatividad general. Mientras que la primera modifica los conceptos básicos de la Mecánica y, en consecuencia de la Física, la segunda se limita a un único problema del vasto campo de la Mecánica. ■

## Exposición De Einstein al Futuro



**Real Jardín Botánico**  
Pabellón Villanueva  
Madrid, 3 octubre - 2 diciembre

**FÍSICA 2005**

Logos of participating organizations: EM, COFIS, COMISIÓN EUROPEA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, Real Sociedad Española de Física R.S.E.F., ICS 250, and Academia de Estudios.

## Isabel Pérez EL REAL JARDÍN BOTÁNICO ACOGUE LA EXPOSICIÓN “DE EINSTEIN AL FUTURO”

A partir del próximo 3 de octubre y hasta el 2 de diciembre permanecerá abierta al público esta exposición que conmemora la celebración del Año Mundial de la Física 2005 y que promueven diferentes instituciones, entre las que se encuentra el Colegio Oficial de Físicos.

Junto al Colegio de Físicos, el Ministerio de Educación y Ciencia, el CSIC, la Real Sociedad Española de Física, la Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales y el Instituto Superior de Formación del Profesorado, preparan la Exposición “De Einstein al Futuro” que se expondrá en uno de los pabellones del emblemático Real Jardín Botánico. ⇒

El público asistente podrá acceder a los tres apartados en los que estará dividida la muestra. Estos son: la Física del siglo XXI, Albert Einstein (1875-1955) y la Galería de Físicos. Estas tres secciones tienen en común que abarcan sectores implicados desde la época de Einstein hasta el presente, con vistas de su desarrollo y posterior investigación en el futuro.

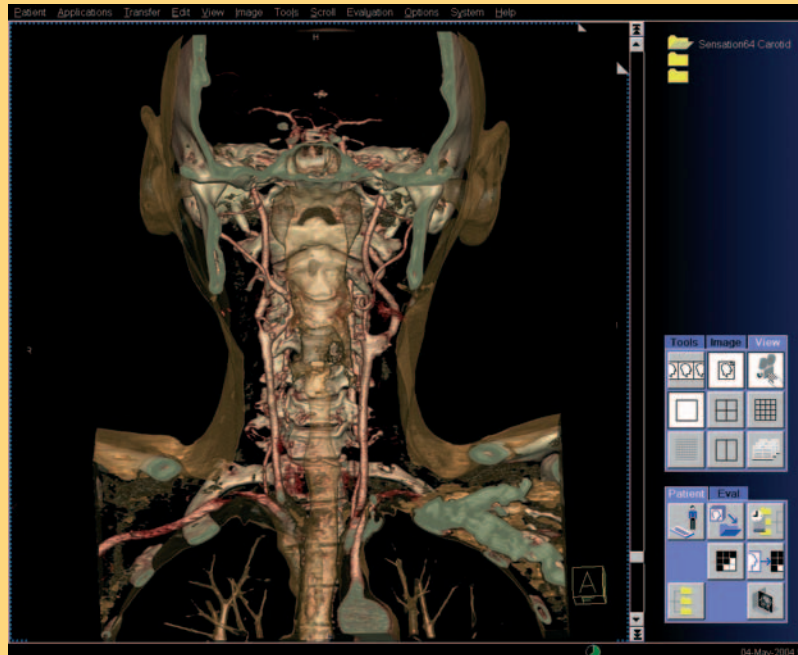
**Objetivo: divulgar la ciencia**

Con esta exposición se pretende, entre otras cosas, llamar la atención al público asistente sobre la importancia de la ciencia en nuestros días. Y es que es un hecho incuestionable que vivimos en una sociedad donde la ciencia, pese a su protagonismo, es muy poco conocida. Por esta razón, desde instituciones estatales y privadas, se intenta incentivar la apreciación de los trabajos científicos a través de muestras, en museos y otros lugares, gracias a las cuales se percibe un aumento del interés del público hacia estos temas.

Asimismo, la comunidad científica se suma a este tipo de iniciativas para, desde la propia experiencia, contribuir a la divulgación de la ciencia y a la extensión del conocimiento. De este modo, fomentando el interés general por los temas científico-técnicos, se consigue que la investigación pueda tener cada vez mayor presencia en las políticas de inversión estatal y privada. Por otro lado, también se consigue avanzar en el difícil camino de llegar a la sociedad a través de los medios de comunicación social. ■

**El Año Mundial de la Física en la V Semana de la Ciencia de Madrid**

Otro año más al comienzo del nuevo curso académico se dedica una semana a la Ciencia, entre los días del 7 al 20 de noviembre, en la que en esta ocasión a su vez conmemorará la celebración del Año Mundial de la Física. En este marco, el Colegio Oficial de Físicos ofrecerá la tertulia "El futuro de la Física en España", a la que le seguirá una rueda de preguntas y respuestas motivando así la consecución de un coloquio. Este acto tendrá lugar en la sede que acogerá la exposición "De Einstein al Futuro" en el Real Jardín Botánico de Madrid.



# Conferencia sobre las aportaciones de la Física en la Medicina

Con motivo del Año Mundial de la Física, el Colegio de Físicos propone la realización de una conferencia el 1 de diciembre donde se trate el tema de las aportaciones de la Física en la Medicina que persiga un doble objetivo: el divulgativo y el reconocimiento de la profesión del Físico en este ámbito.

Desde su aparición como una nueva disciplina, la Física Médica ha contribuido al desarrollo de nuevas técnicas diagnósticas, a la mejora de los tratamientos de enfermedades, así como a la colaboración interdisciplinar entre físicos y médicos.

Por toda esta labor, y aprovechando la celebración del Año Mundial de la Física, el Colegio ha propuesto la realización de una charla que tendrá lugar el 1 de diciembre, donde participarán figuras destacadas de esta especialidad y donde se hablará sobre la importancia de la Física en el avance de la Medicina.

Esta charla irá dirigida al público interesado por conocer algo más de

esta rama científica que revela gran importancia hoy en día, por el tratamiento de enfermedades como el cáncer. El tono divulgativo, pero a la vez rigurosamente científico, hará de esta conferencia un acto atractivo tanto para el público general como para el profesional.

**La gestación de una especialidad alabada**

Poco a poco, la presencia de físicos en hospitales de todo el mundo ha ido aumentando conforme se exigía un conocimiento específico de materias como la radiactividad en los nuevos tratamientos diagnósticos, así como en el examen del estado de salud. ⇒

La especialidad sanitaria de la Radiofísica Hospitalaria está respaldada jurídicamente tras la aprobación del Real Decreto 220/1997 de 14 de febrero, tras más de veinte años de gestación. De este modo, queda expuesta la especialidad a la que se accede tras una formación postgrado de tres años consistente en un sistema de residencia en hospitales.

El colegio está representado en la Comisión Nacional de Radiofísica Hospitalaria a través de la Dra. Marina Tellez Cepeda, jefe de servicio de radioprotección del hospital universitario La Paz.

### El homenaje definitivo

Además de conformarse como un acto divulgativo, el principal objetivo de esta charla es homenajear a los profesionales que, gracias al esfuerzo continuado representan un elemento básico de apoyo a la Medicina actual. ■

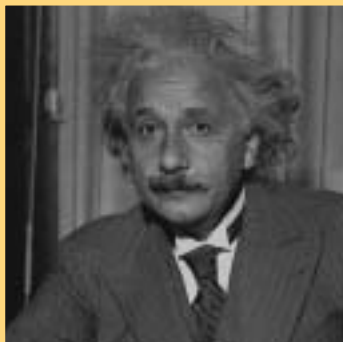


Foto cedida por Siemens

### Red Iberoamericana de seguridad radiológica y nuclear

Tal y como se informa en el número 34 de la Revista Seguridad Nuclear del CSN, el Colegio de Físicos está contribuyendo al desarrollo de una red iberoamericana de seguridad radiológica promovida por el Foro Iberoamericana de organismos reguladores radiológicos y nucleares y por el OIEA.

Dentro de sus objetivos, este foro tiene como una de sus líneas de actuación la promoción y desarrollo de una red que permita la gestión y la distribución del conocimiento sobre aquellas disciplinas técnicas y tecnologías que conciernen a la seguridad nuclear y radiológica.



## ESTE AÑO TAMBIÉN SE CELEBRA...

### • EL QUIJOTE... 400 AÑOS

**El Quijote, de Miguel de Cervantes,** se ha consolidado como la obra literaria española con más proyección nacional e internacional, donde casan realidad e imaginación. Al Caballero de la triste figura se le recuerda especialmente este año, cuando se cumplen 400 años desde su primera edición.

### • JULIO VERNE... 100 AÑOS

**Julio Verne es fuente de inspiración** para escritores que, como él, han sabido dar cabida al mundo científico en el mundo literario, dando pinceladas de fantasía y un, por entonces, insospechable futurismo.

### • UNIVERSIDAD DE SEVILLA... 500 AÑOS

**Del centro de estudios que fue en sus inicios,** la Universidad de Sevilla se ha ido desarrollando hasta albergar 25 facultades y escuelas con 65 titulaciones oficiales y más de sesenta mil estudiantes.

### • CERN... 50 AÑOS

**El Centro Europeo de Investigación Nuclear** está considerado como el

laboratorio de investigación básica más importante del mundo y está constituido por veinte estados miembros, entre ellos España. Entre las aportaciones hechas destaca el descubrimiento de los quarks o el desarrollo de aceleradores cada vez más potentes.

### • CSN... 25 AÑOS

**El Consejo de Seguridad Nuclear,** organismo independiente de la Administración del Estado, se encarga de la vigilancia y regulación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica en España.

### • ENRESA.... 20 AÑOS

**La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A.** se encarga de la gestión de los residuos radiactivos que se generan en nuestro país y del desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

### • REE.... 20 AÑOS

**Red Eléctrica Española dedica su actividad** al transporte de electricidad y a la operación de sistemas eléctricos. Este operador es garantía de equilibrio entre la producción y el consumo de energía de nuestro país.



## Jornadas sobre “nuevas tendencias en la enseñanza de Física y Química”

Estas jornadas, organizadas por el Colegio de Físicos junto al Consejo General de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias, la Fundación CosmoCaixa de Madrid y el Ministerio de Educación y Ciencia, pretenden ser un punto de encuentro para el debate sobre los retos actuales de la enseñanza de la materia de Física y Química en la educación secundaria.

Las Jornadas, que tendrán lugar el 25 y 26 de noviembre en la sede de CosmoCaixa en Alcobendas (Madrid), intentan dar respuesta a las exigencias actuales del alumnado que pide más actividades que faciliten el aprendizaje de las ciencias experimentales. Por eso, en estas jornadas también tienen cabida talleres experimentales que presentan, de manera barata y sencilla, una física y química recreativa.

## El Colegio de Físicos organiza el curso “un paseo por la Historia de la Ciencia”

En el mes de octubre el Colegio de Físicos organizará un curso para profesores de enseñanza secundaria y bachillerato que ofrece una visión de la Historia de la Ciencia a través del conocimiento de sus protagonistas. Este curso se celebrará en Madrid los días 17-19 y 24-26 de octubre. Las clases serán impartidas por reconocidos físicos españoles que, además de ofrecer conocimientos teóricos esenciales, motivarán el debate con los alumnos.



## TNT2005 Trends in Nanotechnology, una oportunidad para la Nanotecnología en España

Del 29 de agosto al 2 de septiembre se celebra en Oviedo el Congreso TNT2005, punto de partida para muchos jóvenes investigadores en el mundo de la Nanociencia.

Desde que tuvo lugar la primera edición de este congreso en el año 2000, el TNT ha ido creciendo en número de participantes y en relevancia, con alrededor de 400 participantes de más de 25 nacionalidades diferentes. El Colegio de Físicos apoya la organización de este congreso, gracias al cual España se convierte en sede del progreso de una de las nuevas tecnologías con mayor propulsión investigadora: la Nanotecnología.

Más información:  
[www.nanospain.org](http://www.nanospain.org),  
[www.phantomsnet.net/TNT2005](http://www.phantomsnet.net/TNT2005).

## Finaliza el VII CONAMA y comienza la octava edición

Temas Clave del Desarrollo Sostenible en España y Memoria del VII CONAMA, Cumbre del Desarrollo Sostenible son los títulos de las publicaciones finales que recogen toda la información generada tras el VII Congreso Nacional del Medio Ambiente celebrado el pasado año.

La Fundación CONAMA pone a la libre disposición en su página web [www.conama.org](http://www.conama.org) toda la documentación de los diversos expertos que participaron en el VII CONAMA. Existe, además, la posibilidad de acceder fácilmente a esta información a través de diferentes sistemas de búsqueda.

El Desarrollo Sostenible será también el tema principal del III Encuentro Iberoamericano (EIMA) que se celebrará en noviembre. La Fundación CONAMA ofrece más información en su web e invita a participar en el VIII CONAMA (noviembre de 2006) enviando propuestas a través de Internet.

**CONAMA VII**  
 CUMBRE DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

## El Colegio de Físicos contribuye a la lucha contra el Cambio Climático

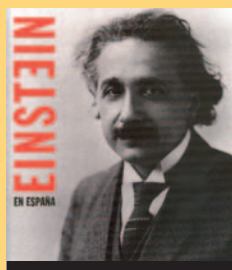
El Colegio de Físicos ha puesto en marcha el proyecto “Oportunidades en la lucha contra el Cambio Climático” que pretende ser una vía de comunicación de los conceptos e impactos del cambio climático y las políticas necesarias para evitarlo.

Este proyecto está compuesto por varias jornadas y seminarios, continuando así con la línea de actuación iniciada en 2004 con la campaña de concienciación “Pregúntanos sobre el Cambio Climático”. La campaña recoge, como punto de partida, una jornada en Sevilla, que tendrá lugar en el mes de octubre, donde se discutirán las posibles soluciones y políticas de impacto contra el cambio climático a nivel nacional y dentro de la Comunidad Autónoma Andaluza. Se estima, además, que pueda realizarse también en otras localidades como Bilbao y Zaragoza en este año 2005.



# bibliografía

## I Óscar Tapia



José Manuel Sánchez Ron y Ana Romero de Pablos.

### **"Einstein en España"**

Publicación de la Residencia de Estudiantes. Madrid, 2005 (221 páginas)

La Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales y la Residencia de Estudiantes han preparado una exposición de Einstein en España y este libro es el catálogo de dicha exposición. En esta obra diversos autores tratan de la visita de Einstein a Madrid, Barcelona y Zaragoza en el año 1923. Con una cuidada imagen se puede disfrutar de la lectura acompañada por fotografías, viñetas y las portadas de los periódicos de aquellos insignes momentos. Así como los carteles anunciando las conferencias que Einstein impartió en la España de los años 20 y la correspondencia que mantuvo con los científicos españoles de la época que hicieron posible que Einstein viniera a España.

Entre otras anécdotas, en el capítulo de Einstein y Zaragoza el profesor Joaquín Boya señala como Einstein se emocionó escuchando jotas coincidiendo su 44 cumpleaños con su último día de estancia en la capital aragonesa.

El libro se completa, además de con ricas anécdotas, con un facsímil de los discursos pronunciados en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales el 4 de

Marzo de 1923. El discurso de Einstein empezaba con un Majestad y continuaba con... "Lazos como los que hemos establecido hoy demuestran que las fuerzas espirituales que unen a los pueblos no pueden ser destruidas de una manera permanente por las tempestades políticas de los tiempos actuales". Unas palabras en las que se descubre la faceta humana de Einstein, que quizás no sea tan conocida para el gran público.



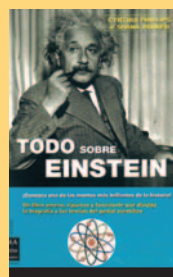
### Turrión Berges, Javier **"Einstein último. Los papeles de Fantova"**

Mira editores. Zaragoza, 2005 (185 páginas)

En "Einstein último. Los papeles de Fantova" se recogen las conversaciones que mantuvo Einstein en sus últimos años de vida con Hanna Fantova, bibliotecaria de la Universidad de Princeton. Las conversaciones se encuentran salpicadas de pensamientos, sentimientos y pasiones de una de las partes de la vida de Einstein más desconocidas para el gran público.

Quizá, el mayor mérito de Hanna Fantova reside en hacernos posible una aproximación póstuma fidedigna a un Einstein castigado por la biología pero sorprendentemente enhiesto en sus esencias. El objetivo del libro es dar protagonismo a la humanidad invariante (que sólo el tiempo hace última) y más próxima del perso-

naje, reservándose el autor un marco sencillo de situación sin mayores ambiciones eruditas.



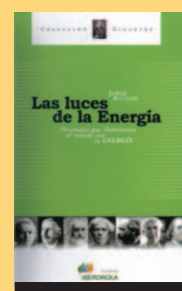
### Cynthia Phillips y Shana Priver **"Todo sobre Einstein"**

Editorial Ma non troppo. Barcelona 2004 (320 Páginas)

Albert Einstein es, sin duda alguna, uno de los pensadores más famosos y más influyentes de todos los tiempos. Sus teorías de la relatividad, sobre cuestiones de mecánica cuántica y sobre física estadística dieron lugar a una nueva era en el pensamiento científico y cambiaron nuestra visión del universo. Sin embargo, no sólo fue un inteligente y brillante científico, capaz de explicar ideas complejas de una forma sencilla, también fue un humanista y una autoridad moral como demostró al ayudar a muchos inmigrantes judíos a encontrar refugio durante la II Guerra Mundial.

Hoy en día, cincuenta años después de su fallecimiento, seguimos reconociendo el rostro de Einstein como un icono de la genialidad, un símbolo supremo de la inteligencia. ¿Por qué? ¿Qué es lo que le hizo tan famoso? ¿Cuál es el origen de tan novedosas teorías? ¿Cómo se comportaba en la intimidad? ¿Sabía que la famosa ecuación  $E = mc^2$  sería la base de las modernas teorías relativas a los agujeros negros y a los viajes en el tiempo? Este libro viene a

desvelar todos estos interrogantes en el año en que se cumple el centenario de la teoría de la relatividad y el 50 aniversario de su fallecimiento.



### Jorge Alcalde **"Las luces de la Energía. Personajes que iluminaron al mundo con su energía"**

Editorial Fundación Iberdrola. Madrid 2005 (289 Páginas)

La colección Gigantes presenta a sus lectores, de forma sencilla, concisa, rigurosa y fácil de leer, cuáles han sido los personajes claves que, a lo largo de la historia de la humanidad, han contribuido a desarrollar la ciencia, y cómo de sus contribuciones nos beneficiamos todos hoy en día.

El término "Gigantes" hace alusión a la idea que en su día Isaac Newton manifestó a su colega Robert Hooke, al decirle que si él había avanzado un poco más que los demás en su tiempo fue porque caminó "a hombros de gigantes", refiriéndose a Galileo, Descartes y, tal vez, al mismo Hooke.

En este primer libro de la colección, Jorge Alcalde repasa la contribución de los Gigantes al mundo de la energía y su aprovechamiento en el mundo actual.