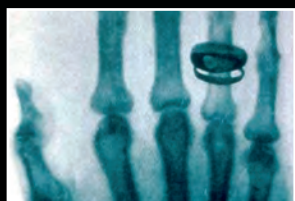




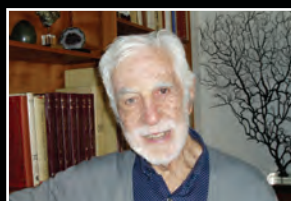
Especial monográfico sobre Metrología: **medir para conocer** ➔



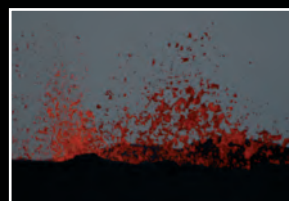
Reportaje  
La demanda de la  
energía eléctrica



Reportaje  
De la medida al  
diagnóstico



Entrevista  
Leonardo Villena y el  
nacimiento del Colegio  
Oficial de Físicos



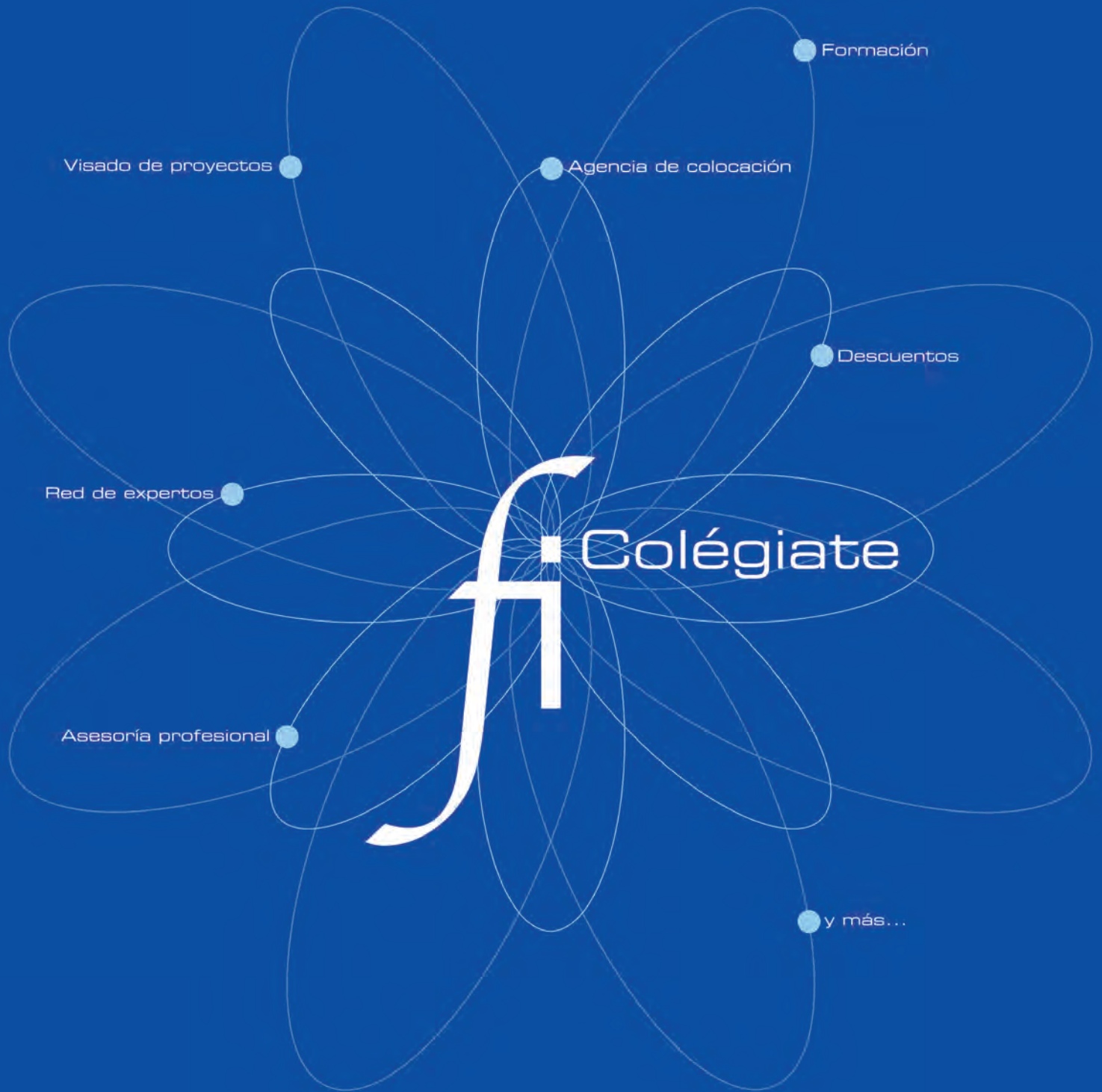
Reportaje  
Los riesgos naturales



Actualidad y física  
**CONAMA 8** Cumbre  
del Desarrollo Sostenible




cofis  
Colegio Oficial de Físicos



La unión hace la fuerza

Colégiate y disfruta de las ventajas  
Más información en : [www.cofis.es](http://www.cofis.es)

4	<b>Editorial</b> Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo. Presidente del Colegio Oficial de Físicos
6	<b>De la medida al diagnóstico</b> Jesús Fernández Tallón. Licenciado en Ciencias Físicas. Experto en Protección Radiológica
10	<b>Las mediciones de los riesgos naturales</b> José Luis Barrera Morate. Vicepresidente 1º del Colegio Oficial de Geólogos
16	<b>IUPAP y Metrología</b> Gerardo Delgado Barrio. Director del Instituto IMAFF del CSIC y Presidente de la IUPAP-España
21	<b>El arte y la ciencia de medir</b> Alberto Miguel Arruti. Colegio Oficial de Físicos
26	<b>Control de la demanda de energía eléctrica</b> Juan Moreno, Dirección de Operación de Red Eléctrica de España
30	<b>Medir para conocer</b> Emilio Prieto Estéban, Jefe del Área de Longitud del Centro Español de Metrología
31	<b>Entrevista con Fernando Ferrer Margalef</b> Director del Centro Español de Metrología
32	<b>El Ordenador como Universo donde Medir</b> Alfonso Tarancón Lafita. Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos de la Universidad de Zaragoza
36	<b>La Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid</b> Departamento de Calidad del Aire, Dirección General de Sostenibilidad y Agenda 21 del Ayuntamiento de Madrid.
41	<b>Calidad en la Redes de Vigilancia de la Calidad del Aire</b> Luis Delgado. Subdirector general de SIR, S.A.
46	<b>Tecnologías de observación y control del medio marino</b> Isabel Narváez Gallardo. Fundación OPTI
51	<b>actualidad </b>
58	<b>Bibliografía</b>



Edita  
Colegio Oficial de Físicos

Director  
Alberto Miguel Arruti

Directora de Información  
Marta Izquierdo Barrado

Consejo de editorial  
Presidente: Gonzalo Echagüe  
Méndez de Vigo  
Alberto Virto Medina  
Alberto Miguel Arruti  
Ángel Sánchez-Manzanero Romero  
Alicia Torrego Giralda  
Juan Antonio Cabrera  
Marta Seoane Dios  
Miguel Ángel Sabadell

Consejo de redacción  
Marta Izquierdo Barrado  
Guadalupe Delgado Redondo  
Bárbara Arroyo Rubio  
Laura Pernías Parra  
Lorenzo Herrero Sánchez

Proyecto gráfico  
David G. Rincón de Castro  
david@rincondelingenio.com

Administración y publicidad  
Colegio Oficial de Físicos  
C/ Monte Esquinza, 28 - 3º dcha.  
28010 Madrid  
Tel: 91 447 06 77  
Fax: 91 447 20 06  
e-mail: comunicacion@cofis.es  
www.cofis.es  
www.fys.es

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

ISSN. 113-8953  
Depósito Legal: M. 44286-1991

Imagen de portada  
"Newton", William Blake.  
© Tate, London 2006.

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 procedencia y el autor.

La revista Física y Sociedad quiere agradecer a los artistas que, desinteresadamente, han cedido sus fotografías a esta publicación.

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

**Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo**  
Presidente del Colegio Oficial de Físicos

## La medida como catalizador del conocimiento

**La idea de este monográfico surgió, hace ya algún tiempo,** conversando con la entonces Directora General del Instituto Nacional de Meteorología. Intercambiamos ideas sobre la necesidad de mejorar el conocimiento de la sociedad, especialmente de políticos y medios de comunicación, acerca de la medida y sus parámetros relacionados: el error, la fiabilidad, la representatividad, la probabilidad, el concepto de escala, etc. Qué importante es esto para un científico a la hora de abordar su trabajo y tomar decisiones, y qué poco familiarizado está el ciudadano con ello.

Tenemos ante nosotros un verdadero reto en la educación: conseguir incorporar este concepto como una de las bases de la cultura general y completar así la formación científica de la sociedad.

En relación con la medida hay otro aspecto que resaltar. En la sociedad de la información estamos acostumbrados a disponer, casi instantáneamente, de los datos que precisamos. ¿Quién no consulta el parte meteorológico antes de salir de viaje? Conocerlo nos permite llevar menos equipaje y planear mejor nuestra salida. Extrapolando este razonamiento, sería lógico pensar que un país como España, aquejado de periodos de sequía, disponga de datos fiables acerca de las reservas de agua subterránea para la planificación y el establecimiento de sus políticas. En general, aún nos queda un importante recorrido en el conocimiento de nuestro entorno. Y es que, detrás de la información, hay un importante despliegue de medios, infraestructuras, tecnología y recursos humanos. Y, por supuesto, una firme y continuada decisión de desarrollo.

**La medida correcta de un parámetro o indicador debe ser el elemento objetivo y básico con el que dirimir, o al menos encaminar, la resolución de los conflictos.**



→ Gonzalo Echagüe Méndez de Vigo

Además, en el complejo mundo de los conflictos y los debates, donde la ideología, los intereses y hasta las concepciones culturales gravitan de manera decisiva a la hora de establecer decisiones, compromisos o pactos, la medida correcta de un parámetro o indicador, o la explotación de la intensidad o frecuencia de un fenómeno, deben ser el elemento objetivo y básico con el que dirimir, o al menos encaminar, el planteamiento y la resolución de las dificultades. Citando a Kelvin, “cuan-

do puedes medir aquello de lo que hablas, y expresarlo con números, sabes algo acerca de ello; pero cuando no lo puedes medir, tu conocimiento es pobre e insatisfactorio: apenas has alcanzado la etapa de ciencia”.

Para disponer de información se necesitan datos fiables. Estos datos se obtienen a través de aparatos de medida a veces simples, como un termómetro, a veces sofisticados, como un scanner. Aparatos fijos que deben ubicarse en los lugares idóneos –un edificio blindado, un satélite o el patio de un colegio-, campañas de medida in situ, laboratorios... Se trata de equipos que, por supuesto, requieren del mantenimiento adecuado, de calibraciones periódicas y de medidas de referencia que sirvan de punto de partida.

Tampoco debemos olvidar la labor de los profesionales que, a través de la planificación, la interpretación y el tratamiento adecuado, transforman los simples datos en verdadera información. Es destacable, igualmente, la imprescindible labor de aseguramiento de la calidad en la medida a lo largo de todo el proceso. Muchos físicos trabajan en esta área en equipos humanos cada vez más multidisciplinares, en línea con las demandas de la ciencia, la tecnología y la propia sociedad.

En este número de Física y Sociedad queremos rendir homenaje al trabajo de medición que está detrás de muchos servicios habituales en nuestra vida cotidiana. Elegir los temas de los artículos ha sido difícil -encontrábamos ejemplos en prácticamente todos los campos-, pero la selección final constituye, a nuestro entender, un repertorio significativo del papel que la medida ha desempeñado en los avances y aplicaciones científicas. Estamos seguros de que el resultado no dejará al lector indiferente.

**Muchos físicos trabajan en el área de la Metrología en equipos cada vez más multidisciplinares, en línea con las demandas de la ciencia, la tecnología y la propia sociedad.**

### •Jesús Fernández Tallón

Licenciado en ciencias físicas, experto en protección radiológica y Responsable del área de soporte Científico-Técnico de ACPRO S.L.  
Imágenes cedidas por Philips

# DE LA MEDIDA AL DIAGNÓSTICO

El descubrimiento de varios fenómenos físicos en el siglo XX permitió el desarrollo de una serie de tecnologías de diagnóstico por imagen. Se trata de fenómenos que permiten obtener imágenes del interior del cuerpo humano basándose en la interacción de una emisión electromagnética con el cuerpo y su posterior detección y medida. Estos fenómenos han dado lugar a la radiología, la tomografía computerizada, la resonancia magnética nuclear y la medicina nuclear.

La medida de diferentes magnitudes asociadas a ciertos fenómenos físicos ha permitido el desarrollo de tecnologías de diagnóstico por imagen de amplio uso en la medicina moderna. Desde el inicio de la civilización, el hombre ha buscado medios para prevenir y diagnosticar enfermedades y afecciones. En

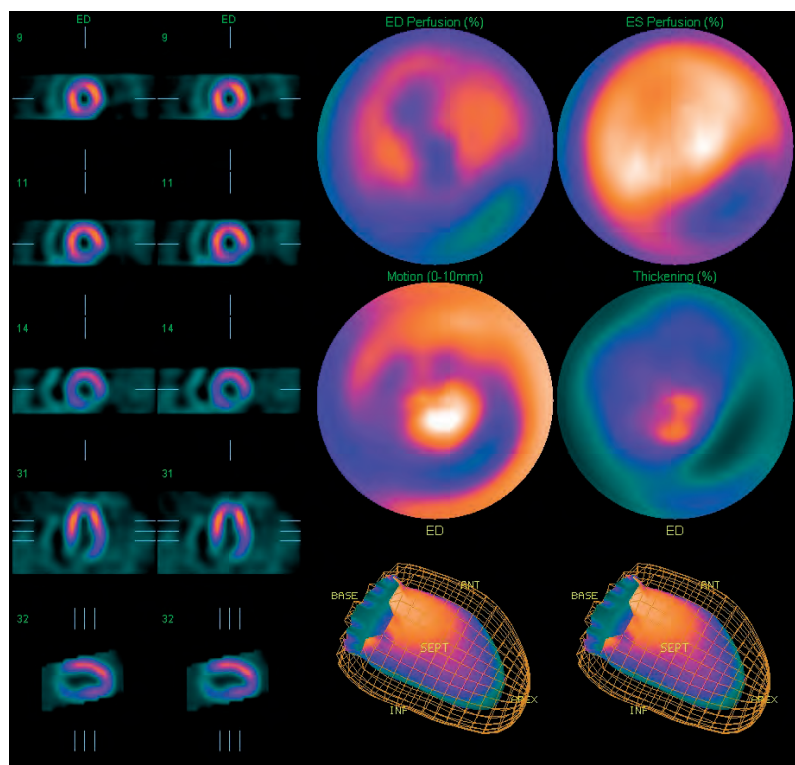
la antigua Mesopotamia, los primeros médicos basaban su diagnóstico en la observación de los síntomas, pero la mayoría de la población tan sólo contaba con la adivinación para predecir futuras enfermedades. En la Edad Media, se creía que las enfermedades eran el castigo por algún pecado o

bien el resultado de un embrujo o una posesión demoníaca.

### La Radiología y la Tomografía Computerizada

En 1895, el físico alemán Wilhem Roentgen descubrió la existencia de los rayos x. Éstos se producen cuando se aceleran electrones y se hacen chocar contra un blanco. La brusca desaceleración de una partícula cargada, como es el electrón, produce la emisión de una radiación electromagnética denominada "de frenado" o *bremstrahlung* (del original en alemán), que son los rayos x.

Cuando los rayos x interactúan con la materia se producen fenómenos de interacción que hacen perder fotones al haz incidente inicial, por lo que la intensidad de rayos x se ve atenuada. Esta atenuación depende de la energía de los rayos x incidentes y del grosor y naturaleza de la materia con la que interactúa. Así, cuando los rayos x atraviesan el cuerpo humano se ven atenuados de forma diferente en función del grosor y del material del tejido. Si se coloca una placa fotográfica para recogerlos, ésta queda impresionada de forma



→ Medicina nuclear. Imágenes de diferentes planos del corazón para detectar disfunciones cardíacas.



→ CT de un estrechamiento en la aorta abdominal de un niño

diferente en función de la intensidad recibida.

Pocos meses después de su descubrimiento, los médicos ya utilizaban los rayos x para detectar balas en el interior del cuerpo humano y radiografiar huesos fracturados, dando lugar al inicio de la radiología. La utilización de placas fotográficas para la obtención de radiografías ha sido la técnica utilizada hasta los años ochenta. En esa época se empezaron a introducir sistemas de detección digital que permiten obtener, almacenar y manipular imágenes radiográficas digitales.

Un inconveniente de la utilización de los rayos x sobre los seres vivos es que se pueden producir efectos biológicos nocivos. La mayoría de efectos lesivos sólo se producen a altas dosis de radiación, muy por encima de las utilizadas en radiografía. El único efecto que se podría producir a bajas dosis es un pequeño incre-

mento en el riesgo de desarrollo de cáncer. Teniendo en cuenta que aproximadamente 1 de cada 3 personas desarrollará algún tipo de cáncer a lo largo de su vida, el beneficio obtenido al realizar una radiografía cuando está indicada, es mucho mayor que el posible aumento de riesgo. No obstante, las dosis asociadas a las exploraciones con rayos x son verificadas por físicos periódicamente, para asegurar que se utilizan las dosis menores posibles compatibles con una adecuada calidad diagnóstica de la imagen.

Durante muchos años la radiología fue una técnica que generaba imágenes planares, es decir, una proyección en dos dimensiones de un cuerpo tridimensional. Ello hacía que se perdiera la capacidad de distinguir adecuadamente órganos que se hallasen superpuestos.

En 1972, Godfrey Hounsfield desarrolló una tecnología denominada Tomografía Computerizada (TC) que ha revolucionado el mundo del radiodiagnóstico. Se trataba de realizar una serie de proyecciones radiográficas planares que cubrieran 360°. De esta forma, aunque dos órganos estuvieran superpuestos en una determinada proyección, se tendrían otras proyecciones tomadas en diferentes ángulos en las que no se hallarían superpuestos. La potencia de la técnica reside en la utilización de técnicas matemáticas de reconstrucción y en aprovechar la potencia de cálculo de los ordenadores, con lo que hoy en día es posible obtener una serie de imágenes planares del cuerpo humano en cualquiera de los tres planos espaciales. A diferencia de la radiografía

convencional, la detección de los rayos x no se realiza sobre una placa fotográfica, sino que se dispone de una serie de detectores que producen una señal eléctrica. Actualmente los detectores utilizados son de semiconductor, ya que tienen una buena eficiencia, son rápidos y tienen una gran capacidad de miniaturización. Los avances tecnológicos permiten obtener imágenes tridimensionales de alta resolución.

### La Medicina nuclear

El desarrollo de esta técnica tiene sus orígenes en el descubrimiento de la radiactividad artificial en los años treinta. Mientras que en la radiografía convencional y la TC se tiene una fuente externa de radiación, en este caso la fuente de radiación es interna. Al paciente se le administra un fármaco marcado con un isótopo radiactivo que emite radiación gamma. La radiación gamma es también una radiación electromagnética, al igual que los rayos x, pero que tiene su origen en el decaimiento radiactivo de núcleos atómicos inestables. El isótopo más utilizado es el  $^{99m}\text{Tc}$  que se genera de forma artificial en reactores nucleares.

En función de la biodistribución del radiofármaco, éste se acumula en diferentes órganos. Para poder detectar el lugar donde se halla, se dispone de un equipo denominado gammacámara, que puede detectar y localizar la radiación gamma. Esta detección se realiza a través de unos cristales denominados centelleadores. La energía depositada en el cristal se transfor- ⇒

**En 1895, el físico Wilhem Roentgen descubrió la existencia de los rayos x. Pocos meses después, los médicos ya los utilizaban para detectar balas en el interior del cuerpo humano y radiografiar huesos fracturados, dando lugar al inicio de la radiología.**

→ CT de reparaciones quirúrgicas faciales y craneales



ma en luz, que a su vez se convierte en una señal eléctrica utilizando unos dispositivos denominados tubos fotomultiplicadores. El cabezal de la gammacámara está constituido por un cristal de unos 2.500 cm<sup>2</sup> al cual se le acoplan una serie de fotomultiplicadores distribuidos a lo largo de todo el cristal.

Utilizando técnicas análogas a la tomografía computerizada, a partir de la adquisición de varias proyecciones a diferentes ángulos, es posible obtener imágenes planares en los tres planos espaciales de un cuerpo tridimensional. A esta técnica se le denomina SPECT de sus siglas en inglés: Single Photon Emission Tomography (Tomografía por Emisión de Fotón Único).

Las imágenes obtenidas tiene menos resolución que las de TC, pero la gran potencia de esta técnica es la posibilidad de obtener información funcional de los órganos. Por ejemplo, utilizando un radiofármaco que se distribuya a través de los riñones, es posible visualizar si éstos funcionan de for-

ma adecuada, mientras que en una imagen de TC tan sólo tenemos información anatómica.

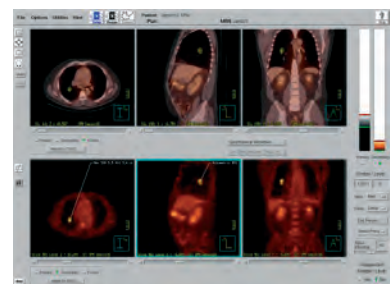
En 1985 se comenzó el desarrollo de una variante que utiliza isótopos emisores de positrones para marcar nuevos fármacos. Los positrones son partículas con características iguales a los electrones, pero con carga positiva, y son producidos en aceleradores de partículas (ciclotrones). A esta técnica diagnóstica se la denomina PET: *Positron Emission Tomography* (Tomografía por Emisión de Positrones).

Cuando los positrones atraviesan la materia son rápidamente aniquilados en una reacción electrón-positrón, emitiendo dos fotones en sentidos contrarios. En este caso, el equipo utilizado es un tomógrafo PET dotado de anillos de detectores de centelleo que cubren al paciente y detectan los fotones emitidos. El isótopo más utilizado y de mayor aplicación -especialmente en oncología- es el <sup>18</sup>F en forma de <sup>18</sup>FDG, un fármaco derivado de la glucosa. Este radiofármaco permite detectar focos de alta avidéz por la glucosa, que suelen estar asociados al crecimiento tumoral. Es una potente técnica de diagnóstico por imagen tanto en la detección del cáncer como en el seguimiento de los tratamientos oncológicos. Al utilizar radiación ionizante, al igual que la radiografía y la TC, es necesario verificar que las dosis de radiación están optimizadas para asegurar que el beneficio obtenido en una exploración de medicina nuclear es mucho mayor que el posible detrimento asociado.

### Resonancia Magnética Nuclear

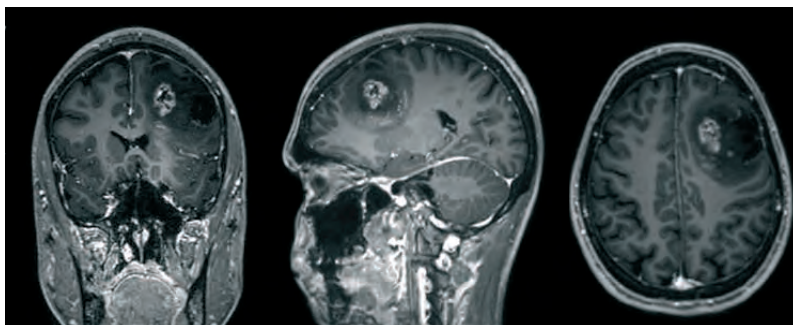
Las técnicas de imagen diagnóstica presentadas anteriormente se basan en la diferente atenuación de la radiación ionizante al atravesar los materiales. La imagen por resonancia magnética nuclear (IRM) se basa en un fenómeno completamente diferente. La descripción exacta de la resonancia magnética nuclear requiere de la Teoría Cuántica, y se da en literatura especializada, pero podemos dar una imagen de su funcionamiento.

Los núcleos de los átomos que forman la materia tienen una propiedad física denominada momento magnético nuclear, relacionada con otra propiedad de las partículas denominada spin nuclear. La Teoría Cuántica determina los valores que puede tener el "spin" de las diferentes partículas. Cuando se aplica un campo magnético externo a un volumen con átomos de hidrógeno, sus momentos magnéticos se alinean de forma que se obtiene una magnetización total alineada con el campo magnético. En IRM se aplican campos magnéticos de gran intensidad, del orden de 1 a 3 Tesla (el campo magnético terrestre es de 50 μT).



→ PET/CT. Cáncer pulmonar: imagen PET (inferior) y fusión de imágenes PET y CT (superior)

**El desarrollo de la medicina nuclear tiene sus orígenes en el descubrimiento de la radiactividad artificial en los años treinta. Mientras que en la radiografía convencional se tiene una fuente externa de radiación, en este caso la fuente de radiación es interna.**



→ Resonancia Magnética. Imagen de RM donde se aprecia un tumor cerebral.

Si ahora, mediante una antena, se emite una radiofrecuencia de la longitud de onda adecuada, los átomos de hidrógeno son capaces de absorber energía. Se trata de la frecuencia de resonancia que depende del campo magnético aplicado y es del orden de los kHz. Si se interrumpe la emisión de energía, los átomos de hidrógeno retornan la energía absorbida (relajación) emitiéndola en forma de señal electromagnética, que es recogida por una antena.

Para poder formar la imagen, es necesario conseguir recoger selectivamente la señal emitida por los diferentes elementos de volumen del cuerpo. La máxima emisión de señal se produce para la frecuencia de resonancia, y ésta depende del valor del campo magnético aplicado al elemento de volumen. Los equipos de RM disponen de una serie de bobinas que permiten crear gradientes de campo magnético en las direcciones x, y, z, haciendo que el campo magnético al que se halla sometido cada elemento de volumen sea diferente y que sólo uno de ellos se halle en resonancia y emita la máxima intensidad de señal. De esta forma, se obtiene de forma selectiva la señal de los diferentes elementos de volumen, y se reconstruye la imagen.

La imagen de RM puede representar diferentes propiedades de la materia. Según el tipo de pulso

de radiofrecuencia que se emita, la imagen puede representar la densidad de spin o los parámetros T1 y T2 que tienen relación con el proceso de relajación.

En las imágenes potenciadas en densidad de spin, la intensidad es directamente proporcional a la densidad de núcleos de hidrógeno, por lo que la materia con pocos átomos de hidrógeno (como el aire) tendrá la intensidad más baja, mientras que la materia con gran densidad de átomos de hidrógeno (como el agua libre) tendrá la máxima intensidad.

El parámetro T1 depende fuertemente del tipo y la movilidad de las moléculas en las que se hallan los núcleos de hidrógeno. Así, en una imagen potenciada en T1, la grasa tiene una intensidad alta, mientras que el agua tiene una intensidad baja. En la mayoría de patologías aumenta el agua intersticial, por lo que su intensidad es más baja que la que habría en condiciones normales. El parámetro T2 depende de la composición y estructuración propias de la materia. Así, en una imagen potenciada en T2, los tejidos estructurales tienen una intensidad baja, mientras que las patologías en las que entra agua libre se pierde estructuración y la intensidad de imagen es mayor.

Por tanto, así como radiología convencional o en TC sólo podemos

obtener una imagen, en RM es posible obtener diferentes imágenes en función de la magnitud que deseamos visualizar. Una de las grandes ventajas de la RM sobre otras técnicas como la TC y la medicina nuclear es su gran contraste, que permite diferenciar tejidos blandos con densidades muy similares, la capacidad de obtener imágenes en cualquier plano y la posibilidad de realizar estudios angiográficos y espectrométricos.

Las desventajas de la RM son el coste de los equipos, la mayor duración de las exploraciones comparadas con las de TC y la sensación de claustrofobia que puede generar el diseño de los equipos. La utilización de radiofrecuencias puede provocar, en algunas ocasiones, aumentos de temperatura en el cuerpo del paciente, y la presencia de fuertes campos magnéticos no la hace viable para pacientes con marcapasos o implantes metálicos. No obstante, dado que no se utilizan radiaciones ionizantes, es una técnica que, en principio, no tiene asociados efectos biológicos lesivos y cuenta con un gran potencial, dado que se halla en continua evolución mejorando los tiempos de exploración y el diseño de los equipos.

Actualmente se dispone de equipos de última tecnología en cualquiera de las tres técnicas presentadas, que permiten obtener imágenes tanto en 2D como en 3D de gran calidad diagnóstica. Los equipos más modernos incorporan a dos técnicas complementarias, como los SPECT-CT o los más modernos PET-CT. La verificación periódica del adecuado funcionamiento de estos equipos es realizada en la mayoría de casos por físicos que realizan pruebas de control de calidad para asegurar el correcto funcionamiento, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la calidad de imagen diagnóstica. ■



**José Luis Barrera Morate**

Licenciado en Ciencias Geológicas

Vicepresidente 1º del Colegio Oficial de Geólogos, Presidente del Geoforo y Editor de la revista Tierra&Tecnología.

→ Imagen. Aaron McBride

# ¿ESTAMOS EN RIESGO?

## LAS MEDICIONES EN LOS RIESGOS NATURALES

La preocupación por medir los riesgos naturales es muy antigua. Hace 2.000 años, los chinos inventaron un primer sismógrafo que les indicaba la dirección en que llegaban las ondas y la fuerza del seísmo. Hoy en día, es necesario cuantificar los riesgos naturales para que las autoridades planifiquen y movilicen recursos para reducirlos, y eso es lo que hacen los geólogos, físicos y demás científicos. En los últimos cien años se han desarrollado instrumentos de medida para evaluar y cuantificar estos riesgos y, para los tiempos anteriores, contamos con dos fuentes de información para calcular la magnitud de la catástrofe: las señales físicas en el terreno y las fuentes históricas administrativas.

La cuantificación correcta de los indicadores de vulnerabilidad local y el conocimiento preciso acerca de los peligros naturales permiten a los Gobiernos plantear políticas adecuadas para la planificación del ordenamiento territorial. Los mapas de riesgo son una forma de calcular las áreas potenciales de sufrir los efectos de un riesgo, y sobre ellos se pueden determinar los porcentajes de afección de muchos parámetros. El riesgo en sí ya es un parámetro mensurable, la

definición de riesgo es una medida que se cuantifica con la fórmula  $\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad}$ . La peligrosidad es la probabilidad de que se produzca un determinado fenómeno natural con consecuencias negativas, mientras que la vulnerabilidad se entiende como el impacto del fenómeno sobre la sociedad, y es precisamente el incremento de la vulnerabilidad el que ha llevado a un mayor aumento de los riesgos naturales.

El impacto de un fenómeno natural se puede medir en magnitudes de parámetros -lo miden los instrumentos- e intervalos de tiempo requeridos para restablecer los niveles de desarrollo preventivo. Igualmente, las series históricas de los eventos ayudan a establecer los periodos de retorno de cada uno de ellos. Los dos riesgos naturales más catastróficos para la población mundial son las inundaciones y los terremotos.

### Lo que se mide en el riesgo sísmico

El riesgo sísmico de una zona está íntimamente ligado a sus características geológicas, por ello los geólogos, basándose en las cartografías neotectónicas, miden las fallas activas principales (sismogénicas) y cuantifican sus características. Los mapas morfotectónicos son de gran importancia para el estudio sísmico del territorio, pues expresan la disposición y el orden de las fallas activas y de los correspondientes bloques de la corteza terrestre. A partir de esta información se obtiene una matriz observacional, que corresponde al conjunto de datos obtenido mediante las observaciones de campo y el procesamiento de los datos fotogramétricos y topográficos. A partir de ahí, se obtiene la cuantificación estadística de parámetros expresados inicialmente de forma semicuantitativa como, por ejemplo, la intensidad de los terremotos.

En algunas áreas españolas los movimientos verticales asociados con fallas activas, antes de que se produzca un terremoto, se miden a partir del análisis de las líneas de Nivelación de Alta Precisión levantadas por el Instituto Geográfico Nacional a lo largo de las vías

férreas y carreteras. La aceleración máxima horizontal de un sismo es el valor absoluto de la aceleración horizontal obtenida de un acelerograma, tomando la suma de dos componentes ortogonales.

### Las medidas paleosísmicas ayudan a determinar la historia sísmica de una región y, por tanto, a poder predecir futuros movimientos.

Las aceleraciones verticales han recibido una atención menor que las horizontales debido a que se supone que su efecto sobre las estructuras es menor.

Igualmente, las medidas paleosísmicas ayudan a determinar la historia sísmica de una región y, por tanto, a poder predecir futuros movimientos. Elementos como las sismitas son de gran valor para determinar la magnitud de un paleoterremoto y el campo de esfuerzos que actuó. Para el estudio de las sismitas se abren zanjas en las fallas activas y se miden las estructuras generadas por la actividad paleosísmica.

Los adelantos tecnológicos también permiten medir, a través de una red GPS, las tensiones acumuladas en un punto a lo largo del tiempo y las deformaciones reales

que se producen en el terreno. Con ello se tiene una idea de las tasas promedio de desplazamientos y de las fallas sismogénicamente potenciales que más probabilidad tienen de moverse. Otra

manera de medir la paleosismicidad es mediante la datación de las formas y sedimentos cuaternarios de las zonas de los escarpes de fallas activas, lo cual se consigue mediante diversos métodos de datación absoluta y comparación de resultados.

Instrumentalmente, el registro sísmico español, fundamental para establecer la historia sísmica de un lugar -tipos y magnitud de los sismos, frecuencia- y, por ende, el modelo cuantitativo de deformación y los periodos de retorno, está a cargo de la Red Sísmica Nacional (RSN), que cuenta actualmente con 78 estaciones, 35 de ellas conectadas en tiempo real, 33 conectadas vía satélite y 10 conectadas por vía telefónica con el Centro de Recepción de Datos Sísmicos, ubicado en Madrid.



→ Imagen. Nicolas Duthu

### Lo que se mide en el riesgo de inundaciones

En España, todas las cuencas hidrográficas tienen sistemas de alerta hidrológica que constituyen el SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica). Esta red está integrada por un conjunto de sensores que miden las principales variables hidrológicas prácticamente en tiempo real. Las principales variables medidas son: intensidad de precipitación, caudal en los cauces y canales, y estado de las presas (caudales de entrada y salida, niveles, agua embalsada, apertura de los desagües, etc.). Con toda esta información se elaboran los mapas de los niveles de inundación para periodos de recurrencias determinados, mapas de inundaciones máximas y mapas de vulnerabilidad para cada periodo de recurrencia. Además, mediante la aplicación de modelos es posible elaborar los hidrogramas de avenidas.

### Lo que se mide en el riesgo volcánico

El Índice de Explosividad Volcánica (VEI) es uno de los parámetros principales para cuantificar la peligrosidad de un volcán y, para calcularlo, se miden varios indicadores propios de las erupciones. Actualmente, con el des-

## Actualmente, con el desarrollo de los satélites, varias de las observaciones físicas que se realizan habitualmente en la vigilancia volcánica se hacen desde los propios volcanes, a través de sensores remotos.

arrollo de los satélites, varias de las observaciones físicas que se realizan habitualmente en la vigilancia volcánica se hacen desde los propios volcanes, a través de sensores remotos. Estas nuevas tecnologías suministran medidas precisas y permiten la vigilancia de volcanes de difícil acceso y monitorización.

**Mediciones sismológicas.** Los primeros síntomas de una erupción volcánica son siempre los terremotos. Todo volcán potencialmente peligroso tiene instalada, en los países desarrollados, una red de microsismicidad que mide los movimientos que se producen debajo de un volcán. Los sismólogos cuantifican la magnitud del sismo y son capaces de determinar su localización exacta con sus tres coordenadas x, y, z. Una vez analizados los registros sísmicos se puede conocer la estructura profunda del aparato, controlar los posi-

bles movimientos del magma en su camino a la superficie y determinar el mecanismo focal del terremoto.

**Mediciones geodésicas.** La presión ejercida por el ascenso magmático provoca siempre alteraciones en la topografía del edificio volcánico, que pueden ser observadas y medidas. Muchas de ellas son precursoras de erupción y sirven para declarar la alerta máxima. Los avances realizados en la geodesia por satélite permiten una vigilancia más precisa al situarse mejor los puntos de observación. Existen varios métodos para medir la deformación de un volcán: la más común es la medida de la distancia horizontal entre una base fija y un punto reflector ubicado en el edificio volcánico utilizando un distanciómetro electrónico (EDM). También se miden los cambios en la pendiente del cono volcánico, utilizando los inclinómetros electrónicos (tiltmeters) que dan una medi-



→ Imagen. Nicolas Duthu



→ Mapa Marna. Imagen cedida por el Consejo de Seguridad Nuclear.

da, en tiempo real, de los cambios de la pendiente; y para completar toda esta serie de medidas, se cuantifican los desplazamientos del suelo en base a medidas realizadas con GPS.

**Mediciones geotérmicas.** Las anomalías térmicas en los volcanes son fenómenos frecuentes que se relacionan con los periodos eruptivos o con remanencias de erupciones pasadas. En muchos volcanes inactivos aún permanecen anomalías geotérmicas acompañadas a veces de actividad fumarólica, lo cual se debe a procesos como la conductividad térmica de las rocas o la convección térmica de gases o agua, cuya evaluación se realiza por la temperatura superficial y el flujo térmico. Actualmente, muchas de estas mediciones se hacen desde los satélites con colectores de infrarrojos, y esos datos son empleados en la predicción de sus erupciones mediante la creación de mapas de temperatura del suelo, así como en el estudio de la composición de la lava y del dióxido sulfúrico en las nubes volcánicas.

Pero en el estudio del riesgo volcánico se realizan, además, mediciones gravimétricas, geoeléctricas,

geomagnéticas o geoquímicas de gases, entre otras, que permiten conocer de forma más exacta la naturaleza y comportamiento de los volcanes.

#### Lo que se mide en el riesgo de deslizamiento

La vigilancia de los deslizamientos se realiza a través de un sistema monitorizado de instrumentos varios compuesto por un conjunto de instrumentos de lectura remota que se instalan en puntos críticos de las laderas con riesgo de deslizamiento. Estos instrumentos miden los parámetros característicos de un deslizamiento, tales como los movimientos de la superficie del suelo (inclinómetros y extensómetros), los cambios en la presión de agua del subsuelo (piezómetros), los sonidos profundos (geófonos) de la ladera y precipitaciones de agua, o las vibraciones del suelo por causas sísmicas (sismógrafos y acelerómetros). Los datos son enviados vía radio o satélite a los centros de procesamiento, que elaboran los mapas de riesgo.

En tiempos más recientes se utiliza de manera sistemática una red GPS de puntos de referencia instalados en la ladera. Y, desde comienzo de los

90, se emplean técnicas de interferometría radar terrestre para medir los pequeños desplazamientos.

#### Lo que se mide en el riesgo radiológico

La radiación natural puede ser dañina para el ser humano. Dependiendo de la clase de radiación se determina su intensidad, su energía y la localización de la fuente. La instrumentación más común para estas mediciones está compuesta por detectores radiométricos y escintilómetros. Uno de los elementos que se miden es el gas radón  $Rn222$ , cuyo isótopo proviene de la desintegración de la cadena del Uranio 238. Sus hijos, principalmente Plomo, Bismuto y Polonio 214, pueden resultar cancerígenos. El Radón está presente en muchas rocas naturales y su desintegración provoca isótopos que, al pasar al entorno ambiental, pueden ser inhalados por el ser humano: en viviendas mal ventiladas situadas de zonas de alta concentración de uranio, el Radón puede causar cáncer, principalmente de pulmón.

Para estudiar las radiaciones, en España contamos con la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA), integrada por varios sistemas diferenciados, entre ellos distintas estaciones de detección y medida en continuo de la radiactividad ambiental. Se trata de una red de vigilancia radiológica de ámbito nacional no asociada a instalaciones, que se complementa con las redes propias de algunas Comunidades Autónomas, de características similares. De este modo, los resultados de las distintas redes son recibidos en el CSN para cubrir de forma más completa la vigilancia radiológica de todo el territorio nacional integrando los datos recogidos. ■

## Gerardo Delgado Barrio

Doctor en Ciencias Físicas

Director del Instituto IMAFF del CSIC, Presidente de la Federación Iberoamericana de Sociedades de Física (FEIASOFI) y Presidente de la IUPAP-España.



Imagen: David Watterson

# IUPAP Y METROLOGÍA

La Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), tiene como misión contribuir al desarrollo de la Física en todo el mundo, promover la cooperación internacional y ayudar a que la Física pueda colaborar a resolver los problemas que conciernen a la humanidad. En este artículo, Gerardo Delgado, Presidente del Comité Español de la IUPAP, explica la labor de esta Unión y el papel que ha jugado en el desarrollo de la Metrología a nivel internacional.

La IUPAP fue creada en 1922 por la Asamblea General del International Research Council, que se reunió en Bruselas. Inmediatamente trece países anunciaron su apoyo a la idea, uno de ellos fue España y, en 1925, uno de los vicepresidentes fue el español Blas Cabrera. Para llevar a cabo su

misión, la IUPAP contribuye a organizar congresos internacionales, hace publicaciones, apoya la educación y la investigación en Física, promueve la libre circulación de científicos, promociona acuerdos internacionales sobre símbolos y unidades y mantiene una estrecha relación con otras uniones con las

que comparte intereses científicos, como la Unión de Química (IUPAC). En este momento, la IUPAP cuenta con más de cincuenta miembros, y en su organización cuenta con varios comités y grupos de trabajo, siendo la Asamblea General, que se reúne cada tres años, el máximo órgano de la Asociación. La última

Asamblea General, que se celebró en Sudáfrica, tuvo lugar en 2005, Año Mundial de la Física, y la próxima cita será en 2008 en la ciudad japonesa de Tsukuba.

Los delegados de los diferentes países que integran la IUPAP supervisan las actividades de las veinte Comisiones Internacionales y las cuatro Comisiones Afilia-

Desde 1930, y a través de diversas comisiones como la C2, la IUPAP ha jugado un papel importante en los acuerdos internacionales del sistema de medida, incluyendo la adopción del Sistema Internacional. Las unidades que se utilizan en Física se acuerdan en las Conferencias Generales de Pesos y Medidas, y la IUPAP contribuye a ellas gracias a sus representantes

valores de las constantes físicas, otra participación importante de la IUPAP son los trabajos para llegar a acuerdos sobre los valores de las masas y pesos atómicos de los elementos, así como para adoptar los símbolos de las cantidades físicas, el vocabulario de las medidas y el método para expresar las incertidumbres. Los símbolos de las cantidades fisi-

## De las veinte comisiones internacionales de la IUPAP, la que se encarga más directamente de los temas que interesan a la Metrología es la Comisión de Símbolos, Unidades, Nomenclaturas, Masas Atómicas y Constantes Fundamentales.

das. De todas ellas, la que se encarga más directamente de los temas que interesan a la Metrología es la C2, que se conoce como "Comisión de Símbolos, Unidades, Nomenclaturas, Masas Atómicas y Constantes Fundamentales", SUNAMCO en sus siglas en inglés. Entre sus objetivos están promover el intercambio de información y puntos de vista entre los miembros de la comunidad científica internacional en el área de las constantes universales, las medidas físicas, la Metrología Pura y Aplicada, la nomenclatura y los símbolos, y promover el trabajo para mejorar los valores de las masas atómicas y de las constantes fundamentales, así como facilitar su adopción universal.

La Comisión C2 ha financiado, sobre todo, dos tipos de conferencias: la "Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)", cuya última edición se celebró en 2004 en Londres; y la "International Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses (ENAM)" que tendrá lugar en Polonia el año próximo.

en el Comité Consultivo sobre Unidades. Los valores de las constantes fundamentales en Física se acuerdan por el Grupo de Trabajo sobre Constantes Físicas Fundamentales (CODATA), una actividad de International Council for Science (ICSU), de la que IUPAP es miembro.

Los valores de las constantes físicas, tales como la carga elemental ( $e$ ), la constante de Planck ( $h$ ), la constante de estructura fina y el número de Avogadro, son de gran importancia tanto para las comunidades científicas como para las tecnológicas. En diciembre de 2003 se publicaron más de trescientas constantes básicas y factores de convergencia de la Física y de la Química recomendados por CODATA, que se pueden consultar en la web <http://physics.nist.gov/constants>. Estos valores fueron el resultado de un ajuste por mínimos cuadrados en 2002 en el National Institute of Standards and Technology (NIST).

Además de las unidades y de los

cas se adoptan a través de la International Standards Organization (ISO), en cuyo comité ejecutivo también está representada la IUPAP, y es por ello que una selección de estos símbolos aparece en sus publicaciones.

En Metrología se necesitan acuerdos no sólo sobre los símbolos, sino también sobre el vocabulario y el método para ⇨



– Imagen: Susana Aloséte

- Imagen. Emilia Yáñez Fernández



expresar las incertidumbres de las medidas. El reconocimiento de estas necesidades comunes ha llevado a la formación de un comité internacional ad hoc que representa a varias organizaciones internacionales, entre ellas la IUPAP. El comité internacional que se creó para producir estas guías es el Joint International Committee for Guides on Metrology, y ha producido dos guías útiles sobre la forma adecuada de expresar las incertidumbres en las medidas y sobre el vocabulario internacional

En el informe de 2005 presentado por SUNAMCO a la IUPAP, dicha Comisión define sus objetivos como “promover el intercambio de información y puntos de vista entre los miembros de la comunidad científica internacional en el campo de las constantes universales incluyendo: a) Medidas físicas, b) Metrologías Pura y Aplicada, c) Nomenclatura y símbolos para las cantidades físicas y unidades y, d) Promover el trabajo para mejorar los valores recomendados de masa atómicas y constantes físicas fun-

tear una versión revisada tanto en formato electrónico como en su forma impresa. Este libro ha sido traducido a numerosos idiomas y se puede conseguir fácilmente: la publicación original está en *Physica* 146<sup>a</sup>,1-68(1987).

Finalmente, otra de las actividades de la Comisión C2 de la IUPAP consiste en financiar las medallas SUNAMCO, que se conceden sin periodicidad fija a físicos que se han distinguido por sus contribuciones excepcionales en esta área de traba-

## Desde 1930, y a través de sus diversas comisiones, la IUPAP ha jugado un papel importante en los acuerdos internacionales del sistema de medida, incluyendo la adopción del Sistema Internacional.

en Metrología. Este tipo de guías tienen un impacto esencial en la Física Aplicada, aunque también son importantes en la Física Fundamental, y ambas han sido adoptadas ampliamente en todo el mundo.

damentales y facilitar su adopción”. Una de las publicaciones más populares en esta área es la del “libro rojo” SUNAMCO 87-1 sobre “Símbolos, Unidades, Nomenclatura y Constantes Fundamentales en Física,” del que se empieza a plan-

jo. Por el momento, sólo siete investigadores han sido galardonados con esta distinción, los últimos en 1998, por lo que esperamos que dentro de poco podamos asistir a algún avance especialmente novedoso en este campo de la Física. ■

**Alberto Miguel Arruti**

Licenciado en Ciencias Físicas y Profesor Emérito de la Universidad San Pablo CEU  
Colegio Oficial de Físicos



– Imagen: Michael Percekas

## EL ARTE Y LA CIENCIA DE MEDIR

Toda ciencia positiva consiste en medir, en observar y en experimentar. Esta última operación suele ser, con frecuencia, una medida. Pero toda medida exige unas unidades, unos patrones. La ciencia y la técnica de medir con exactitud y con conocimiento del error, son el objetivo de la Metrología, que se articula de máxima importancia en el presente y en el futuro.

**Las magnitudes primarias, las más simples y elementales, son la longitud, la masa y el tiempo.** El hombre primitivo tenía la idea de distancia, de peso de los cuerpos y de sucesión de los hechos. En un principio, los patrones de medida fueron locales y antropométricos. Por ejemplo, las longitudes se deducían de la longitud del brazo

del rey o la palma de su mano. Es evidente que el “pie” es la unidad más clara dentro de este modo de pensar. La unidad náutica de longitud, la “brazo”, era la unidad de distancia más grande definida a partir de la anatomía humana: máxima distancia entre las puntas de los dedos de un hombre con los brazos abiertos en cruz.

Cada país tenía sus unidades. Mejor dicho, cada región. Lo que dificultaba el comercio. Fue Francia el primer país en dar la voz de alarma. Era imprescindible tener unas unidades comunes para todos los países. Fue en 1791, cuando la Asamblea Nacional francesa promulgó una declaración de principios, presentada





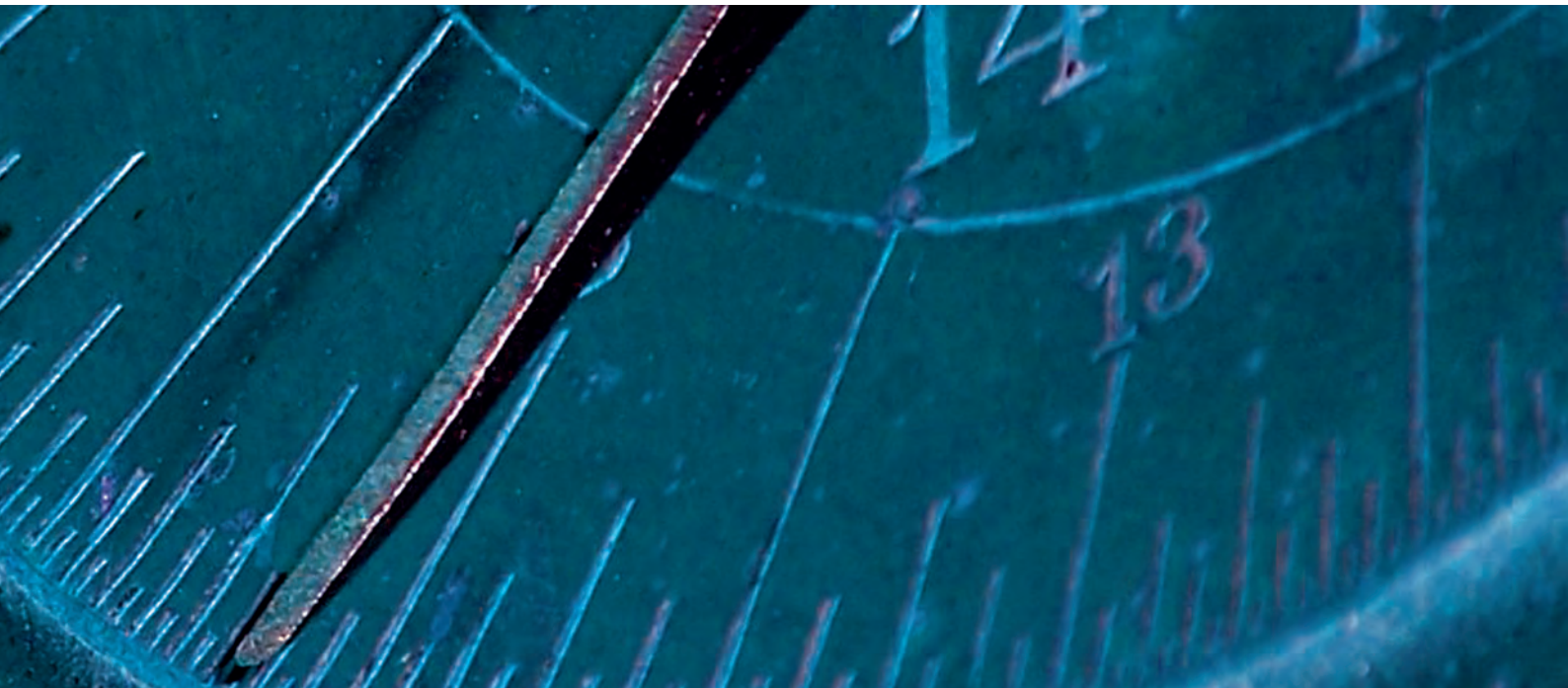
~ Imagen. Alicia Acosta Pérez

nada menos que por Talleyrand: “En vista de que para poder introducir uniformidad en pesos y medidas es necesario que se establezca una unidad de masa natural e invariable, y que el único medio de extender esta uniformidad a otras naciones y exhortarlas a acordar un sistema de medidas

es escoger una unidad que no sea arbitraria y no contenga nada específico de ningún pueblo sobre el globo”. Y así se introdujo el “metro”, como patrón de longitud. Y en 1792, cuando la monarquía francesa agonizaba, dos astrónomos, Delambre y Méchain, salían de París con la misión de medir el

sector del meridiano comprendido entre Dunkerque y Barcelona. Y así quedaría definido el metro como la diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre. Y también se definió el kilogramo como la masa de un cilindro, de 39 milímetros de altura y de diámetro, construido a base de una aleación de platino e iridio, guardado en una cámara de la Oficina Internacional de Patrones en Sévres, cerca de París.

Con posterioridad, fue Max Planck quien siguiendo, más o menos, a Stoney, propuso unas unidades naturales. En esta línea, escribe Barrow: “La concepción que tenía Plank de la Naturaleza ponía mucho énfasis en su racionalidad intrínseca y en su independencia del pensamiento humano. Creía en una inteligencia detrás de las apariencias que fijaba la Naturaleza de la realidad. Nuestras concepciones más fundamentales de la Naturaleza tenían que ser conscientes de que era preciso identifi-



~ Imagen. Michelle Grenier

**Fue, en 1899, cuando Planck propuso que se construyeran unidades naturales de masa, longitud y tiempo a partir de las constantes fundamentales de la Naturaleza: la constante de gravitación  $G$ , la velocidad de la luz en el vacío  $c$  y la propia constante de Planck  $h$ .**

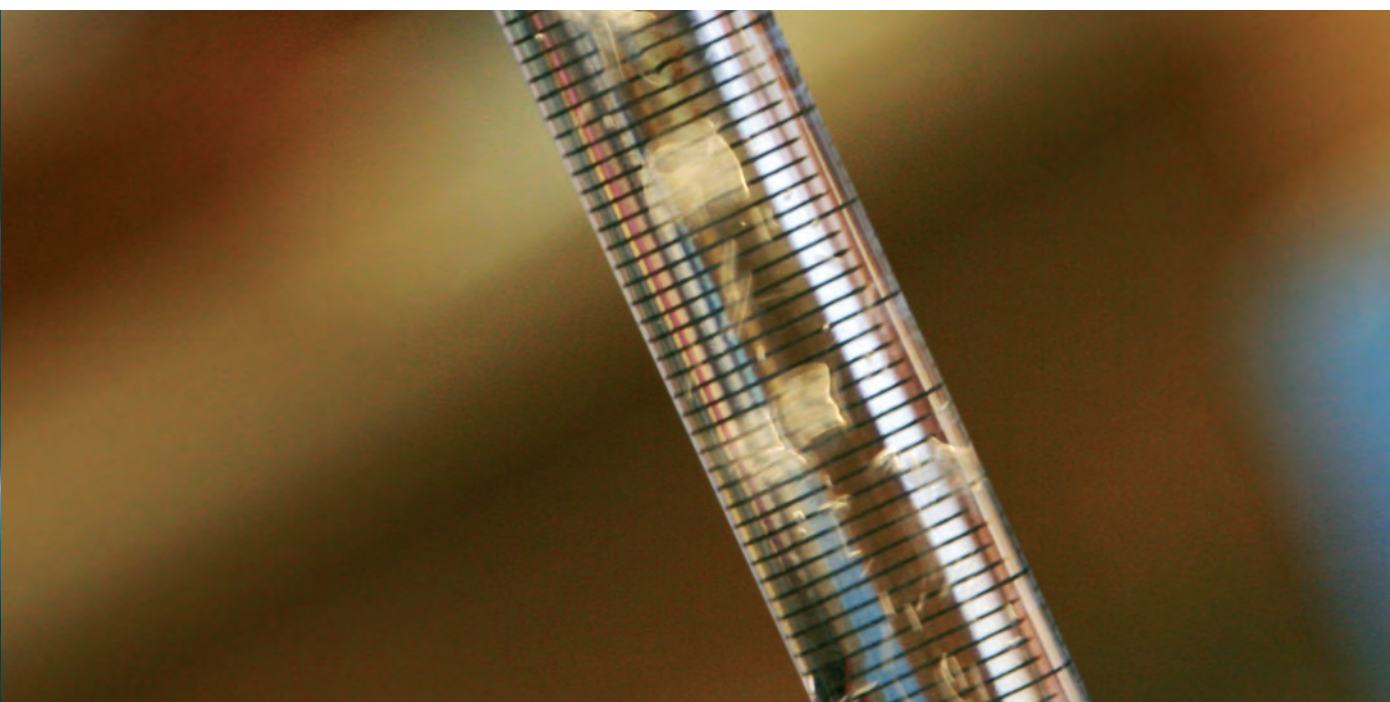
car esa estructura profunda que estaba lejos de las necesidades de la utilidad y conveniencia humanas". El propio Planck llegó a pensar en el establecimiento de unas "unidades de longitud, masa tiempo y temperatura que sean independientes de cuerpos o sustancias especiales, que necesariamente conserve su significado en todos los tiempos y en todos los ambientes, terrestres y humanos u otros cualesquiera". Fue, en 1899, cuando Planck propuso que se construyeran unidades naturales de masa, longitud y tiempo a partir de las constantes fundamentales de la Naturaleza: la constante de gravitación  $G$ , la velocidad de la

luz en el vacío  $c$  y la propia constante de Planck  $h$ . Y así estas unidades naturales son las únicas combinaciones de las mencionadas constantes, que pueden formarse con dimensiones de masa, longitudes y extraordinariamente pequeñas ha adquirido una gran importancia.

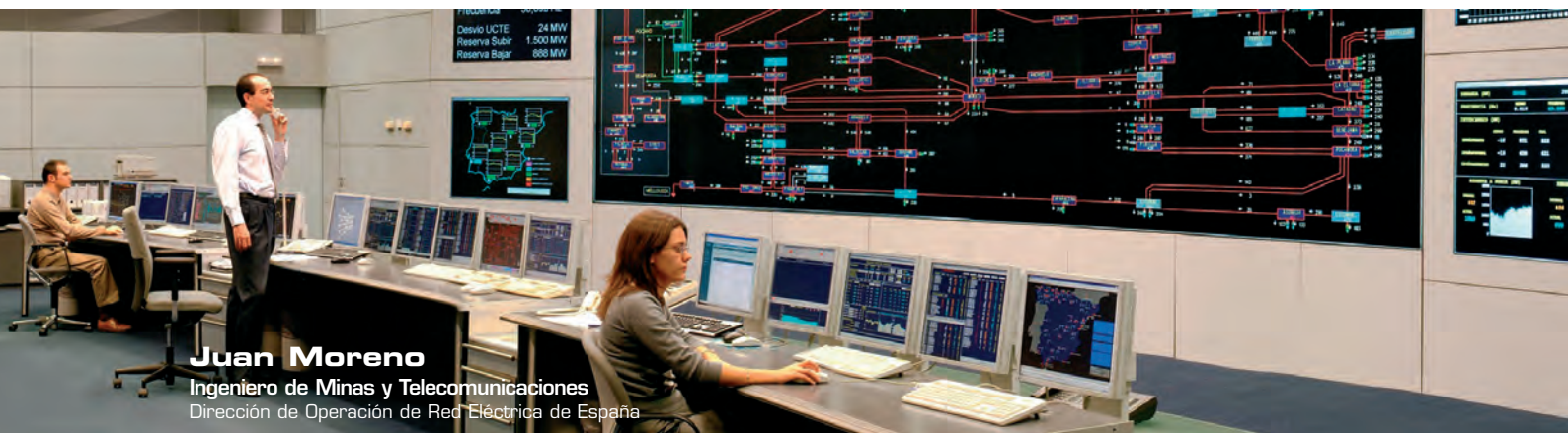
Ha surgido así la Nanociencia y la Nanotecnología. Se maneja como unidad el nanómetro (nm) que es una milmillonésima parte de un metro. Es decir, decenas de miles de veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano. Y se espera que esta ciencia con su tecnología corres-

pondiente protagonice este siglo. Citaremos, como ejemplo, dos realidades. Un nanotubo de carbono es cien veces más duro y seis veces más ligero que el acero. Y, según un estudio de la consultora Científica, en 2015, los productos "nano" moverán 2'5 billones de dólares anuales, o sea 1'96 billones de euros, frente a los 200.000 millones de dólares actuales (167.000 millones de euros).

Y la Metrología es la ciencia que está en el centro de todas estas disquisiciones y de todas estas aplicaciones. En la misma reside la base de la Física. ■



~ Imagen. Eric Austin



**Juan Moreno**

Ingeniero de Minas y Telecomunicaciones  
Dirección de Operación de Red Eléctrica de España

# CONTROL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Desde las primeras demandas de los técnicos acerca de la necesidad de protocolos de actuación para garantizar la calidad y validez de los datos de las primeras redes, hasta ahora que está a punto de aprobarse la nueva Directiva de Calidad del Aire, la calidad de los datos se ha asegurado, principalmente, con normas de carácter voluntario.

En la actualidad, cuando alguien actúa sobre uno de los interruptores de casa o del trabajo, no pasa por su mente la posibilidad de que la compañía suministradora lo haya dejado sin "luz". Lejos quedaron los tiempos en los que en todos los hogares había un manojo de velas y una palmaria. Tampoco piensa nadie que, al tiempo que enciende o apaga una lámpara, indirectamente está emitiendo una orden a varias centrales eléctricas, que están obligadas a incrementar o a reducir su generación para atender las necesidades del cliente. La consecuencia inmediata es que la generación producida por el conjunto de generadores del sistema debe ajustarse al consumo de energía demandada en cada uno de estos instantes, lo cual no es un asunto baladí.

Si se divide el año en intervalos infinitesimales se puede asegurar que, a lo largo y ancho de todo el sistema, en cada uno de esos intervalos se oprime el botón del mecanismo

de un gran número de interruptores, que son accionados por los clientes a su libre albedrío para hacer uso, o dejar de utilizar, la energía eléctrica. La suma de todas y cada una de las potencias consumidas en el mismo instante es lo que denominamos Demanda Eléctrica.

Así, se puede hablar de demanda instantánea, que es la potencia eléctrica consumida en todo el sistema en un instante concreto, o de demanda horaria, que es la energía absorbida en el sistema durante una hora. Y también de energía diaria, es decir, el consumo de energía eléctrica a lo largo de un día en el sistema eléctrico. La demanda es el mejor indicador de la carga de trabajo a la que se está sometiendo al conjunto del sistema eléctrico. Pero la importancia de su valor no se queda en un mero dato indicativo, sino que es un claro reflejo de la actividad económica y del bienestar del país. Da idea de asuntos tan distintos como cuántos españoles

están trabajando en agosto o qué sensación de frío tenemos.

## Predicción

Dado que la energía eléctrica no se puede almacenar como tal de forma significativa, y dado que los grupos generadores precisan de tiempos de arranque que pueden ser de muchas horas, es necesario contar con una previsión de demanda lo más ajustada posible a la que vaya a ser la realidad para preparar, programar y disponer la generación necesaria para su satisfacción. Además, tanto los equipos generadores como las redes de transporte y distribución precisan de mantenimiento, por lo que es preciso conocer la evolución futura de la demanda para encajar el mantenimiento, de forma que siempre haya generación y elementos de transporte disponibles para dar el servicio. Finalmente, es necesario prever la evolución creciente de la demanda de energía a lo largo de los años, para ajustar las inversiones en nuevo equipo gene-

rador y de transporte y continuar garantizando la cobertura del servicio. Todo ello buscando el menor coste y, por consiguiente, la mínima repercusión en el precio que han de pagar los consumidores.

En resumen, se han descrito las tres etapas u horizontes básicos que se contemplan en la gestión de demanda eléctrica: etapa de corto plazo o tiempo real, etapa de planificación de la operación y etapa de planificación a largo plazo. En Red Eléctrica de España (REE), como Operador del Sistema Eléctrico, se debe prever el consumo de energía eléctrica. Para ello se han desarrollado tres modelos: el primero es utilizado en planificación para previsiones a largo plazo -de hasta diez años o superior-, el segundo se emplea para previsiones con extensión de varios meses o incluso anual, y con el tercer modelo obtenemos previsiones a corto plazo: semanales, diarias y horarias.

Para obtener previsiones a largo plazo se desglosa primeramente el crecimiento total teniendo en cuenta la laboralidad, el efecto temperatura y el efecto económico y demográfico. Posteriormente, teniendo en consideración las series históricas, este modelo genera una miríada de posibles escenarios futuros para diferentes crecimientos esperados del PIB y elasticidades, así como para diferente climatología, siendo la laboralidad de los escenarios futuros conocida y fija. Se genera así una predicción de demanda con unos ciertos márgenes de confianza.

La previsión con horizonte de varios meses o un año se obtiene de forma similar: el modelo se alimenta igual-

mente de series históricas corregidas, pero considera el crecimiento del PIB y la elasticidad como datos fijos. Los escenarios se generan con un perfil de temperaturas medio.

En el modelo de predicción de la demanda diaria se modelizan la tendencia creciente y el ciclo estacional de la serie temporal siguiendo la metodología Box-Jenkins. Para los cambios de las condiciones de laboralidad se complementa con un complejo análisis de intervención, tanto por el número y tipo de variables como por sus filtros dinámicos. Este modelo se modifica posteriormente según las variables meteorológicas seleccionadas como representativas: temperaturas máximas y mínimas diarias, nubosidad a mediodía y horas de luz solar.

Ante la necesidad de disponer de una predicción horaria de demanda se utilizan veinticuatro modelos horarios de predicción a muy corto plazo. La metodología es la misma, y la modelización de las variables meteorológicas y de laboralidad se puede adaptar más específicamente al comportamiento de cada hora. En total, unos ciento cincuenta parámetros se ajustan horariamente para la mejor previsión de la demanda de las horas siguientes.

#### Tiempo real

Hasta ahora se ha hablado de qué es y cómo predecir la demanda pero ¿cómo conocemos su valor en tiempo real? Para medir el consumo total real de energía eléctrica en cada momento hay dos opciones:

- Regación de la lectura del valor instantáneo de los contadores de la totalidad de los clientes que consumen energía en todo el sistema

eléctrico o, también, el valor agregado de las diferencias de lecturas en los mismos intervalos regulares de tiempo de todos los contadores, divididos por las longitudes de los intervalos (potencias medias)

- Regación de los valores instantáneos de todos los grupos generadores que producen en dicho sistema.

La primera opción no parece ser la más adecuada, dado que conectar el sinnúmero de registradores distribuidos en todo el sistema con el Operador del Sistema se antoja arduo, dificultoso y, sobre todo, costoso. Por el contrario, ya hemos comentado que en todo momento se tiene que cumplir la siguiente igualdad:

#### Demanda instantánea real = Generación instantánea real

Así podemos decir, sin temor a equivocarnos, que la potencia total generada más/menos la potencia circulante por las líneas de interconexión con los países vecinos es equivalente a la potencia total consumida o, lo que es lo mismo, a la Demanda de energía eléctrica. Pues bien, esto es lo que hace REE por medio de su red de fibra óptica: directamente desde las centrales generadoras, o desde las empresas productoras por los enlaces entre ordenadores, recibe las medidas de potencia activa y reactiva de todos los grupos generadores del sistema. De esta forma, REE calcula la demanda instantánea en barras de central eléctrica incluyendo la que se consume en pérdidas ocasionadas por las redes de transporte y distribución. Del mismo modo conocemos la demanda consumida en los sistemas de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla. ⇒

**La demanda es el mejor indicador de la carga de trabajo a la que se está sometiendo al conjunto del sistema eléctrico, pero también es un claro reflejo de la actividad económica y del bienestar del país.**

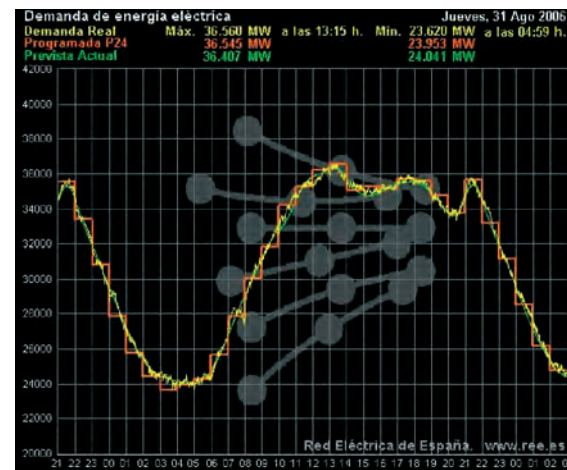
## Seguimiento

Como hemos visto, conocemos la previsión de la demanda y podemos calcular su valor real. Por tanto, lo que procede es realizar un seguimiento de la demanda real respecto a la prevista, con el objeto de prever los desvíos y corregir la previsión. El sistema eléctrico peninsular español se ha dotado de un mercado de energía eléctrica donde los diferentes agentes productores, distribuidores y comercializadores van a efectuar sus ofertas de compra/venta. De este modo, cada día, para las veinticuatro horas del día siguiente, hay un mercado diario en el que se casan las ofertas de demanda de energía con las ofertas de producción de las centrales generadoras y los intercambios internacionales; y seis mercados intradiarios que utilizan los agentes para corregir sus desvíos de previsión de demanda o alteraciones sobrevenidas en los grupos productores. Como resultado de estos mercados, se obtiene un programa de generación equivalente a la demanda casada por los agentes, que podrá aproximarse más o menos a la previsión obtenida por el Operador del Sistema.

La previsión de demanda horaria como tal lleva asociada un error probable, que en el modelo de REE es inferior al 2% medido como desviación cuadrática media. Asimismo, el sistema posee otras incertidumbres, ya que los generadores son susceptibles de desconectar por diferentes motivos y la red de transporte puede sufrir incidencias. Para llevar a cabo la vigilancia y control del equilibrio demanda/generación, REE realiza el seguimiento de todas estas variables desde el Centro de Con-

trol Eléctrico (CECOEL) y, cuando la demanda real no sigue a la prevista, ejecuta una nueva predicción con el modelo. Si es la producción la que no se ajusta al consumo, modifica la generación recurriendo a los mecanismos que, con diferentes horizontes temporales, posee el sistema para asegurar el necesario cumplimiento de la relación Generación igual a Demanda. Dado que la gestión de estos servicios complementarios se ajusta a mecanismos de mercado, su utilización excesiva conlleva costes de generación que se traducen en un incremento del precio que debe pagar el consumidor. Es decir, una mala previsión de la demanda tendrá influencia en los costes sociales e, incluso, en los medioambientales.

En la siguiente gráfica podemos ver el consumo de energía eléctrica en tiempo real, donde la curva roja representa la energía programada que los agentes han casado en el mercado diario reajustado en los distintos mercados intradiarios y corregida a su vez por el Operador del Sistema desde la hora en curso hasta la hora en que comienza el siguiente mercado intradiario, es decir, la generación puesta en juego para cubrir la demanda real. La curva verde es la previsión realizada por REE para ese día, y la de color amarillo representa la demanda real calculada como se ha dicho más arriba, que responde al consumo del sistema en cada instante. De hecho, la curva resulta de una sucesión de puntos cada uno de los cuales responde a un promedio de los valores medidos cada cuatro segundos y recibidos en un intervalo de un minuto.

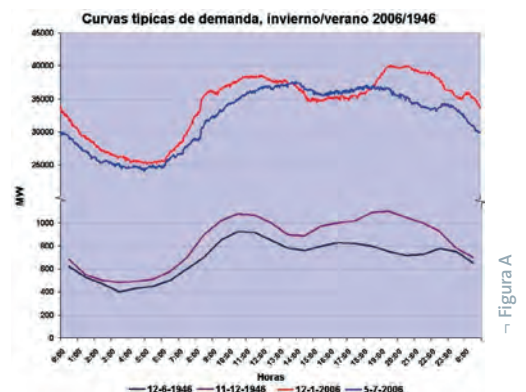


Esta gráfica es accesible en tiempo real en la página web de Red Eléctrica de España: [www.ree.es](http://www.ree.es).

## Estadística

Los valores de demanda peninsular varían fuertemente en nuestro sistema dentro de cada día según la hora y, dentro del año, según la estación, día de la semana, laboralidad, temperatura, luminosidad y otros factores de difícil medición.

De este modo, existen curvas típicas de invierno y de verano. En la figura A podemos ver las curvas de invierno y verano correspondientes al año 1946 y al año 2006. Pues bien, sesenta años después podemos apreciar que responden, prác-



**Las puntas máximas de demanda se producen en invierno, en días laborables y muy fríos. El máximo histórico absoluto de demanda se produjo el jueves 27 de enero de 2005 a las 19:57 h, con 43.708 MW.**

ticamente, al mismo perfil, si exceptuamos el incremento durante las primeras horas de la tarde en los días de verano -debido, principalmente, al aire acondicionado- y el pico de la tarifa nocturna, que en invierno comienza a las 23:00 h y en verano a las 00:00 h.

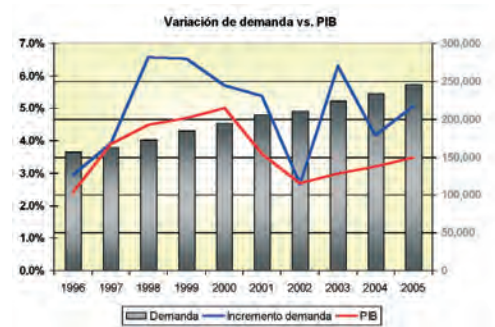
Las puntas máximas de demanda se producen en invierno, en días laborales y muy fríos. El máximo histórico absoluto de demanda se produjo el jueves, 27 de enero de 2005, a las 19:57 h con 43.708 MW, cifra que en el invierno 2005-2006 no fue superada. El record de demanda estival, cuyo valor se acerca cada año más a la punta de invierno, se sitúa en 40.730 MW y se registró el 17 de julio de 2006 a las 13:26 h. Las demandas más bajas del año se observan en las primeras horas de la mañana en festivos navideños o en puentes de primavera. Concretamente en el año 2006 la demanda más baja tuvo lugar el 1 de mayo a las 7:34 h con 16.545 MW.

Si observamos los máximos de potencia de demanda de los últimos años, la media de crecimiento de éstos ha sido de alrededor del 7%, con un destacable 14,39% en 2005. Habida cuenta que la electricidad se debe suministrar con seguridad y calidad de servicio en todo momento durante el año, es necesario dimensionar el sistema eléctrico para poder entregar estos últimos valores aunque se presenten muy pocas horas al año. Esto se puede ver en la figura B, donde se representa la curva monótona de

carga correspondiente al año 2005. En ella se puede apreciar la participación de las distintas tecnologías de generación en la cobertura de la demanda y cómo el consumo más elevado se registra en un número de horas muy reducido. Sin embargo, el sistema tiene la obligación de disponer del parque generador suficiente para atender dicha demanda.

Por supuesto, aún siendo menores, son cruciales los máximos de demanda alcanzados en el estío, ya que la capacidad de los elementos de la red de transporte de electricidad en el verano se ve reducida debido a que está sometida a unas temperaturas más elevadas.

Si integramos la demanda para todos los instantes de todos los días de un año, obtenemos la energía eléctrica total consumida en ese año. Esta cifra fue de 245.435 GWh en 2005, lo que supone un aumento del 4,3% respecto a la energía total consumida en 2004. Corrigiendo este crecimiento con la influencia de la laboralidad y la temperatura, obtenemos un incremento del 3,3% en 2005, cifra muy parecida al crecimiento del PIB de este año en España. Este crecimiento es moderado en comparación con años anteriores, donde se observaron crecimientos corregidos de demanda de en torno al 5-6,5% anual con un crecimiento del PIB similar. En la figura C se representa el crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica desde 1995.

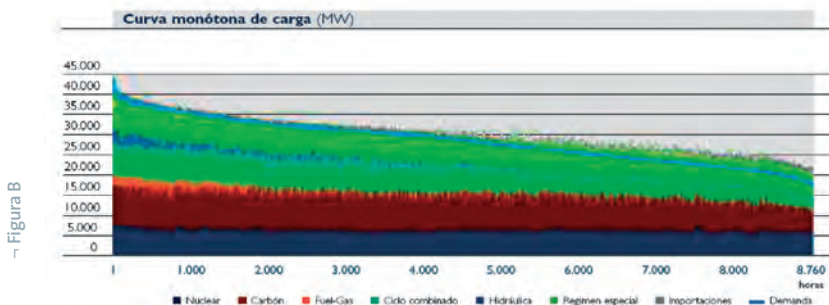


- Figura C

**En resumen**

Como se ha expuesto, la previsión y medición de la demanda de energía eléctrica es de vital importancia para gestionar el sistema eléctrico, a la vez que su evolución es un buen indicador del comportamiento de la sociedad y su crecimiento económico. El cálculo de la demanda depende de cientos de equipos de medida simultáneamente, lo que confiere a éstos, y a las vías y equipos de transmisión de las medidas de potencia, una importante responsabilidad exigiéndoles, consecuentemente, una alta fiabilidad.

A su vez, esta fiabilidad, unida al buen funcionamiento de modelos de previsión cada vez más complejos y que contemplan un número creciente de factores de influencia, genera predicciones en distintos horizontes futuros que, junto con los diversos mecanismos de Mercado y de Operación, permiten satisfacer esa demanda con costes razonablemente bajos -los mínimos, teóricamente- manteniendo, no obstante, unos niveles de calidad y seguridad de suministro acordes con las exigencias de una sociedad moderna y dinámica como la nuestra. ■



- Figura B

**Agradecimientos.**

Tengo el deber y el placer de expresar mi agradecimiento a José Manuel de la Torre Campos, Miguel de la Torre Rodríguez y Rosmarie Grafe Arias, todos ellos colaboradores de la Dirección de Operación de Red Eléctrica de España, sin cuyo concurso este artículo no se hubiera publicado y, en todo caso, no habría sido el mismo.

**Emilio Prieto Estéban**

Ingeniero de ICAI

Jefe del Área de Longitud del Centro Español de Metrología



# MEDIR PARA CONOCER

**El conocimiento objetivo está basado en el “método científico”. Éste comienza por la observación de fenómenos que nos llaman la atención.** Prácticamente al mismo tiempo que se produce la observación surgen una o varias preguntas acerca del porqué de lo observado. El paso inmediato consiste en formular una hipótesis al respecto. Es aquí donde comienza la experimentación, con objeto de confirmar la hipótesis e inferir nuevos comportamientos que probarán su validez en casos más particulares. Este paso es el que verdaderamente separa la ciencia de otras disciplinas.

El diseño de experimentos no es una tarea fácil y exige la construcción de un modelo teórico que considere las distintas contribuciones e influencias, así como su peso relativo en los efectos observados (coeficientes de sensibilidad). Cuanto más se acerque el modelo a la realidad, más difícil será definirlo, pero más sencillo será demostrar el cumplimiento de las hipótesis de trabajo. En todo este proceso, la matemática proporciona la herramienta adecuada para poder dar forma a las ideas e interpretar los resultados.

## La Metrología

Una de las disciplinas de la ciencia, situada horizontalmente en la base del conocimiento, y ciencia en sí misma, es la Metrología, ya

que no existe experimentación sin instrumentos de medición, y no existe confirmación de hipótesis si el método de medición no es el apropiado o los instrumentos empleados carecen del poder de resolución y la exactitud adecuadas. La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo, por nacer con las primeras observaciones, y su conocimiento para medir correctamente es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico.

Ya se trate de investigación básica o aplicada, o de desarrollo industrial y tecnológico, el concurso de la Metrología, la ciencia de la medida, es fundamental para el progreso global. Las constantes

físicas fundamentales, que condensan nuestro conocimiento del universo, y de las cuales depende el progreso de la astronomía, la óptica, la nanociencia o la física atómica, por citar algunos ejemplos, son conocidas cada vez con menor incertidumbre, gracias a la mejora constante de los métodos de medición ([www.codata.org](http://www.codata.org)).

El progreso de la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición. La medición es el medio para describir los fenómenos naturales de forma cuantitativa. Como dijo Mendeleev, *“la Ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones”*.

La Metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cualesquiera que sean sus incertidumbres, y en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar, pudiendo definirse, *in extenso*, como “la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición, la evolución de éstos, la valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilitando el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida”.

Las mediciones juegan un importante papel no solo en el ámbito científico, sino en la vida diaria de las personas. Ya sea café, agua, electricidad o calor, todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a nuestras economías privadas. El comercio, el mercado y las leyes que los regulan dependen de la Metrología y del empleo de unidades comunes. Se estima que, en la Europa actual, las mediciones suponen un coste equivalente a más del 1% del PIB combinado, con un retorno económico equivalente de entre el 2% y el 7% del PIB.

#### La Metrología cubre tres actividades principales:

- La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
- La realización práctica de las unidades de medida por métodos científicos.
- El establecimiento de las cade-

nas de trazabilidad, para referir cualquier medición a patrones nacionales o internacionales.

#### La Metrología se considera asimismo dividida en tres categorías, cada una de ellas con diferentes niveles de complejidad y exactitud:

- La Metrología Científica, que se ocupa del desarrollo de los patrones de medida de las unidades básicas, así como de su mantenimiento y evolución.
- La Metrología Industrial, que asegura la exactitud de los instrumentos de medida empleados en la industria.
- La Metrología Legal, que se ocupa de aquellas mediciones que influyen sobre la transparencia de las transacciones comerciales, la salud y la seguridad de los ciudadanos.

Todas las disciplinas científicas requieren de la Metrología y ésta, a su vez, necesita el concurso de todas las disciplinas (Física, Química, Ingeniería, Matemáticas, Estadística, Informática) en una combinación necesaria de conocimientos teóricos y aplicaciones prácticas.

#### Magnitudes y unidades

El concepto de medición puede ser definido como el “proceso por el cual se determina el valor de una magnitud física, mediante un experimento, utilizando capacidades técnicas”.

Los métodos de medición son muy diversos y sus principios se asientan sobre las distintas ramas de la ciencia. Independientemente del procedimiento utilizado, toda



→ Prensa Hidráulica del Laboratorio de Masa

medición de cualquier magnitud física se reduce a la determinación experimental de la relación entre la magnitud dada y otra semejante, admitida como unidad.

La historia ha conocido un número enorme de unidades, incluso varias para las mismas magnitudes, lo que ha creado dificultades en el comercio internacional y en el intercambio de resultados de investigaciones científicas. El sistema métrico decimal, creado en la época de la Revolución Francesa para servir “*en todos los tiempos y para todos los pueblos*” acabó con tal situación. Hoy día, es el Sistema Internacional, conocido por sus siglas SI, evolución del sistema métrico original, el de uso legal en España y en los países de la Convención del Metro (51 firmantes y 20 asociados). ⇒

**Ya se trate de una investigación básica o aplicada, o de desarrollo industrial y tecnológico, el concurso de la Metrología, la ciencia de la medida, es fundamental para el progreso local.**

### Incertidumbre de medida

En una medición, la diferencia entre el valor medido y el verdadero valor (siempre inalcanzable) se debe tanto a imperfecciones del instrumento como a la(s) técnica(s) utilizada(s), al efecto de las condiciones ambientales, y a las limitaciones del experimentador, por citar unos cuantos factores. La diferencia entre el valor medido y el valor tomado como verdadero se denomina error de medición.

El concepto de incertidumbre, el más importante de la Metrología, va más allá del concepto de error, empleado hasta hace algunos años, con el que no debe confundirse. La incertidumbre del resultado de una medición refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor de lo que se está midiendo (el mensurando), incluso tras haber corregido los efectos sistemáticos identificados, debido a los efectos aleatorios y a la propia incertidumbre de las correcciones.

Son numerosas las fuentes posibles de incertidumbre en una medición, entre ellas la definición incompleta del mensurando, la realización imperfecta de su definición, la medición errónea de las condiciones ambientales, la resolución de los instrumentos de medida, la incertidumbre de los patrones de medida, de las cons-

tantes universales o de otros parámetros tomados de fuentes externas y utilizados en los algoritmos de tratamiento de los datos, las hipótesis establecidas en el método de medida, la variabilidad de las observaciones, etc.

### Organismos metroológicos

El sistema jerárquico de diseminación de las unidades de medida, mediante sucesivas comparaciones de patrones y calibración de los elementos situados en niveles metroológicos inferiores, alcanza a los instrumentos de medida empleados en los procesos de fabricación industrial, garantizando así la calidad individual de bienes y servicios.

La Conferencia General de Pesas y Medidas, compuesta por los representantes de los Estados Miembros y Asociados de la Convención del Metro, analiza los informes presentados por el Comité Internacional de Pesas y Medidas sobre propagación y mejora del Sistema Internacional de Unidades (SI), aprueba los resultados de nuevas determinaciones metroológicas y resoluciones científicas de ámbito internacional y decide sobre cuestiones de organización y desarrollo de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM)(www.bipm.org).

El BIPM mantiene contacto con más de setenta y cinco Organizaciones Internacionales en las que la Metrología juega un papel importante, entre ellas p. ej., la Unión Astronómica Internacional, La Agencia Internacional de Energía Atómica, el Centro Internacional de Física de la Materia Condensada y las Uniones Internacionales de Física y de Química Pura y Aplicada.

En España, es el Centro Español de Metrología el máximo órgano responsable en materia de Metrolo-



gía y, junto con sus laboratorios asociados (ROA, IFA-CSIC, CIEMAT, INTA, LCOE, TPYCEA e ISCIII), el encargado de realizar y mantener los patrones nacionales de las unidades de medida, así como su equivalencia internacional y su diseminación a nivel nacional.

### Conclusión

El método científico es el único que permite avanzar en el conocimiento del universo de manera objetiva. Para ello, la experimentación y la medición son imprescindibles. La Metrología trata de que las mediciones, en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar, sean lo más exactas posibles.

El metrólogo es el científico dedicado a la Metrología y, aunque no existe como especialidad en nuestras facultades, el avance científico y tecnológico hace cada vez más necesario el conocimiento de ésta en los estudios de las distintas carreras técnicas (física, química, ingeniería) o en estudios de postgrado, para saber medir mejor, contribuyendo así al progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida. ■



## Entrevista con Fernando Ferrer Margalef

**Marta Izquierdo Barrado**

Periodista

Colegio Oficial de Físicos



### “EN METROLOGÍA, ESPAÑA JUEGA EN PRIMERA DIVISIÓN”

El Centro Español de Metrología (CEM) es un organismo autónomo adscrito al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, creado en 1990 por la Ley de Presupuestos como consecuencia de la Ley de Metrología del año 85. Esta ley se promulgó con los objetivos de definir las unidades legales de medida y establecer las cadenas oficiales de calibración, establecer el control metrológico sobre los instrumentos de medida, y crear el Centro Español de Metrología, máximo órgano técnico en el campo de la metrología en España, cuyo objeto es unificar la actividad metrológica.

Fernando Ferrer Margalef, Director del CEM, habló con el Colegio Oficial de Físicos para dar a conocer de primera mano las competencias del CEM, sus principales líneas de actuación y el papel que juega España en la Metrología mundial.

#### ¿Cuáles son las competencias del Centro Español de Metrología?

##### La ley le otorga diversas funciones.

En el área de la Metrología Científica, el CEM se ocupa de conservar los patrones de medida: no sólo de guardarlos, sino de realizar continuas intercomparaciones con nuestros colegas del EUROMET, la organización europea que agrupa distintos centros nacionales de metrología. Para mejorar los patrones lo que hacemos es mejorar los instrumentos y hacer las intercomparaciones.

#### ¿Cuáles son las actuales líneas de trabajo del CEM?

En el campo de la Metrología Legal, en este momento tenemos muchí-

simo trabajo, ya que estamos trasladando una Directiva Europea de los instrumentos de medida, y aprovechando también para reformar la legislación, que estaba muy anticuada. Estamos revisando diversas normas y desarrollando toda la parte relativa al control metrológico de los instrumentos en servicio, porque hay temas, como las reparaciones y las verificaciones periódicas, que no se habían desarrollado después de aprobarse la Ley de Metrología.

Por otro lado, en Metrología Científica trabajamos conservando y desarrollando patrones. Tenemos muchos proyectos nuevos: estamos desarrollando un nuevo patrón de presión, el año que viene vamos a tener un nuevo compara-

dor de masa, y estamos preparando un nuevo patrón de fuerza. También estamos trabajando con temperatura, así que prácticamente todos los laboratorios están en activo, porque también tenemos varios proyectos abiertos con EUROMET.

#### Se podría decir que el Sistema Métrico se actualiza constantemente...

El sistema no, pero los patrones del sistema sí se actualizan y se mejoran. La filosofía que seguimos es intercomparar los patrones entre sí para dar nuestra medida y nuestra incertidumbre. El objetivo es que la incertidumbre sea pequeña porque, en realidad, la medida es un promedio, por eso en el CEM mejoramos continuamente los ⇒

patrones. Lo que buscamos es dar una medida lo más próxima posible a los promedios, con una incertidumbre pequeña.

**Con líneas tan novedosas como la mecánica cuántica, la superconductividad o la nanotecnología, ¿hasta dónde puede llegar la metrología? ¿Estamos cerca del límite de esta ciencia?**

**En mi opinión, aunque no sabemos** dónde está su límite, en metrología física se empieza a agotar la posibilidad de mejorar. Tengamos en cuenta que en longitud ya se están midiendo fracciones muy pequeñas del diámetro del átomo de hidrógeno, en temperatura se mide la millonésima parte del Kelvin...

Yo diría que los campos nuevos van por el mundo de la metrología química. Es decir, todo el tema sanitario, el tema alimentario... ahí están las nuevas líneas de expansión. Además, son campos que en metrología científica todavía no están sistematizados, campos más jóvenes en los que todavía no existe esa mentalidad. Por poner un ejemplo, ahora mismo la metrología legal, que sí regula los contadores o los sistemas de detección, no se aplica sin embargo a los procedimientos médicos, ni a los análisis clínicos, porque en ese campo no hay trazabilidad, no se garantiza la medida de los aparatos.

**¿Pero todavía queda camino en Metrología física?**

**Sí, por supuesto, pero se ha avanzado** mucho. Hay ciertas áreas en las que ya poco se puede avanzar, como puede ser la longitud. Sí puede tener aplicaciones en la medición de los contaminantes derivados del proceso energético, por ejemplo. En ese campo se han logrado incertidumbres muy reducidas. En la última intercomparación que hemos hecho de



electricidad, un patrón de continua se ha medido con una diferencia de 2 nanovoltios. Como ve, estamos hablando de una diferencia mínima.

**¿Qué aporta el profesional de la Física a la Metrología?**

**Aquí el trabajo básicamente es el** de físico, aunque también contamos con ingenieros, químicos y otros profesionales. Realmente, los expertos que trabajan aquí, que son muy buenos, han aprendido Metrología en el CEM o en centros asociados. En España no hay una buena formación metrológica, ni siquiera en la universidad. Nosotros ofrecemos un curso bastante bueno de Metrología Legal, y ahora mismo estamos tratando de concienciar a los profesores de los centros de enseñanza para que midan y calculen la incertidumbre de sus aparatos e instrumentos, porque no tienen esa mentalidad de valorar las medidas.

**¿Cómo es posible que esta ciencia, tan importante para el desarrollo de todas las demás, sea la gran desconocida?**

**Siempre ha sido una disciplina** muy endogámica, en la que trabajan muy pocos expertos. Yo siempre digo que está tan asumida en la vida cotidiana que no nos damos cuenta de que existe. A nivel industrial sí tiene muchísi-

ma importancia, porque hay muchos niveles en el proceso de producción, y la incertidumbre crece muchísimo cada vez que se baja un escalón.

**Aunque el ciudadano medio no sea consciente de que la Metrología incide en su calidad de vida, lo cierto es que la condiciona a todos los niveles.**

**Sí, y por ello tenemos varios grupos** de trabajo dedicados a distintas temáticas. En uno de ellos trabajamos con la Agencia Española del Medicamento, pero también tenemos grupos para temas de tráfico y seguridad vial, con la Dirección General de Tráfico, y también en Telecomunicaciones, para tratar cuestiones como, por ejemplo, si vale la pena regular los contadores de las facturas telefónicas, o las tarjetas de recarga automática de los móviles. Porque no hay un control metrológico de las telecomunicaciones, a pesar de que, en el presupuesto familiar, éstas suponen mucho más que la luz o el gas, que por el contrario sí pasan ese tipo de controles.

**¿Cómo está posicionada España en cuanto a Metrología, respecto a otros países?**

**Pues se podría decir que jugamos** en primera división, a pesar de que somos un centro pequeño. En el CEM trabajan entre 100 y 120

personas, mientras que nuestro homólogo alemán, el PTB, cuenta con 1500 trabajadores. Alemania es el referente europeo, en parte porque tienen una fuerte industria de instrumentación, lo que fomenta que su metrología sea muy potente, y viceversa, ya que ese nivel de desarrollo permite la existencia de una industria de instrumentación.

**La decisión de unificar los distintos sistemas de unidades tuvo también numerosas ventajas, que ahora en la era de la globalización se pueden valorar más que nunca.**

**España fue miembro fundador de la Buró Internacional de Pesas y Medidas, lo cual no fue una decisión fácil en aquella época, estamos hablando de 1850. En aquella época estaban los británicos intentando imponer la yarda, la pulgada... al final se ha impuesto el Sistema Métrico Decimal. Y esta unificación ha facilitado mucho el avance científico y, sobre todo, el de la Industria. Pongamos por ejemplo el Airbus: sus piezas se hacen en distintos países, con unas precisiones enormes, y luego se montan todas juntas y casan sin problemas, con unas tolerancias muy pequeñas.**

**¿Qué obstáculos se tuvieron que superar para unificar el sistema de medidas?**

**Bueno, hubo problemas, naturalmente, pero creo que era el proceso natural unido al progreso de la ciencia y de la industria. Y el Sistema Métrico Decimal parecía bastante racional.**

Una anécdota curiosa del desarrollo de la Metrología en España es

que, en la Guerra de Cuba, los cañones españoles tenían que poder utilizar indistintamente munición de distintas marcas. Pero cuando usaban un cañón de una marca con munición de otra marca distinta, funcionaba mal porque tenía diferencias. Y no era porque midieran mal, sino porque los metros de cada fabricante eran distintos. Y es que lo importante no es que el metro sea la longitud de trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo, lo importante es que ese metro lo midamos igual todos.

Y eso es precisamente lo que hacemos nosotros, dar trazabilidad. Esa trazabilidad la comparamos a su vez con los datos del EUROMET, y vamos dándola primero a la gran industria y a los laboratorios, que a su vez la dan a otros laboratorios más pequeños: eso es lo que hace que las máquinas y las herramientas trabajen como tienen que trabajar y midan como tienen que medir.

**¿Qué relación tiene el CEM con las PYMES?**

**Siempre hay una relación, aunque sea indirecta. Incluso en un comercio pequeño, los instrumentos que usan están sometidos a control de medida: los modelos tienen que cumplir la normativa, se prueban, pasan revisiones periódicas... Cada instrumento de medida es verificado por un laboratorio (que puede ser pequeño), éste a su vez tiene su instrumento trazado con el de otro laboratorio mayor, así que al final hay toda una cadena de trazabilidad que acaba en el CEM.**

El 20% de los ingresos del CEM pro-

ceden de trabajos externos. Es un porcentaje reducido porque aquí nos movemos en unos ámbitos de precisión que generalmente sólo se requieren en pocas industrias y laboratorios muy avanzados, o en los casos que requieren garantizar la seguridad jurídica de los ciudadanos. Esto pasa por ejemplo con los etilómetros que usa la policía en los controles de alcoholemia, y que nosotros controlamos. Es algo que no podrían hacer otros, porque si un ciudadano puede tener sanción penal por la medida de ese instrumento, debe tener la seguridad de que está bien verificado.

**¿Podría citar algunos ejemplos representativos de proyectos que hayan tenido que medir?**

**Hemos medido toda clase de cosas, por eso tenemos varios laboratorios. El de temperatura es casi un laboratorio de alquimistas, y en el de fuerza estamos montando una prensa hidráulica de 1000 toneladas. En el CEM hemos medido desde las cucharillas para dosificar los medicamentos, para que midan la cantidad correcta, a los grandes tanques de combustible, que tienen enormes efectos fiscales.**

**¿Todas las medidas las gestiona el CEM?**

**No, no todas. En una buena política, cuando se formó el CEM, en vez de traer aquí todos los patrones se sirvieron de la figura del Laboratorio Asociado. Y en magnitudes básicas hay dos que están fuera: la candela, que está en el CSIC, y el tiempo, en el Real Observatorio de la Armada de San Fernando, en Cádiz. ■**

**El objetivo es que la incertidumbre sea pequeña porque, en realidad, la medida es un promedio, por eso en el CEM mejoramos continuamente los patrones del Sistema Métrico.**

## Alfonso Tarancón Lafita

Doctor en Ciencias Físicas. Profesor Titular de Física Teórica

Departamento de Física Teórica. Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos Universidad de Zaragoza



# EL ORDENADOR COMO UNIVERSO DONDE MEDIR

**Cuando la Física se enfrenta a un fenómeno nuevo, lo primero es la observación detallada del mismo: la medida. Así es como cuantificó Galileo el movimiento sobre planos inclinados, o como se mide en la actualidad la Radiación de Fondo.** La medida nos dice la forma en que se comporta la Naturaleza y es el juez inapelable de las Teorías elaboradas por el hombre para explicarla.

Con el devenir de los tiempos, las leyes básicas son cada vez mejor conocidas y explican más hechos experimentales, produciéndose menos cambios en ellas. Por el contrario, los fenómenos a que se aplican son más complejos, matemáticamente más intrincados. Se da la circunstancia de que, aún sabiendo las leyes básicas subyacentes, no disponemos de herramientas para resolver las ecuaciones y obtener las predicciones necesarias.

Podríamos hacer un símil con la situación en que se encontraba Newton al enunciar la Ley de Gravitación Universal: conocía las leyes fundamentales de la Mecánica y la Gravitación, sabía que para calcu-

lar el efecto de la Tierra sobre una partícula debería “sumar” el efecto de toda la masa de la Tierra, pero en ese momento no existían herramientas matemáticas para hacer esta suma.

Hoy, para la mayoría de los problemas planteados en la Ciencia y la Tecnología no somos capaces de encontrar solución analítica. El cálculo numérico nació con este objetivo: dado un problema físico convertido en un problema matemático correctamente planteado, si no existe solución analítica del mismo, usamos el ordenador para obtener la solución más aproximada posible a la real. La resolución de ecuaciones diferenciales es tal vez el mejor candida-

to, y fue uno de los primeros problemas atacados.

### Un poco de Historia

El primer ordenador de propósito general fue el ENIAC (1946-1955) usado por la Armada estadounidense para cálculos de balística, predicción del tiempo, desarrollo de la primera bomba de hidrógeno, generación de números aleatorios... Era capaz de realizar la increíble cantidad de 5000 sumas o 40 divisiones por segundo. No estaba mal para aquellos tiempos... y sus 27 toneladas de peso.

En España, el cálculo numérico se generalizó en las Universidades a finales de los años 70. Entonces

sólo había programas escritos en FORTRAN cuyo resultado final era un listado de números en un papel. El programa se escribía a mano sobre un folio y, tras mirarlo fijamente durante horas tratando de convencerse a sí mismo de que todo estaba bien, se tecleaba sobre una terminal mecánica que generaba fichas perforadas, una por cada línea del programa. Con cariño, se unían las tarjetas con una goma elástica y se esperaba pacientemente la llegada, una vez por semana, de un señor con un maletín, que recogía los tacos de fichas y los transportaba a alguno de los pocos lugares donde por aquel entonces estaban ubicados los ordenadores; allí se introducían en un lector para su compilación y, en el improbable caso de que todo fuera bien, para su posterior ejecución. Pasado un plazo razonable (entre dos días y una semana) el señor volvía con un listado en papel continuo, generalmente con dos hojas: la primera identificaba al usuario con grandes letras construidas con letras, la segunda contenía algo parecido a “Compilation error: Line 43 syntax error” Otra vez a empezar...

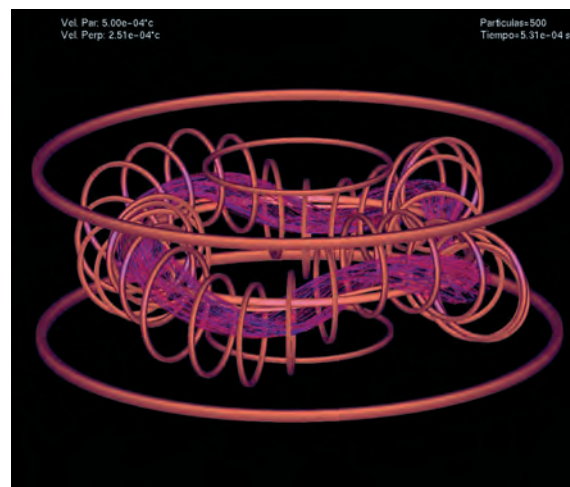
Desde entonces se ha venido produciendo un explosivo (en concreto, exponencial) crecimiento de las prestaciones de los ordenadores, que es típico en el nacimiento de una tecnología.

Sin remontarnos a la prehistoria, los primeros superordenadores de propósito general gozaban a finales de los 80 de una potencia en torno a los 100 Mflops (millones de operaciones en coma flotante por segundo) y una memoria RAM

sobre los 100 Mbytes, costando del orden de cientos de millones de pesetas. Los sistemas de almacenamiento eran entonces caros e irrisorios. Recuerdo que, en la Universidad de Roma, en 1989 esperábamos con ansiedad la llegada de un “superdisco duro”. Era un armario (con ruedas, por supuesto) de medio metro cúbico y precio exorbitado con una capacidad de 1 Gbyte. Algo que hoy en día llevan (siempre lleno) los adolescentes en el bolsillo para oír canciones.

Los ordenadores personales eran usados casi exclusivamente para tareas administrativas o de conexión a los grandes ordenadores. Las universidades y centros de investigación instalaron grandes ordenadores para cálculo científico en los Centros de Cálculo, de tan buenos y malos recuerdos. Los ordenadores típicos eran de escasos Megaflops, y en ellos se hacían decenas o incluso cientos de investigadores ávidos de entrar en una saturada cola para lograr el listado de números que debería dar respuesta a sus inquietudes. Fue una época excitante pero llena de conflictos y frustraciones.

Entonces los PC's comenzaron a llenar el mundo. Gracias a la producción masiva los procesadores comerciales disminuyeron su precio, y aumentaron su potencia por las demandas de cálculo de programas de consumo tales como los videojuegos. La electrónica de consumo pudo con todos los desarrollos específicos. No en vano la producción anual de procesadores Intel o similares para consumo doméstico se sitúa en torno a los 200 millones. Y se produjo lo inimaginable: los orde-



nadores que tenían los jóvenes en su casa para jugar fueron alcanzando en potencia a los superordenadores de los Centros de Cálculo.

El desarrollo del Software Libre, con Linus Torvalds y Richard Stallman a la cabeza, permitió disponer de un sistema operativo potente (Linux) y aplicaciones robustas que cubrían gran parte de las necesidades (GNU). Empezaron a aparecer superordenadores basados en procesadores comerciales: el abandono en las grandes empresas del desarrollo de procesadores propios para pasar a usar los procesadores comerciales de gran consumo fue un momento de cambio económico y de filosofía importante. Y, paralelamente, se comenzaron a desarrollar superordenadores fabricados con pilas de PC's comerciales: un “hágase usted mismo su superordenador”.

De modo que, ahora, el mundo de los superordenadores está dominado por grandes infraestructuras y por Clusters de PC's, que en ambos casos son esencialmente ordenadores personales uno junto al otro con hardware específico para la ⇒

**En España disponemos de una gran infraestructura: el ordenador Mare Nostrum en el Barcelona Supercomputer Center, que da servicio a diferentes grupos de investigadores en una gran variedad de campos.**



comunicación. En todos ellos la pieza básica, el procesador, es de gran consumo. Procesadores comerciales con una potencia superior al Gflop (mil millones de operaciones en coma flotante por segundo).

En España disponemos de una gran infraestructura: el ordenador Mare Nostrum en el BSC (Barcelona Supercomputer Center). Da servicio a diferentes grupos de investigadores en una gran variedad de campos. Esta máquina tiene sentido especialmente para problemas en los que los requerimientos de potencia y memoria son enormes, de modo que no pueden ser ejecutados en otras máquinas más reducidas. Los investigadores no ejecutan en Mare Nostrum el trabajo diario, sino procesos especiales que lo requieren.

Contamos también con un buen número de centros de tamaño medio que disponen de Clusters de PC's bajo Linux casi en su totalidad, con entre cien y mil procesadores que resuelven los problemas cotidianos de nuestros investigadores: el CESGA (Galicia), el IFCA (Cantabria), el CIEMAT (Madrid) o el BIFI (Aragón) son algunos de ellos.

Típicamente, los procesos se desarrollan y depuran en ordenadores per-

sonales, para luego pasar a ser ejecutados en Clusters de PC's en algún centro de computación. Sólo en algunos casos, después de esto, es necesario aumentar la potencia de cálculo para redondear o finalizar los cálculos; para ello se usa el Mare Nostrum u otro ordenador similar. Disponer de grandes ordenadores es hoy una señal de prestigio para un país. Situarse en buena posición en la lista de los Top 100 es algo codiciado por todos los Centros e incluso por los Gobiernos.

### La Medida y la Simulación

Estos desarrollos han producido, en lo que nos interesa en este artículo, varios hechos fundamentales:

### Sustitución de experimentos reales por experimentos virtuales

Antes de la llegada de los modernos ordenadores los científicos no se planteaban siquiera ciertos problemas, pues sabían que eran imposibles de atacar a pesar de disponer de la teoría básica. Por ejemplo, las leyes de la Hidrodinámica son perfectamente conocidas, pero resolver el problema de cómo el viento afecta a un vehículo es imposible con las técnicas analíticas.

Actualmente los ordenadores se han convertido en verdaderos instrumentos de medida. El binomio Teoría-Naturaleza se ha modificado en parte a Teoría-Simulación-Naturaleza, pues es posible simular hechos naturales con tal fidelidad que obtenemos con el ordenador los mismos resultados que haciendo un experimento de campo.

Dicho de otro modo: el proceso de medida, básico para el conocimiento de la Naturaleza, dispone de una

herramienta más para obtener resultados: la Simulación.

Hoy en día todo se puede simular (y casi todo se simula). Algunos ejemplos:

- Aerodinámica de vehículos terrestres, aéreos y marítimos.
- Desarrollo de nuevos fármacos: interacción con proteínas.
- Comportamiento y resistencia de materiales.
- Evolución del Tiempo y del Clima.
- Formación de Galaxias.
- Fenómenos Sociales, políticos y económicos.
- Tráfico vehicular, peatonal o de información.

Se simula incluso si en una carrera de Fórmula 1 es mejor hacer 2 ó 3 stops, o cuál será el cambio en la demanda eléctrica en un país según el calendario de la liga de fútbol. Estas simulaciones permiten saber lo que pasará según ciertos parámetros de control. Son por tanto genuinas medidas experimentales, pero anteriores al hecho en sí, lo que proporciona una enorme capacidad de trabajo y de anticipación.

En todos los casos se tiene la sensación de que cada vez las predicciones son más ajustadas y que con el paso del tiempo será posible predecirlo todo... Tal vez estamos llegando a la situación que, a finales del siglo XVIII, le permitía afirmar a Laplace que con la Mecánica Clásica y algo de paciencia era posible saberlo todo sobre el Universo... se equivocaba completamente.

### Inteligencia Artificial y modelos Ad Hoc

No sólo en Simulaciones se han producido grandes avances, tam-

**Disponer de grandes ordenadores es hoy una señal de prestigio para un país. Situarse en buena posición en la lista de los Top 100 es algo codiciado por todos los Centros e incluso por los Gobiernos.**

## La medida nos dice la forma en que se comporta la Naturaleza y es el juez inapelable de las Teorías elaboradas por el hombre para explicarla.



bién en otros aspectos. La “Inteligencia Artificial” despertó un enorme interés al inicio de los 90. Las expectativas no se han cubierto completamente, pues el campo es más duro de lo que parecía, pero el avance es innegable. El reconocimiento de imágenes, diagnósticos médicos como identificación de tumores, la búsqueda de patrones, el análisis de mercados, la teoría de juegos, todos ellos son campos en rápida evolución.

En segundo lugar, se crean modelos ad hoc, modelos que viven sólo dentro del ordenador. Muchos investigadores han roto con el antiguo esquema que postulaba que para describir la realidad era necesario escribir en blanco sobre negro unas ecuaciones que luego lo resolvían todo. Los ordenadores han permitido llegar a un nuevo empirismo donde es posible describir el comportamiento de un sistema con unas cuantas normas copiadas de la realidad, y luego dejar que el ordenador haga el resto. Este empirismo nace de la imposibilidad de encontrar teorías básicas (simulación del tráfico vehicular o de información) o de la complejidad de la teoría subyacente (es el caso de la Dinámica

Molecular, que sustituye la Mecánica Cuántica por modelos efectivos más simples para poder ser tratados en el ordenador).

### El GRID: una tecnología emergente

El aumento de la potencia disponible, el desarrollo de software que hace más simple el uso de los superordenadores, el aumento de investigadores, el desarrollo de nuevas herramientas numéricas, de nuevos modelos para describir fenómenos, de programas comerciales potentes (Gaussian, Charm...) está aumentando enormemente la demanda de cálculo. Se piden resultados más precisos y en menos tiempo. Se quiere que cálculos que ahora cuestan días o meses cuesten minutos. Todas las ramas de la investigación se suman a la demanda del tiempo de cálculo.

Los centros de computación de gran volumen son costosos en su creación, mantenimiento y actualización, y sólo un número reducido de ellos es posible. Por el contrario, los centros de tamaño medio se generalizan por toda la geografía europea y del resto de países desarrollados.

Integrando todo lo anterior, se está desarrollando una nueva tecnología que pretende poner a disposición de los investigadores potencias de decenas de miles de procesadores usando los Centros de Computación dispersos por el mundo: las tecnologías GRID. Se trata de poner a punto un hardware y un software que permitan agrupar los recursos de decenas o cientos de centros de computación en cualquier lugar del planeta y ponerlos a disposición del usuario de forma transparente, de modo que sean para él como un solo superordenador.

Para ello hace falta el desarrollo de redes de comunicación más rápidas, software potente para integrar los recursos, sistemas de seguridad infalibles, aplicaciones que puedan ejecutarse en un entorno distribuido, etc. La Comunidad Europea ha apostado fuertemente por estas tecnologías emergentes y pronto podremos ver los primeros resultados obtenidos en la GRID, en temas relacionados con fusión, medicina o bioinformática. ■

### “Para saber más”

#### ENIAC Museum Online:

<http://www.seas.upenn.edu/~museum/>

#### Barcelona Supercomputing Center,

[Centro Nacional de Supercomputación:](http://www.bsc.es)

<http://www.bsc.es>

#### Centro de Supercomputación de Galicia:

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

#### Instituto de Física de Cantabria:

[www.ifca.unican.es](http://www.ifca.unican.es)

#### CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas:

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

#### Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI) de la Universidad de Zaragoza:

<http://bifi.unizar.es>

#### Top 500 Supercomputer Project:

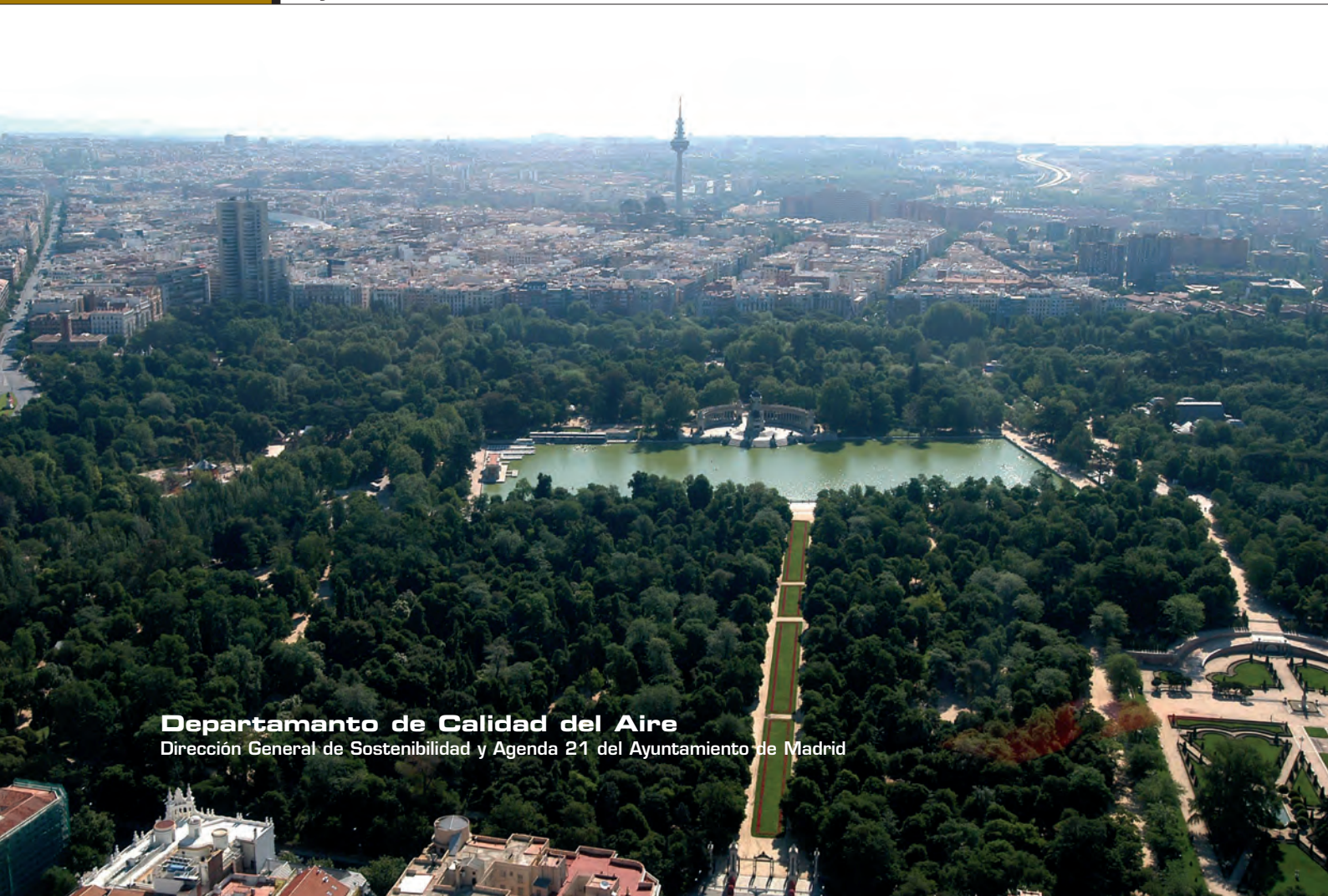
<http://www.top500.org/list/2006/06/100>

#### Enabling Grids for E-science (EGEE) project:

<http://public.eu-egee.org>

#### Interactive European Grid Project:

<http://www.interactive-grid.eu/>



**Departamento de Calidad del Aire**  
Dirección General de Sostenibilidad y Agenda 21 del Ayuntamiento de Madrid

## LA RED DE VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID

Medir para conocer la calidad del aire de la ciudad de Madrid, ése fue el objetivo inicial de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica, creada en los años sesenta por el Ayuntamiento de Madrid junto con el Departamento de Calidad del Aire con el objetivo de dar respuesta a una nueva realidad producida por el crecimiento económico. Un objetivo cumplido que ahora se hace mucho más ambicioso con la aprobación, el pasado febrero, de la Estrategia Local de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid, documento que quizá sea el hito más trascendente en las políticas de lucha contra la contaminación atmosférica impulsadas en la historia reciente de la ciudad de Madrid, e incluso de toda España.

### La historia

El espectacular despegue económico que Madrid experimentó a partir de los años sesenta provocó una sustancial mejora en el nivel de calidad de vida de los madrileños y un notable crecimiento demográfico: en diez años, la población aumentó en casi un millón de habitantes. Este creci-

miento de la población y de la calidad de vida exigió una ampliación de los medios de transporte y una mejora del confort en los hogares, con el inevitable incremento del consumo de combustibles, que no siempre tenían la calidad adecuada. La baja calidad, unida a la falta de control de los vehículos e instalaciones, produjo en esa época un

empeoramiento de los niveles de contaminación atmosférica en la capital.

En realidad, la información que se tenía sobre los niveles de contaminación era muy escasa, por no decir inexistente. Las pérdidas de visibilidad —que, por su distribución temporal y espacial, eran claramente

atribuibles a la contaminación atmosférica- fueron las que, decisivamente, empujaron al Ayuntamiento a iniciar actuaciones para mejorar la calidad del aire en Madrid. En el verano de 1968 se publica la “Primera Ordenanza Reguladora de la Actuación Municipal para combatir en Madrid la contaminación atmosférica” y se crea el “Departamento de Lucha contra la Contaminación Atmosférica” que, tras diversos cambios de nombre, se corresponde con el actual Departamento de Calidad del Aire.

La primera tarea era obvia: conseguir información cuantitativa sobre la situación real de la atmósfera de la ciudad, conocer cuál era el problema, para así poder actuar empleando los recursos disponibles de la mejor manera posible. Para lograrlo, y de forma prácticamente simultánea a la creación del Departamento, se articula la primera Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica en Madrid.

En sus inicios, esta Red era manual, es decir, estaba formada por un conjunto de captadores que recogían muestras para su posterior envío al laboratorio donde, mediante un análisis químico, se determinaban sus niveles de dióxido de azufre y partículas totales en suspensión. Así se logró, ya a mediados de 1970, una Red de Vigilancia manual con cuarenta y ocho puntos fijos de captación de muestras para la determinación de contaminantes.

En su mayoría, las técnicas utilizadas para la medición de los

niveles de contaminación sólo permitían obtener valores medios integrados de veinticuatro horas. Esta peculiaridad presentaba dos limitaciones importantes: por un lado, no permitía conocer los picos puntuales de las concentraciones de contaminantes y, por otro, la información se obtenía con un retraso importante respecto al período en que se daban las situaciones.

### Conexión “en directo”

En 1978 entró en funcionamiento la primera “Red Automática de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica”, una red que constaba, en un principio, de dieciséis estaciones remotas conectadas, a través de la red telefónica, con un centro de proceso de datos donde se controlaba el funcionamiento de la red y se elaboraban, cada media hora, los correspondientes informes sobre las concentraciones de contaminantes detectadas. En todas las estaciones, que tras sucesivas ampliaciones alcanzaron la veintena, se medían en tiempo real el dióxido de azufre y las partículas en suspensión. En cuatro de ellas se medían, además, las concentraciones de monóxido de carbono y ciertos parámetros meteorológicos.

En 1989, debido a los avances tecnológicos y a las exigencias del nuevo marco legislativo, se hizo necesario renovar la red existente: así vio la luz la segunda Red, que inicia la medida sistemática y en tiempo real de óxidos de nitrógeno, ozono e hidrocarburos. Poco después, el Ayuntamiento de Madrid



– Una de las estaciones de la Red

sustituía esta Red por un Sistema Integral que, junto a las tradicionales funciones de vigilancia y control, incluía un sistema de predicción y un amplio dispositivo de información medioambiental.

Aquellas primeras estaciones manuales dieron paso a las veintisiete estaciones remotas “inteligentes” que, con técnicas homologadas, miden hoy la contaminación en distintas zonas del recinto urbano y remiten los datos a una estación central en la que se procesan y almacenan. No todas las estaciones albergan el mismo número de analizadores pero, gracias a la versatilidad del sistema, se puede cambiar la configuración de cualquiera de ellas muy fácilmente. Muchas de las estaciones disponen también de sensores que complementan la información sobre los contaminantes con datos meteorológicos. La Red de Vigilancia existente es, sin duda, una de ⇒

**La primera Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica de Madrid era manual y contaba con cuarenta y ocho puntos fijos de captación de muestras. En 1978, la red se hizo automática, dotada de dieciséis estaciones remotas conectadas con un centro de proceso de datos.**

las más completas instaladas hoy por hoy en una ciudad, con una dotación que supera ampliamente las exigencias establecidas por la legislación.

### El quid de la ubicación

Para la ubicación de las estaciones remotas se tuvieron en cuenta la heterogeneidad del recinto urbano y los datos obtenidos por las primeras redes, buscando el mayor nivel de protección para los ciudadanos. En opinión de muchos expertos, entre ellos los del prestigioso Centro de Investigación de Ispra, de la Unión Europea, esta elección distorsiona al alza los niveles de contaminación atmosférica que se registran en Madrid. Sin embargo hay que tener en cuenta que, en el momento de instalar las primeras redes automáticas, no existía sobre este aspecto un marco normativo tan concreto como el actual.

Desde hace tiempo, se viene considerando la necesidad de abordar una nueva reestructuración de la Red de Vigilancia para adaptarla a los criterios normativos de ubicación de los equipos de medida de los distintos contaminantes, según lo que establecen los correspondientes Reales Decretos.

### Una nueva estructura

Ahora, dentro de la “Estrategia Local de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid”, se va a redefinir la Red de Vigilancia. El excesivo número de estaciones orientadas al tráfico rodado, y la proximidad a vías con una alta densidad circulatoria, hacen que el conjunto de la red no sea representativo de la calidad del aire que se respira en la

ciudad. Esta desviación es más marcada en el caso de los óxidos de nitrógeno y las partículas en suspensión (PM<sub>10</sub>), cuya principal fuente de emisión es, precisamente, el tráfico. Si tenemos en cuenta los criterios de microimplantación descritos por la normativa, la ubicación de las estaciones no es la más adecuada para la medida de todos los contaminantes.

Por todo lo anterior, es fácil deducir que el análisis de los datos correspondientes al conjunto de estaciones que configuran actualmente la Red de Vigilancia puede conducir a la obtención de conclusiones erróneas. Para evitar esta distorsión, la Estrategia Local de Calidad del Aire plantea el diseño de una red específica para cada contaminante, seleccionando un determinado número de puntos de muestreo que se puedan considerar suficientemente representativos de la calidad del aire para ese contaminante concreto. Una vez establecidas estas redes específicas, la información que suministren constituirá la base para cualquier actuación, divulgativa o de otro tipo.

La creación de estas redes no implica la desaparición de las estaciones o de los analizadores no incluidos en ellas: todas las estaciones actuales se mantienen activas para poder analizar evoluciones históricas. A lo largo del tiempo, la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid ha funcionado correctamente en todo momento. No obstante, para una mayor garantía, el control de los técnicos del Departamento de Calidad del Aire se complementa con auditorías externas



→ Panel del centro de control de la Red

sobre el funcionamiento de la Red, que permitan verificar los datos obtenidos.

Con las limitaciones tecnológicas de cada época, en todos sus años de existencia, la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica ha cumplido satisfactoriamente con lo que se le exigía: aplicar las técnicas de medida para conocer en cada momento la calidad del aire de Madrid.

### Actualización continua

Esta Red de Vigilancia es, por tanto, un sistema que se mantiene en continua evolución, que debe integrar las posibilidades que los avances tecnológicos van ofreciendo, que se debe adaptar a las reformas legislativas y a los cambios de la propia ciudad. Todo ello, sin renunciar a su pasado: manteniendo vivas las series históricas que, desde 1999, dan a conocer la evolución de la calidad del aire de la ciudad. Y esta evolución sólo es posible a través de un equilibrio delicado que requiere no sólo de recursos, sino de profesionales preparados para hacer posible el cambio. ■

**Aquellas primeras estaciones manuales dieron paso a las actuales estaciones remotas inteligentes, que miden la contaminación y remiten los datos a una estación central que los procesa y almacena.**

**Luis Delgado**

Físico Ambiental. Subdirector General de SIR, S.A.

## CALIDAD EN LAS REDES DE LA CALIDAD DEL AIRE

Todavía recuerdo cuando, en 1992 y dentro del Grupo de Trabajo de Contaminación Atmosférica del I Congreso Nacional de Medio Ambiente, pude escuchar a uno de los ponentes demandar la definición de algún tipo de normas y/o protocolos de actuación, para garantizar tanto la calidad, como la validez de los datos generados por los analizadores de gases y partículas que formaban parte de las primeras Redes Automáticas de Vigilancia de la Calidad del Aire.

**No pasó mucho más tiempo cuando, desde el antiguo MOPTMA y actual Ministerio de Medio Ambiente, se presentaron en uno de los primeros Seminarios de la Calidad del Aire de España los procedimientos de Validación de Datos e Intercambio de Información. Sin embargo, han tenido que pasar muchos años hasta que el concepto de calidad, tanto de las redes de vigilancia como de los datos que estas generan, se hayan convertido en el principal foco de trabajo donde los responsables de las distintas Administraciones Públicas y Privadas centran su mayor esfuerzo y dedicación.**

Una vez establecidos y definidos los criterios de validación y formatos para el intercambio de información, así como los criterios de ubicación que debe cumplir cada estación de medida, sólo quedaban por establecer los criterios de calidad que han de regir la explotación y mantenimiento de todas estas redes de vigilancia.

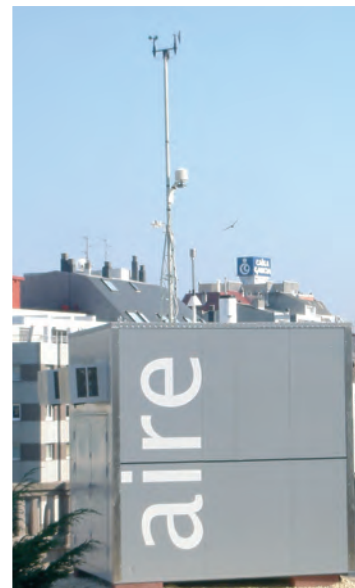
En primer lugar, se comenzó a demandar que las empresas mantenedoras de este tipo de redes de vigilancia de la calidad del aire dispusieran de un Sistema de Aseguramiento de la Cali-

dad, conforme a las Normas ISO 9001 y certificado por alguna entidad acreditada. Estos Sistemas han sido el primer paso para establecer procedimientos en las actuaciones que se realizan sobre los distintos equipos. Pero con el paso de años se identificó que no era suficiente, ya que los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad reflejan la forma de actuar de la empresa mantenedora, pero no evalúan si esa manera es o no correcta.

Para evitar este hecho y garantizar que la forma de actuar es la correcta, los responsables de algunas de las redes optan actualmente por disponer de su propio Sistema de Aseguramiento de la Calidad, específico para su red de vigilancia e independiente de la empresa externa que en ese momento esté realizando las tareas de mantenimiento.

Una vez resuelto este aspecto, el siguiente campo de batalla para la mejora de la calidad de los datos se centró en las calibraciones de estos analizadores, ya que esta actividad, al ser la más crítica en la explotación y mantenimiento de una red, ha de estar sujeta a estrictos controles y normas de opera- ⇨





ción y, sobre todo, debe garantizar la homogeneidad de las calibraciones a lo largo de la vida de un analizador.

Por este motivo, y desde hace varios años, algunas de las empresas con mayor experiencia en este sector han optado por acreditarse ante ENAC, conforme a la Norma 17025, como Laboratorio de Calibración de los Analizadores de Gases. De este modo, una de las tareas más críticas en el mantenimiento de este tipo de redes de vigilancia se realiza conforme a la norma y con gases patrón de referencia.

Por tanto, las Redes de Vigilancia que actualmente se focalizan en la mejora de la calidad de los datos que generan sus analizadores disponen, al menos, de las siguientes herramientas que les permiten supervisar y mejorar la calidad de su Red:

- Un sistema propio de aseguramiento de la calidad, conforme a la Norma ISO 9001, independiente de la empresa mantenedora que en ese momento esté realizando los trabajos y específico para el mantenimiento y explotación de los analizadores que forman parte de sus redes de vigilancia de la calidad del aire.

- Calibraciones periódicas de sus equipos, con empresas específicamente acreditadas ENAC 17025 para calibrar estos analizadores de gases en los rangos de medida de las concentraciones que usualmente se dan en aire ambiente.

Pero, sin duda, uno de los acontecimientos que seguramente mejorará la calidad de las redes de vigilancia se producirá cuando entre en vigor la nueva Directiva de Calidad del Aire, que incluirá, entre

otros aspectos, la necesidad de que todos los analizadores de medida dispongan de su correspondiente "Aprobación de Tipo".

Los últimos borradores de la directiva pendiente de aprobación reflejan un periodo de carencia limitado donde, a partir de la finalización de ese periodo, sólo podrán continuar operativos en las Redes de Vigilancia los analizadores que dispongan de tal acreditación.

Las pruebas a realizar sobre los analizadores candidatos a obtener la Aprobación de Tipo las han de llevar a cabo los organismos (Laboratorios de Ensayo) designados por las autoridades nacionales competentes. En el caso de España, sería el Centro Español de Metrología o algún otro organismo designado por éste. Estos Laboratorios designados tienen

**Uno de los acontecimientos que mejorará la calidad de las redes de vigilancia será la entrada en vigor de la Nueva Directiva de la Calidad del Aire.**



que demostrar su competencia técnica mediante la acreditación ENAC que les habilite para poder ejecutar dichos ensayos, realizando la gestión de los mismos conforme a la norma ISO 17025.

Actualmente, el Centro español de Metrología no está centrado en las magnitudes de medida relacionadas con la Química; por tanto, se designará a alguna otra entidad ligada a la Administración, para que realice los test de equivalencia a los fabricantes sobre sus analizadores. Por otro lado, la no designación en breve de estas entidades, y su iniciación y adaptación para realizar este tipo de ensayos de "Aprobación de Tipo", puede ser uno de los motivos para retrasar la aplicación de los nuevos requisitos de calidad,

que regirán sobre los analizadores que formarán parte de las redes de vigilancia en un futuro.

Los métodos de referencia, es decir, los principios o métodos de medida publicados recientemente son:

- SO<sub>2</sub>. Fluorescencia Ultravioleta. (EN 14212:2005)
- NO<sub>x</sub>. Quimiluminiscencia. (EN 14211:2005)
- CO. Infrarrojo no dispersivo. (EN 14626:2005)
- O<sub>3</sub>. Fotometría Ultravioleta. (EN 14625:2005)
- PM<sub>10</sub>. Gravimetría. (UNE EN 12341:1999)
- Benceno (EN 14662:2005)

Respecto a estas normas se puede resaltar que, a fecha de hoy y a falta de aprobación de la nueva

Directiva de Calidad del Aire, todas ellas son de carácter voluntario. Lo que sí es evidente es que los responsables de las Redes de Vigilancia, poco a poco y en breve, comenzarán a reclamar dicha homologación. ■



**Los responsables de algunas redes optan por disponer de su propio Sistema de Aseguramiento de la Calidad, independiente de la empresa externa que realiza las tareas de mantenimiento.**

**Isabel Narváez Gallardo**

Ingeniera Química

Jefe de Proyecto de la Fundación OPTI



→ © Oceana. Juan Cuetos



→ © Oceana. Juan Cuetos

## TECNOLOGÍAS DE OBSERVACIÓN Y CONTROL DEL MEDIO MARINO

Es opinión generalizada que el medio marino es un recurso esencial en nuestro planeta que debemos proteger, mejorando la gestión y uso de los mares y océanos. Para ello es imprescindible contar con un sistema eficaz de observación a nivel mundial pues, si existe un medio donde la palabra globalización en materia de observación e información cobra todo su sentido, este medio es el medio marino.

A lo largo de la historia de la Humanidad, el océano ha generado una gran atracción e intriga en el ser humano, aparte de la más que obvia y evidente dependencia.

Derivado de ello, desde el siglo XIX se cuenta con información procedente de mediciones y observaciones realizadas siempre con el objetivo de caracterizar y entender los fenómenos, mecanismos y demás procesos que rigen su funcionamiento. El poco rigor de dichas observaciones iniciales se mejoró de manera significativa a partir de mediados del siglo pasado y, en mayor medida, en sus dos últimas

décadas con motivo del crucial avance tecnológico en los sistemas de comunicación, la microelectrónica y la informática.

La preocupación creciente que viene mostrando la sociedad en las últimas décadas por preservar el medio ambiente tiene como fin garantizar unas condiciones óptimas de habitabilidad y sustentabilidad a nivel global. En esta línea, el interés e importancia que representa el recurso “medio ambiente marino” hoy día en nuestra sociedad, hace imperativa una caracterización rigurosa de su estado, bajo una no menos estricta coordi-

nación y significativo aporte de medios e infraestructuras a nivel internacional, por parte de las instituciones gubernamentales y demás autoridades competentes.

Si además, se tiene en cuenta que una proporción significativa de la actividad económica mundial depende del uso racional del medio marino, y que las previsiones actuales apuntan a que, en el año 2020, un 75% de la población mundial vivirá dentro de los primeros 60 Km. que bordean las costas de los mares y sistemas estuarios, es fácil comprender la importancia del uso sostenible de dicho medio.

En este contexto, España se encuentra inmersa en una fase de desarrollo y adaptación. A pesar de ser un país con una ubicación geo-



→ © Oceana. Juan Cuetos

gráfica estratégica y tener una gran zona costera, no se le ha concedido un soporte significativo al sector de las tecnologías del medio marino, en lo que a desarrollo tecnológico se refiere. No obstante, existe un importante potencial investigador, y la participación de grupos de investigación españoles en proyectos relacionados con las tecnologías de observación del medio marino es cada vez mayor.

Conscientes de la ausencia de una visión integradora que analice los retos científico-tecnológicos relacionados con todo el amplio abanico de las tecnologías de observación y control del medio marino, la Fundación OPTI, junto con el Instituto Canario de Ciencias Marinas, puso en marcha un estu-

dio de prospectiva para identificar y valorar las tendencias de investigación y los desarrollos tecnológicos dentro de este ámbito.

Los resultados del estudio pusieron de manifiesto la necesidad de focalizar los esfuerzos de investigación y desarrollo en cuatro grandes áreas: sensórica, sistemas de medida y modelos de simulación, tecnologías de observación y control del impacto ambiental, y por último, sistemas de gestión de la información.

#### Sensórica

En líneas generales, en este ámbito se detectó una necesidad de desarrollo de nuevos equipos que lleven a cabo mediciones continuas y autónomas para observatorios remotos, de forma que se pueda abordar un rango mucho más amplio de mediciones.

En concreto, existe un gran interés entre los especialistas del sector por el desarrollo de biosensores para la medición multiparamétrica en continuo. El futuro apunta a la combinación de sondas moleculares con sistemas ópticos y acústicos, para poder cubrir con un mismo sensor un rango amplio de escalas, de forma que sea posible la identificación de niveles de distintas especies subacuáticas.

Los últimos avances a nivel internacional han dado como resultado un geo-sensor microbiano autónomo que, mediante técnicas de amplificación de secuencias de ácidos nucleicos y un procesador de muestras, que aumenta la con-

centración de microorganismos en la muestra y automatiza la aplicación de sondas moleculares de ADN, identifica y cuantifica especies o proteínas superficiales.

Asimismo, y dentro del ámbito de los sensores acústicos, se detecta una necesidad de mejorar los actuales equipos de escaneo sonar, para que puedan generar y transmitir información en tiempo real. La comunidad científica pone sus expectativas en los sistemas perfiladores Multifrecuencia (MAPS) y ecosonda multihaz, junto con el desarrollo de sistemas de sonar modulares e intercambiables, que integren diferentes frecuencias. De acuerdo con los resultados del estudio, estos equipos permitirán, a corto plazo, la incorporación y análisis de datos acústicos multifrecuencia en tiempo real.

#### Sistemas de medida y modelos de simulación

El desarrollo de sistemas de medida capaces de evaluar un gran número de variables y de gestionar esta información también en tiempo real, como herramienta para impulsar el desarrollo de modelos numéricos más ajustados a la realidad, constituye uno de los grandes retos con los que se enfrentan las tecnologías de observación del medio marino. En este caso, los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que España cuenta con capacidad tecnológica para el desarrollo de este tipo de dispositivos y modelos, por lo que los expertos que participaron en el estudio consideraron imprescindible impulsar estos desarrollos a nivel nacional. ⇒

**Hacia 2020, se prevé que un 75% de la población mundial vivirá dentro de los primeros 60 Km que bordean las costas.**



→ © Oceana. Ann Copton

En relación con los sistemas de medida, los resultados del estudio revelan que, a corto plazo, se debería potenciar el uso de boyas derivantes en España, como sistemas de monitorización que permitan el estudio del comportamiento del medio marino a largo plazo, comparando las interacciones entre las variables atmosférica y marinas. A nivel internacional, existe un gran número de programas que utilizan boyas derivantes no ancladas como aparatos de medida, poniendo de manifiesto la importancia que este tipo de dispositivos tiene para el sector.

A pesar de que España participa en alguno de estos proyectos, los especialistas que han trabajado en el estudio opinan que la utili-

zación de estos dispositivos en nuestro país es aún muy escasa. Lógicamente, para conseguir que esta tendencia despegue, es imprescindible potenciar la creación de redes a nivel nacional y la participación de grupos nacionales en redes internacionales.

Más a medio plazo (entre el 2010 y el 2015), se espera que se generalice la utilización de vehículos autónomos que puedan operar de manera independiente (sin ningún tipo de conexión física con la superficie del barco) en un rango de profundidades amplio durante largos periodos de tiempo. Las tendencias actuales apuntan hacia una demanda creciente de las prestaciones de este tipo de vehículos, que verán cómo se incrementa el número de dispositivos incorporados en ellos de forma que les permitan estudiar aspectos del medio cada vez más específicos. Hablamos de aparatos que pueden incorporar, además de la instrumentación habitual, dispositivos para realizar mediciones muy específicas en el medio (sensores para isótopos concretos, etc.). Asimismo se prevé que, en el mismo horizonte temporal, estos vehículos incorporen sistemas de control y respuesta automática ante posibles variaciones que puedan producirse en el medio en el que operan. Dichos sistemas requerirán avanzados modelos de simulación, combinados con herramientas de inteligencia artificial.

Siguiendo con los modelos de simulación, se espera que los avances en las técnicas computacionales mejoren de forma significativa los actuales modelos para la simulación del comportamiento físico, geo-químico y biológico de los contaminantes vertidos al medio marino. En este campo, la computación en paralelo se perf-

la como la gran promesa para poder perfeccionar dichos modelos, ya que su estructura se asemeja mucho más al funcionamiento del cerebro humano, por lo que permite realizar un número mayor de operaciones de forma simultánea (no secuencial).

### Tecnologías de observación y control del impacto ambiental

Hablamos, en este caso, de todas aquellas tecnologías que permitan minimizar y monitorizar el impacto medioambiental de las actividades humanas sobre el medio marino (acuicultura, transporte marítimo, pesca, etc.), así como actuar en el caso de vertidos de sustancias peligrosas.

En este campo, los resultados obtenidos reflejan la importancia de los avances encaminados a poner en marcha nuevas tecnologías para el tratamiento y monitorización de las aguas de lastre, dado el aumento del tráfico marítimo que se viene produciendo en los últimos años a nivel nacional. Las opciones que se están manejando, a nivel internacional, para mejorar las actuales tecnologías para el tratamiento de este tipo de aguas, incluyen técnicas como el tratamiento mecánico (filtración y



→ © Oceana.



– © Oceana. Juan Cuetos

separación), tratamientos basados en métodos físicos (esterilización por ozono, luz ultravioleta, corrientes eléctricas y tratamientos térmicos), tratamientos químicos (agentes biológicos que acaben con los organismos) e incluso una combinación de todas ellas.

El problema principal que supone la aplicación de estas tecnologías (actualmente desarrolladas) al medio marino reside en el escalado de las mismas a los volúmenes de trabajo que se requieren. Asimismo, la comunidad científica se enfrenta con una ausencia de estándares de evaluación de las nuevas opciones tecnológicas que aparecen, aspecto que podría retrasar considerablemente su implantación generalizada.

A corto plazo (antes de 2010), se considera importante el establecimiento de unos indicadores de impacto de las actividades humanas en el medio marino, como herramienta para mejorar las actuaciones de monitorización y gestión del medio.

### Sistemas de gestión de la información

La puesta en marcha de unos sistemas de control y monitorización del medio marino como los descritos anteriormente hacen imprescindible contar con unos sistemas

de gestión de toda la información generada eficientes, que sean capaces de integrar los datos procedentes de distintas fuentes. Para poder hacer de esta tendencia una realidad, será necesario que se produzca una homologación de los formatos actuales y que se creen muchas más redes de cooperación internacionales.

En este campo, se considera de especial importancia la adopción de formatos estructurados para datos y metadatos, con el fin de poder mejorar la gestión y el intercambio de información sobre el medioambiente marino. Se prevé que este tipo de formatos se implanten antes de 2010 de forma generalizada en España, lo que da una idea de que partimos de una situación favorable en esta área a nivel nacional.

No hay que olvidar, no obstante, que la gran resistencia que existe en España para compartir la información puede constituir una barrera casi insalvable que frene la adopción de estos formatos. Se debería tomar ejemplo de países como Inglaterra e Irlanda, en los que existen agencias que se dedican a recopilar los datos existentes, estructurarlos y distribuirlos entre las empresas que los solicitan. Ante esta situación, los expertos que han participado en el estudio proponen, como medida para impulsar esta tendencia, la instauración de una oficina española de gestión de datos que se dedique a la creación de protocolos de cesión de los mismos y a hacer que dichos protocolos se cumplan.

Como reflexión final, merece la pena comentar que en los resultados del estudio se detecta (en relación con todas las tendencias identificadas) que España, pese a ser un país eminentemente costero, tiene aún mucho camino por recorrer en



– © Oceana. Juan Cuetos

este sector. Y sobre todo en lo que a capacidad empresarial para absorber nuevas tecnologías se refiere. Pese a contar con unos excelentes investigadores, en la mayoría de los casos son empresas extranjeras las que se encargan de desarrollar y comercializar estos conocimientos. Por ello, son varios los retos a los que nos debemos enfrentar desde nuestro país para poder llevar a cabo una gestión eficiente y mejorar nuestra situación en los mercados internacionales: por un lado, fomentar la innovación y la investigación en estos campos, vertebrar redes de excelencia entre investigadores y empresas, enfocados a afrontar proyectos encaminados a la creación de productos concretos, aumentar la especialización y la formación en este campo y, por último, detectar las oportunidades y necesidades del mercado para poner en funcionamiento acciones de marketing que ayuden a la comercialización de estos nuevos productos. ■

CUMBRE DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

# CONAMA

# 8



Congreso Nacional  
del Medio Ambiente

Del 27 de noviembre al  
1 de diciembre de 2006

MADRID Palacio Municipal de  
Congresos del Campo de las Naciones



Todos tenemos una cita con el  
**Medio Ambiente**

[www.conama8.org](http://www.conama8.org)

– Imagen. Museo de la Ciencia CosmoCaixa Madrid



## LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, UNA PRIORIDAD PARA EL COFIS

**Con el objetivo de reforzar la enseñanza de la Física, así como de fomentar el interés por las ciencias y asegurar la actualización continua de las metodologías y herramientas educativas, en 2006 el Colegio de Físicos participa de forma activa en dos iniciativas relacionadas con la enseñanza de las ciencias.**

Bajo el título “Ciencia en el mundo contemporáneo: un nuevo reto en el currículo de ciencias en secundaria”, se celebran en Madrid las II Jornadas de la Enseñanza de las Ciencias, organizadas conjuntamente por el COFIS, el Consejo General de Colegios Oficiales de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencia, la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT) y CosmoCaixa Madrid, Museo de la Ciencia de la Obra Social de “la Caixa”. El evento tendrá lugar los días 24 y 25 de noviembre de 2006, y en él se abordará la aportación de la ciencia a la cultura de los ciudadanos, contando para ello con la participación de ponentes de todo el país para facilitar el intercambio de nuevas propuestas didácticas y experiencias innovadoras.

Del mismo modo, el COFIS se ha sumado por primera vez a la XXVI edición de la Universidad de Otoño, que este año tenía como lema “Otro mundo es posible. La Educación es la clave”. Organizada por el Colegio Oficial de Doctores y Licenciados de la Comunidad de Madrid, el Colegio Oficial de Físicos ha colaborado, junto con el Colegio Oficial de Químicos de la Comunidad de Madrid, en el curso “Didáctica de las Ciencias”. Impartido en la Universidad Complutense de Madrid del 25 al 29 de septiembre, el curso desarrolló, entre otros aspectos, la actualización en didáctica de las ciencias, las repercusiones de la nueva reforma educativa y algunas ideas innovadoras para mejorar el aprendizaje de las ciencias.



**www.Fys.es, el portal de la Física en España**  
(página 48)



**Antonio Fernández-Rañada, Presidente de la Real Sociedad Española de Física** (página 55)



**El compromiso del COFIS con la Meteorología** (página 48)



**Octavo Congreso Nacional del Medio Ambiente, CONAMA 8**  
(página 52)



## EL COMPROMISO DEL COLEGIO DE FÍSICOS CON LA FORMACIÓN EN METEOROLOGÍA

La Meteorología es una de las especialidades más valoradas por los físicos y, sin embargo, su oferta formativa no es tan amplia como para satisfacer a los que quieren mantener sus conocimientos actualizados.

El Colegio de Físicos, consciente de esta situación, viene organizando desde hace ya seis años un curso de Formación al Profesorado en el Área de Meteorología. Para ello, ha unido esfuerzos con el Instituto Nacional de Meteorología y presenta la que ya es la sexta edición de una actividad consolidada cuya demanda sigue superando las expectativas año tras año.

En 2006, el curso se ofrece del 21 al 29 de octubre en la sede del Instituto Nacional de Meteorología, y se ha estructurado en tres áreas temáticas: los fundamentos de la Meteorología, las escalas y los sistemas meteorológicos, la predicción del tiempo y los temas de impacto social -como el cambio climático, el fenómeno El Niño o el efecto invernadero-. El temario se completa con recursos para los profesores y una conferencia académica sobre la Historia de la Meteorología. Todo ello en un curso que, en su última edición, obtuvo una excelente valoración por parte de los asistentes.

## Guadalupe Delgado Redondo

# www.FyS.es, el portal de la Física en España

Conjuga las cuestiones maravillosas de la Física, pero sin perder de vista las experiencias cotidianas observables en la sociedad y que, en ocasiones, ésta ignora como propias. Así es [www.fys.es](http://www.fys.es), una combinación de teoría y práctica, repleta de conocimientos que reflejan al unísono la simpleza y complejidad que conforma el entramado de nuestra existencia. Todo ello con un único objetivo: que la sociedad conozca más y mejor el contexto físico de nuestro transcurrir diario.

Con esta finalidad divulgativa, desde el pasado mes de enero el portal de la Física en España, gestionado por el Colegio de Físicos, dio comienzo su andadura amparado por el gran logro alcanzado por la experiencia de divulgación durante el Año Mundial de la Física 2005. No obstante, al hablar de los inicios de su formación hay que remontarse a la existencia de los portales [www.FisicaySociedad.es](http://www.FisicaySociedad.es) y [www.Fisica2005.org](http://www.Fisica2005.org); dos espacios cibernéticos gestionados por el COFIS, en exclusiva o en colaboración con otras instituciones, activos hasta finales del pasado año y que suponen la base de este nuevo reto.

No en vano, y gracias al impulso de la Física establecido por ambos precedentes, [FyS.es](http://www.fys.es) cuenta con la colaboración de un amplio número de instituciones, asociaciones y empresas, así como universidades, museos, colegios profesionales y centros de investigación que han apostado por este nuevo espacio. Se trata ya de cerca de setecientas cincuenta instituciones conscientes del valor de esta ciencia para el desarrollo social.

### La Física en la red

Gran parte de su éxito radica en su fácil manejo. Para ello, el portal dispone de herramientas que facilitan, de una for-

**Suscríbete al boletín electrónico gratuito de [www.FyS.es](http://www.FyS.es) y recibe cada semana las últimas noticias y actividades del mundo de la Física**

## En [www.fys.es](http://www.fys.es) confluyen usuarios de muy diversos perfiles. Su interés por conocer las últimas novedades de la Física evidencia la importancia de esta disciplina en la sociedad.

ma muy práctica, la navegación por la página. Mediante el uso de un sencillo buscador es posible localizar cualquiera de los eventos recogidos en la página, ya sea a través de su fecha de realización o de la Comunidad Autónoma donde se va a celebrar. La constante actualización de noticias científicas y la introducción de los eventos más relevantes ayudan a los visitantes a estar diariamente informados. Con esta misma intención también se crean, en determinados periodos del año, nuevas secciones que ponen el acento en ofertas específicas, como el exitoso espacio dedicado a los cursos de verano.

Por otro lado, en la sección de Opiniones quedan recogidas las reflexiones de expertos que realizan críticas de las últimas investigaciones y los hechos científicos más notorios, dedicando también atención a las distintas salidas profesionales de los físicos. Además, el portal muestra una larga lista de publicaciones, y más de cien enlaces, oficiales y oficiosos, a otras páginas de divulgación científica.

La confluencia de este contenido en un mismo espacio ha hecho que el portal se esté convirtiendo en un punto de referencia para los amantes de la Física. Así lo ponen de manifiesto los datos



estadísticos: durante sus primeros ocho meses de existencia, han visitado el portal más de 64.000 personas. A este dato hay que sumar los cerca de 3.000 suscriptores que cada semana reciben el boletín electrónico, una iniciativa gratuita que informa de las últimas novedades

del portal. Y es que en [Fys.es](http://Fys.es) confluyen cada vez más usuarios de diversos perfiles interesados en conocer las últimas novedades de la Física, una realidad que evidencia la importancia de esta disciplina en la sociedad y su enorme influencia en las demás ciencias. ■



### Ignacio Cirac, Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2006

El español Juan Ignacio Cirac se ha convertido en el más joven de los científicos galardonados con el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica. Director del Departamento de Óptica Cuántica del Insituto Max Planck de Alemania, es uno de los científicos más importantes en el campo de la teoría cuántica de la información y de aspectos de la óptica cuántica y la física atómica. El jurado le concedió el galardón por "su liderazgo mundial en la propuesta y desarrollo de la informática cuántica, una nueva ciencia del s. XXI que surge de combinar dos de las creaciones más notables de la ciencia del XX". Es por ello que el Colegio Oficial de Físicos quiere felicitar al galardonado, que colaboró en el último número de esta revista con el artículo *Tecnología de la información cuántica*. La última frontera de la informática, firmado junto con su compañero Juan José García Ripoll.

**Marta Izquierdo Barrado**

Imagen: José Luis Martínez



**La energía y la sostenibilidad serán** los dos grandes temas de la sexta edición de la Semana de la Ciencia de Madrid. Fiel a su cita con la divulgación científica, el Colegio Oficial de Físicos, acompañado de la Real Sociedad Española de Física, pondrá de relieve el papel de los físicos en el actual reto energético. Y lo hará el 8 de noviembre a través de una mesa redonda que reunirá, en la Facultad de Física de la Universidad Complutense de Madrid, a distintos físicos que vienen desarrollando su carrera en este campo. De este modo, con la mesa redonda “Los físicos ante el reto de la energía”, los asistentes al acto obtendrán una visión del panorama energético y, como valor añadido, los estudiantes conocerán de primera mano las salidas profesionales que éste les ofrece.

## NOVIEMBRE, MES DE LA ENERGÍA EN EL COLEGIO OFICIAL DE FÍSICOS

Con distintas iniciativas relacionadas con el sector energético, el Colegio de Físicos ha decidido dedicar el mes de noviembre a la energía. Entre las propuestas planteadas destaca su participación en dos de los acontecimientos más destacados del otoño madrileño: la VI Semana de la Ciencia de Madrid y el octavo Congreso Nacional de Medio Ambiente, CONAMA 8.

Por otra parte, y dentro de CONAMA 8, Cumbre del Desarrollo Sostenible, el COFIS une esfuerzos con ACCIONA para organizar la actividad especial “Las energías renovables en 2025. Situación actual, escenarios de futuro y retos”. El 30 de noviembre será el día de las energías renovables en CONAMA 8, toda

una jornada de debate sobre el desafío de las energías renovables para el siglo XXI. El programa destaca por la participación de algunas de las personalidades más relevantes en este campo, y contempla distintos temas como el marco normativo, el reto de las renovables o las tendencias de futuro.

## EL COLEGIO OFICIAL DE FÍSICOS EN CONAMA 8

El COFIS tendrá, como cada año, un importante papel en la celebración del Congreso Nacional de Medio Ambiente. En concreto, en esta octava edición participará con las siguientes actividades:

- Grupos de trabajo
  - Residuos radiactivos.
  - Contaminación atmosférica.
  - Contaminación acústica.
- Mesas redondas
  - Energía nuclear a debate.
- Jornada técnica
  - Gestión del conocimiento para el desarrollo sostenible.
- Actividades especiales
  - Las energías renovables en 2025.
  - Situación actual, escenarios de futuro y retos.
  - Los retos de la I+D en España.

## PUBLICACIONES DEL COLEGIO OFICIAL DE FÍSICOS

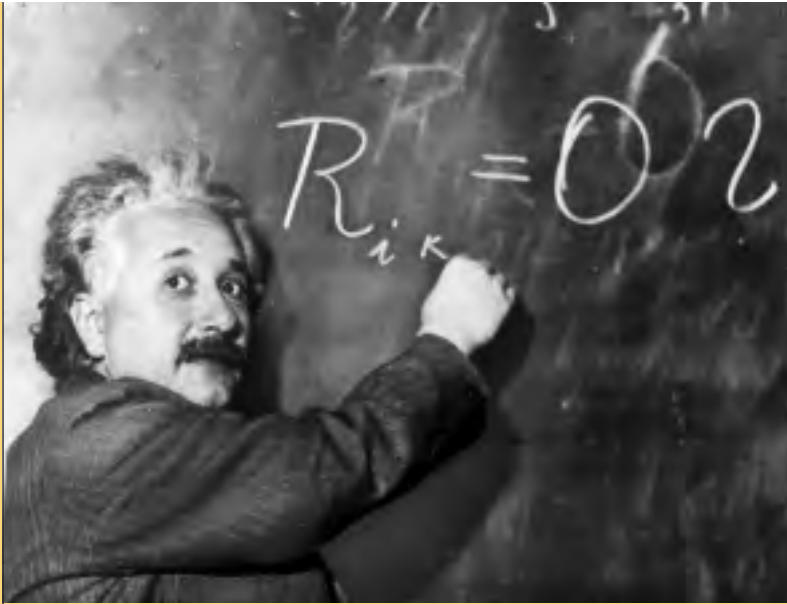
En 2006, el COFIS ha lanzado distintas publicaciones que, si bien cuentan con el denominador común de la promoción de la Física, responden a fines y temáticas muy distintas. Estas publicaciones se encuentran disponibles a través de la web [www.cofis.es](http://www.cofis.es).

El Año Mundial de la Física dejó a sus espaldas una intensa actividad divulgativa. Sus eventos y actividades quedaron recogidos en el portal [Fisica2005.org](http://Fisica2005.org) que, al finalizar el 2005, se configuró como reflejo de esta conmemoración en España. El COFIS quiso plasmar este esfuerzo colectivo publicando un dossier donde, si bien no era posible recopilar la

totalidad de las iniciativas, sí se consiguió dar una visión de los logros alcanzados.

El Colegio también ha editado su **Libro de Peritos Físicos**, una publicación anual de expertos para los partidos judiciales de las Comunidades Autónomas. Se trata de un listado de colegiados interesados en realizar

peritajes judiciales en los Tribunales de Justicia, una labor cada vez más valorada. Y otra de las publicaciones de 2006 ha sido “Aportaciones de la Física a la Medicina”. Al igual que el evento homónimo que motivó este libro, su finalidad es tanto divulgativa como de reconocimiento a los profesionales que hacen posible la relación entre ambas ciencias.



## II Curso “Científicos, una Historia verdadera. Un paseo de la Historia de la Ciencia”.

Por segundo año consecutivo, el Colegio de Físicos organiza, en colaboración con la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, este curso de formación al profesorado que se celebrará del 13 al 22 de noviembre en la Facultad de Física de la Universidad Complutense de Madrid.

Dirigido a profesores de Educación Secundaria y Bachillerato, este curso forma parte del Plan de Formación del Profesorado 2006, y su realización conlleva la obtención de tres créditos otorgados por la Comunidad de Madrid. Se trata de la segunda edición de una iniciativa que el pasado año se saldó con un gran éxito de asistencia y obtuvo una excelente valoración por parte de los alumnos.

El objetivo del curso será proporcio-

nar una visión de cómo se realiza el descubrimiento científico y de cómo ha ido avanzando la Historia de la Ciencia, siempre desde el estudio de la vida de sus protagonistas. Así, con epígrafes tan sugerentes como ‘Curie, mártires de la radiactividad’, ‘Planck, el desgraciado’ o ‘el silencioso Paul Dirac’, los asistentes al curso podrán repasar el desarrollo de los descubrimientos científicos y, al tiempo, conocerán un poco más de cerca la vida y cotidianidad de los más ilustres físicos de la Historia.

## LA ACTIVIDAD DEL COFIS DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DE 2006

**Durante el primer semestre de 2006, el COFIS participó en distintos cursos, congresos y ferias de ciencia con los que, en solitario o junto a otras instituciones, ha consolidado iniciativas de años anteriores, abierto nuevas vías de colaboración y llegado a nuevos públicos.**

Uno de los cursos más exitosos, ‘Contaminación atmosférica: vigilancia y control’, se desarrolló en mayo y junio, en Bilbao. Además, en Madrid se celebraron el curso ‘Evaluación de la exposición al ruido’ y la VII Feria Madrid por la Ciencia, en la que el Colegio compartió stand con la Unión Interprofesional de la Comunidad de Madrid.

En 2006, el COFIS también se ha

embarcado en nuevas colaboraciones, como el IV Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental –celebrado en Cáceres–, o el encuentro ‘Tiempo de Física’, en Valladolid; y ha consolidado vínculos ya existentes, apoyando la III Reunión de la Red Española de Nanotecnología y ampliando el ciclo de conferencias ‘Encuentros con la Ciencia’, organizado por la delegación del Colegio en Aragón.

## El físico Carlos Alejaldre, nombrado director general adjunto del Proyecto de Fusión Nuclear ITER.

El proyecto ITER pretende demostrar la viabilidad científico-tecnológica de la fusión nuclear como fuente energética. El proyecto ha desplegado una red de cooperación internacional sin precedentes en la que Carlos Alejaldre, hasta ahora Director General de Política Tecnológica, ha sido designado Director General Adjunto en representación de la Unión Europea.

El ITER, en marcha desde 1985, construirá una máquina experimental de fusión por confinamiento magnético, la mayor hasta la fecha, que integrará un dispositivo capaz de generar hasta 500 MW de potencia de fusión. Tras decidir, en 2005, que la instalación francesa de Cadarache albergaría el proyecto, las delegaciones de los países promotores - Japón, China, India, Corea, Rusia, EEUU y Unión Europea - han nombrado a sus distintos representantes.

Carlos Alejaldre, colaborador en las dos últimas ediciones de esta revista, trabajará en nombre de la UE como Director General de Seguridad del proyecto. Alejaldre (Zaragoza, 1952), que ha participado en algunos de los más importantes proyectos europeos de fusión, fue Director del Laboratorio Nacional de Fusión por Confinamiento Magnético (CIEMAT) y de ITER España, y desde 2004 había ocupado el puesto de Director General de Política Tecnológica, que ahora deja para centrarse en este proyecto.

## Entrevista con Leonardo Villena

**Marta Izquierdo Barrado**

Periodista

Colegio Oficial de Físicos



### “EL FUTURO DE UN PAÍS DEPENDE NO SÓLO DE LA TECNOLOGÍA, SINO DE QUE LAS MENTES ESTÉN PREPARADAS”

Leonardo Villena es físico desde 1942 y Presidente de Honor del Colegio Oficial de Físicos desde su creación, hace ya 30 años. Esta institución, que nació gracias a sus esfuerzos, celebra en 2006 sus tres décadas promoviendo la figura del físico, y hoy le rinde homenaje recordando no sólo algunos de los hitos de su carrera, sino también los inicios de la Licenciatura en Ciencias Físicas y su papel en la creación del colectivo profesional al que ha dado lugar en España.

Nacido en Casa de Ves, Albacete, Villena ha podido contar entre sus amigos a físicos de la talla de Julio Palacios o Armando Durán. Y es que fue su amor por la Física lo que le llevó a crear la Asociación de Físicos de España (ANFE), una iniciativa que puso en marcha para mejorar la cohesión profesional y su reconocimiento social.

Desde la ANFE Leonardo Villena trabajó para mejorar los estudios de Física, que por aquel entonces tenían un primer ciclo común con las otras carreras de ciencias y sólo dos años de dedicación a la Física en sí. Como él mismo explica, “nosotros queríamos que los físicos, desde un principio, tuvieran un plan de estudios enfocado a lo

*que tenían que hacer después. Fue entonces cuando empezó a existir la carrera de Física”.*

Y así nació la ANFE a finales de 1948, con un emblema donde se combinaron el metro, el segundo y los elementos radiactivos: “El logo inicial, que es parecido al que tiene ahora el Colegio, era un metro, un

*péndulo que marcaba el segundo, y una medición de rayos cósmicos”.*

Una de las primeras iniciativas de la ANFE fue la Bolsa del Físico: “lo que hicimos fue decir que había ciertas cosas que hacer y que los físicos eran los más indicados para realizarlas -recuerda-. Tuvimos éxito y hubo bastantes chicos y chicas que encontraron trabajo”.

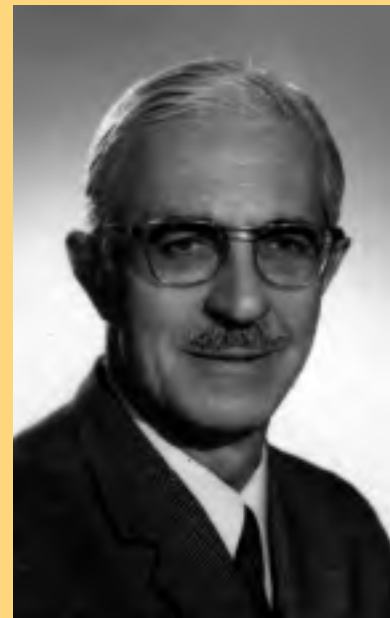
Como visionario de las posibilidades de los físicos, Villena mira hacia esos primeros años con gran cariño: *“Empezamos a publicar un pequeño periódico, Physicalya, y con la ayuda de físicos como Fernández Ferrer, García de Gudal, Jiménez Landi o Sánchez del Río, la ANFE salió muy bien y nosotros nos divertimos mucho”*. Fue entonces cuando Villena empezó a pensar en fundar el Colegio de Físicos. Pero habría que esperar varios años hasta que Jesús Sancho, entonces Director General de Televisión, lo creara en 1976, nombrando a Leonardo Villena Presidente de Honor por la labor realizada. Así, este albaceateño puede decir que ha vivido una época decisiva: *“La Física estaba naciendo: cuando yo empecé, ni había acuerdos internacionales, ni las unidades estaban bien definidas, ni había laboratorios especializados... Se hizo un esfuerzo muy grande, y ahora hay muchísimos centros funcionando, muchísimas organizaciones y personas”*.

Si bien es cierto que se debe a Leonardo Villena la unidad de los físicos y su reconocimiento profesional, la propia ciencia de la Física le adeuda otras aportaciones pioneras en temas como la Calidad o la Normalización. En 1982 creó la Asociación para la Normalización y, dentro de la IUPAP, fue Presidente de la Comisión de Símbolos, Unidades y Nomenclatura. Fundó también la Asociación Española para la Calidad junto con Enrique Blanco, donde se elaboraron el glosario y

los catálogos de medidas, un gran esfuerzo por unificar términos y definiciones. En el CSIC, institución a la que siempre ha estado muy unido, creó la Asociación de Calidad, y dentro de ella un comité de Metrología. Como él mismo relata, *“allí reunimos a los directores de todos los Institutos del CSIC y les ofrecimos el calibrado de sus instrumentos, porque mucha gente había comprado sus instrumentos antes de la Guerra y ya no se sabía si medían bien o mal, y por eso monté en 1954 el Centro Metro-Físico, para que los Institutos pudieran hacer ensayos y calibrar sus aparatos, los nuevos y los viejos”*.

Además de asistir a la *Conferencia de Teddington*, donde se sentaron las bases para la cooperación entre los países de Europa, Villena fue durante años miembro de la Comisión Consultiva de Unidades del Comité Internacional de Pesos y Medidas, organismo máximo de Metrología mundial. *“Teníamos la obligación de conocer y diferenciar todas las unidades y hacer lo posible para que la descripción de cómo había que realizarlas en los distintos países fuera fácil y exacta -explica-. Y ahí he conocido a muchísima gente de distintos organismos internacionales”*.

Este gran físico valora hoy los avances que se han conseguido, y por ello aplaude las iniciativas que fomentan el intercambio internacional de estudiantes: *“El esfuerzo*



→ Leonardo Villena, en una foto de 1976, en el momento de su colegiación en el COFIS.

*que se está haciendo a nivel europeo para que los jóvenes vayan a estudiar a otros países es muy importante, porque lo que se aprende y se usa en la época de estudiante es vital. Lo importante es tratar de conectar, de abrir puertas, tratar de encontrar una política común”*. Y, sin embargo, Villena es sabedor de los momentos difíciles que atraviesa la enseñanza de las ciencias: *“A mi juicio, la educación está cayendo en picado, no sólo las ciencias, y no sólo aquí sino también fuera. La informática es muy necesaria, muy útil, pero la educación es algo de tú a tú, y es fundamental. El futuro de un país depende no solamente de la tecnología, sino de que las mentes estén preparadas. Y eso cuesta cierto trabajo”*. ■

**Villena fue durante años miembro de la Comisión Consultiva de Unidades del Comité Internacional de Pesos y Medidas, organismo máximo de Metrología mundial.**

**Isabel Pérez.** Fundación Conama

# CONAMA 8

## Congreso Nacional del Medio Ambiente

CUMBRE DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

CONAMA 8 tendrá lugar del 27 de noviembre al 1 de diciembre en el Palacio Municipal de Congresos del Campo de las Naciones, en Madrid.

## EL CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA), LUGAR DE ENCUENTRO DEL MUNDO MEDIOAMBIENTAL EN NUESTRO PAÍS.

Con carácter bienal, el Congreso Nacional del Medio Ambiente reúne a las principales figuras del mundo medioambiental en España en torno al debate de la sostenibilidad. Debido a su carácter multidisciplinar, CONAMA es foro de encuentro de colegios y asociaciones profesionales que se perfilan como pilar principal dentro de la organización de este evento.

CONAMA 8, la octava edición del Congreso Nacional del Medio Ambiente, se celebrará este año del 27 de noviembre al 1 de diciembre en el

Palacio Municipal de Congresos del Campo de las Naciones en Madrid. Se trata del lugar de encuentro del mundo medioambiental de nuestro país, donde colegios profesionales, entidades públicas y privadas, ONGs, sindicatos, asociaciones o universidades participan en el debate de la sostenibilidad en la *Cumbre del Desarrollo Sostenible*.

En 1992 tuvo lugar la primera edición del CONAMA, organizada por el Colegio Oficial de Físicos y el Colegio Oficial de Biólogos; a partir de entonces, numerosos profesionales se unieron a este proyecto agrupados en la Unión Profesional. También la Asociación Interdisciplinar de Profesionales del Medio Ambiente (APROMA) decidió formar parte de la organización, al igual que el Instituto de la Ingeniería de España, ya en la cuarta edición.

Desde entonces muchas han sido las actividades que se han ido sumando al repertorio de este congreso, adquiriendo poco a poco la importancia que se merece, quedando vislumbrada en el creciente número de participantes: de los 400 en la primera edición a más de 7.000 en la séptima. Para esta octava edición, CONAMA 8, se espera que sean más de 10.000 las personas que formen parte de las más de 118 actividades que abordarán las principales problemáticas medioambientales de nuestro país.

### La organización de los profesionales

La Fundación CONAMA se configura como la principal organizadora de este congreso; sin embargo, es pilar fundamental en este sentido la participación de cerca de cuarenta colegios y asociaciones profesionales entre los que se encuentra el Colegio

Para esta octava edición, CONAMA 8, se espera que sean más de 10.000 las personas que formen parte de las más de 118 actividades que abordarán las principales problemáticas medioambientales de nuestro país.



Oficial de Físicos. Todos ellos favorecen el carácter multidisciplinar de este evento y otorgan una mayor profesionalidad en el análisis de cada uno de los temas medioambientales que se abordan.

La participación en la organización de CONAMA por parte de colegios profesionales se realiza a través de un convenio de colaboración, pudiendo formar parte de los comités técnicos y participando en las diversas actividades cuya preparación dan comienzo meses antes.

Tras el Congreso, el trabajo no termina allí, ya que toda la información, los análisis y las conclusiones obtenidas durante estos cinco días son presentados públicamente como **publicaciones finales**. Se trata de un **fondo documental** único en nuestro país, de libre acceso, con buscadores inteligentes que ayudan al interesado a obtener la información precisa que necesita.

**Los ocho temas de CONAMA 8 y el Encuentro Local**

Las principales problemáticas del medio ambiente que actualmente forman parte del debate quedan englobados en este congreso en tor-

**Tras el Congreso, las conclusiones obtenidas se publican en un fondo documental único en España, de libre acceso, con buscadores inteligentes que ayudan al interesado a obtener la información precisa que necesita.**

no a ocho temas: agua, cambio climático, energía, residuos y contaminación, desarrollo rural y conservación de la naturaleza, infraestructuras y transporte, economía sostenible y sociedad y políticas de actuación.

A partir de estas áreas temáticas surgen las **más de 118 actividades** que se llevarán a cabo durante



– Una de las reuniones del Grupo de Trabajo de Residuos Radiactivos.

CONAMA 8 a través de ocho fórmulas: reflexiones, mesas redondas, jornadas técnicas, grupos de trabajo, salas dinámicas, comunicaciones técnicas, exposición y sesiones plenarias. La estructura que adopta pretende aglutinar todas las sensibilidades en materia de desarrollo sostenible, fomentar el intercambio de experiencias y ayudar a la divulgación del conocimiento.

Este año, además, se desarrolla la iniciativa del Encuentro Local, una



**Para estar informado: Boletín electrónico CONAMA 8**

Para participar en este CONAMA 8 existen diversas modalidades cuya información se encuentra detallada en la página web [www.conama8.org](http://www.conama8.org).

Mientras tanto, para mantenerse informado existe la posibilidad de darse de alta en el boletín electrónico informativo simplemente enviando un correo electrónico a [comunicacion@conama.org](mailto:comunicacion@conama.org) o rellenando el formulario disponible en la web para recibir el boletín personalizado según los intereses de cada uno. ■

oportunidad única donde la administración local (ayuntamientos, municipios, diputaciones...) podrá compartir sus vivencias y proyectos medioambientales más destacados. Se celebrarán, además, otras actividades denominadas especiales: un análisis de la I+D en España, o las relaciones entre la UE e Iberoamérica, entre otras.



**I Laura Pernías Parra**



## ESPAÑA ACOGE POR PRIMERA VEZ EL CONGRESO MÁS IMPORTANTE DE LA UNIÓN MATEMÁTICA INTERNACIONAL

En su XXV edición, el Congreso Internacional de Matemáticas - ICM2006 por sus siglas en inglés- se ha celebrado por primera vez en España. Este evento es un punto de encuentro para matemáticos de todo el mundo, un gran acontecimiento científico y una ocasión única para mostrar la importancia de las Matemáticas a la sociedad.

En 2006, Año Mundial de las Matemáticas, la Unión Internacional eligió Madrid como ciudad anfitriona de este evento, que se celebra cada cuatro años y que ya se ha convertido en un referente internacional en el mundo matemático. Esta edición es especialmente importante para nuestro país ya que Manuel de León, Presidente del Comité Ejecutivo de esta edición del Congreso, se revelaba como primer español en formar parte de la ejecutiva de la Unión Matemática Internacional.

El ICM2006 congregó a alrededor de 3.500 matemáticos de 126 países, entre ellos 1.253 españoles, y en su inauguración se hizo hincapié en el intento de abrir las Matemáticas a otras esferas de la sociedad, así como en el esfuerzo por desarrollar esta ciencia en los países menos favoreci-

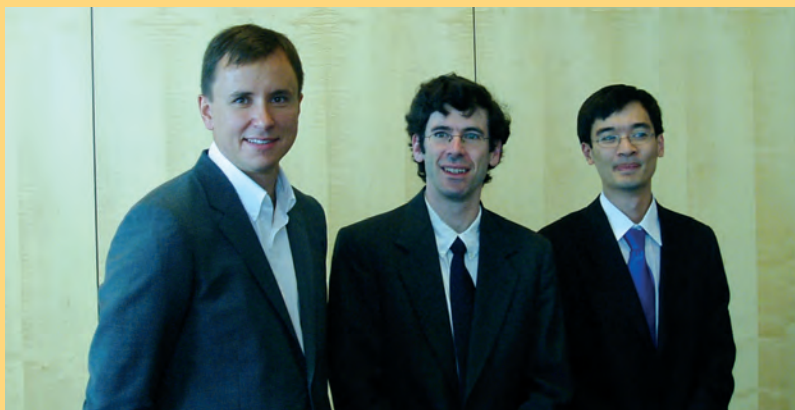
dos. Las conferencias tocaron muy diversos temas, desde los más teóricos, como la resolución de la Conjetura de Poincaré, hasta mesas redondas en las que se habló de la enseñanza y la divulgación de las matemáticas. Además, el Congreso se complementó con conferencias satélite por todo el país.

En la presente edición se hizo entrega de tres prestigiosos premios, las medallas Fields, que se otorgan a matemáticos menores de cuarenta años por su trayectoria como investigadores, pero también como incentivo para nuevas aspiraciones. Los galardonados en esta ocasión fueron Andrei Onkounov, por sus contribuciones en la interacción entre la teoría de probabilidades, teoría de la representación y la geometría algebraica; Terence Tao, por sus contribuciones a las ecuaciones en derivadas

parciales, combinatoria, análisis armónico y teoría de los números aditiva; y Wendelin Werner, por sus contribuciones al desarrollo de la evolución estocástica de Loewner, la geometría del movimiento browniano de dos dimensiones y la teoría conforme de campos.

El último de los galardonados fue el ruso Grigori Perelman, por sus contribuciones a la geometría y su revolucionaria profundización en la estructura geométrica y analítica del flujo de Ricci, puesto que sus resultados han proporcionado una forma de resolver dos importantes problemas de la topología: la Conjetura de Poincaré y la Conjetura de la geometrización de Thurston. Sin embargo, Perelman declinó el galardón por sentirse *"aislado de la comunidad matemática"*, como señaló en la rueda de prensa John Ball, Presidente de la Unión Matemática Internacional.

Durante el Congreso se entregaron también el Premio Nevanlinna, a John Kleinberg por su investigación en una variedad de áreas, desde el análisis de redes y el enrutado, a la minería de datos, la comparación de genomas o el análisis de la estructura de las proteínas; y el Premio Gauss para Aplicaciones de las Matemáticas, creado este año en honor del matemático Carl Friedrich Gauss y otorgado a Kiyoshi Ito, por su trabajo en el tema de la casualidad y el movimiento browniano.



→ De izquierda a derecha. Werner, Kleinberg y Tao, en la rueda de prensa posterior a su entrega.

Es necesario que políticos, intelectuales y líderes económicos, señalen la importancia de integrar la ciencia y la tecnología en la cultura

## Entrevista con Antonio Fernández-Rañada

**Guadalupe Delgado Redondo**

Colegio Oficial de Físicos



Ha mostrado los diversos rostros que tiene la Ciencia, ha argumentado la posible convivencia en la sociedad de Dios y los científicos, además de ser autor de diversos libros dedicados a la Física básica. Su currículum da muestras de ser un físico puro, profundo conocedor de la teoría, pero que nunca ha renunciado a la práctica y que lucha por que la sociedad conozca y reconozca sin diatribas el valor real de esta ciencia. Desde enero del 2006, Antonio Fernández-Rañada (Oviedo, 1939) dirige sus esfuerzos desde la Presidencia de la Real Sociedad Española de Física, labor que compagina con la enseñanza en la Universidad Complutense de Madrid, entre otros quehaceres y responsabilidades. Desde su despacho en la Facultad de Física, y ante la atenta mirada de Einstein, reconoce el camino que aún queda por hacer.

**“ES NECESARIO QUE POLÍTICOS, INTELLECTUALES Y LÍDERES ECONÓMICOS SEÑALEN LA IMPORTANCIA DE INTEGRAR LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LA CULTURA”**

**¿Cuál cree que debería de ser el papel de la universidad para con la Física?**

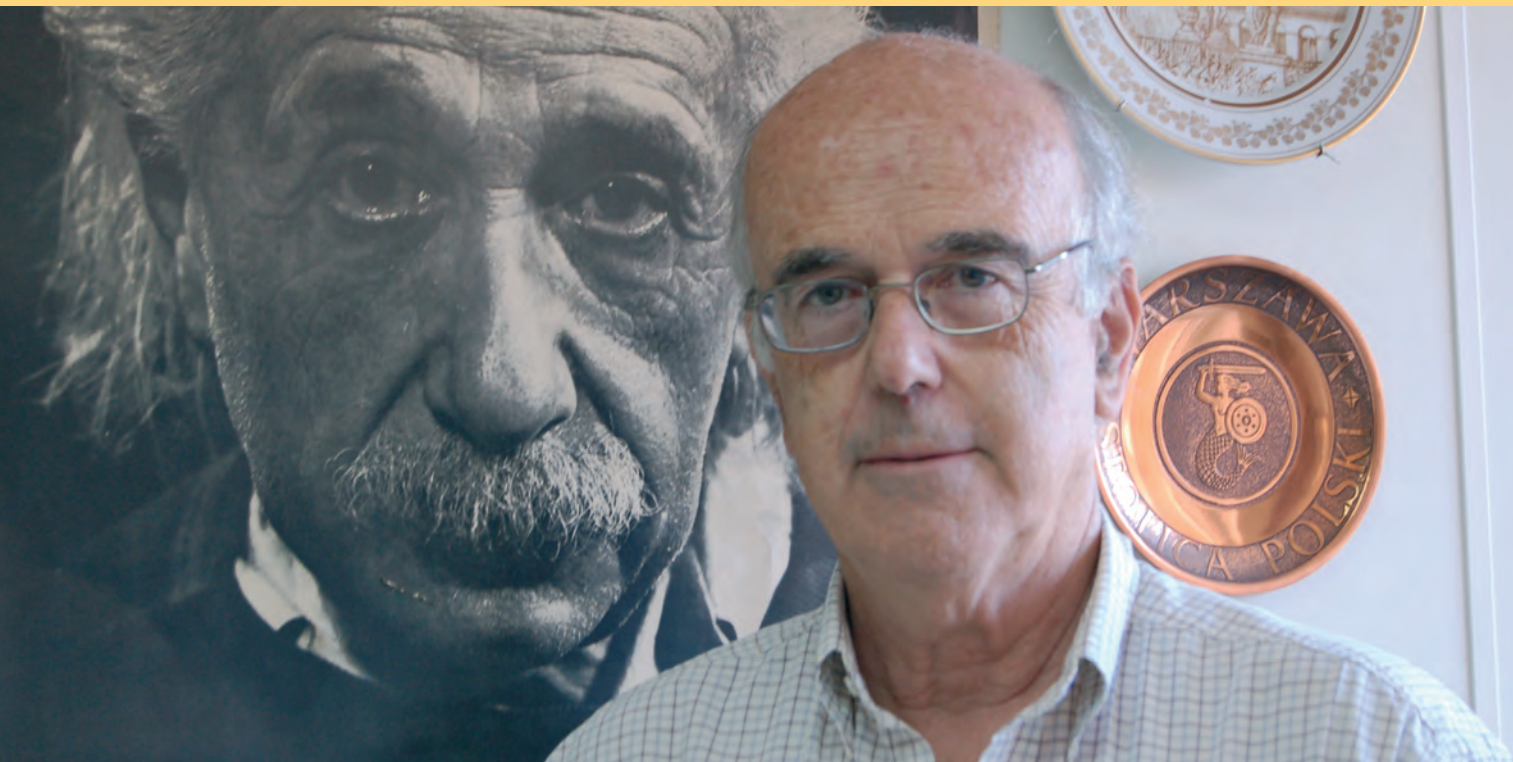
**La Universidad es absolutamente esencial para la Física.** Yo diría que también un poco al revés. En estos momentos, con la competencia internacional en Física y Tecnología que se nos viene encima, con la emergencia de los *dragones asiáticos*, tiene que haber en España por lo menos un conjunto de universi-

dades investigadoras. La Universidad no cumpliría su misión si no aceptara también esta otra función: la de estar creando la nueva Física, porque la Ciencia no es algo estático sino que hay que estar desarrollándola, y ahí la universidad tiene un papel muy importante. Uno de los problemas que tiene la cultura española es que no entiende bien esta faceta de creación de ciencia que tiene que hacer la universidad.

**Entonces, ¿cuál cree que es la percepción que tiene la sociedad de la Física, en particular, y de la Ciencia, en general?**

**Es una percepción muy desajustada,** en parte por culpa nuestra. Tenemos que luchar por ello, algo que ya estoy haciendo como presidente de la Real Sociedad Española de la Física. Tenemos una imagen buena pero inadecuada: es la imagen de que la Física es algo ⇒

**“Nos hemos basado en la Física básica y poco en las aplicaciones, y eso lo debemos corregir para que la sociedad tenga una imagen más ajustada a la realidad”**



maravilloso, que se ocupa de temas extraordinariamente difíciles y maravillosos pero muy importantes y lejanos, por ejemplo, del Universo, de las ideas de la Teoría Cuántica... Por supuesto, todo esto es tremendamente inexacto porque vivimos en una sociedad empapada de Física, aunque la gente no lo ve así. Muchas de las cosas que tenemos en casa son resultado de estudios físicos, como el DVD, las fibras ópticas... Parte de la culpa radica en que nos hemos basado en la Física básica y poco en las aplicaciones, y eso lo debemos corregir para que la sociedad tenga una imagen más ajustada a la realidad.

**¿Cómo cree que influyen en la imagen de un físico todas las**

**cuestiones relacionadas con la no proliferación de las armas nucleares y la ética deontológica?**

**Estas cuestiones gravitan mucho** sobre la imagen de los físicos. Yo he trabajado durante algunos años con movimientos contra la proliferación de estas armas. Creo que la gente no nos puede separar de las bombas atómicas. En mi opinión hay dos maneras de luchar contra ellas: justificar su posesión por parte de los distintos países desde el primer momento en que uno de ellos comienza a tenerlas, y luchar para que disminuya la probabilidad de que haya una guerra nuclear. Sabemos que existe una probabilidad entre el 0 y el 100%; nadie sabría calcularla, pero sí sabemos que en estos momentos no se

encuentra en ninguno de los extremos. En definitiva, creo que hay que intentar no tomar ninguna medida que aumente el riesgo, y luchar por que disminuya.

**Hay dos visiones muy discutidas en cuanto a la labor de los físicos: unos piensan que han de dedicarse a la investigación y la docencia, y hay quienes reconocen su labor en el campo de la industria, la empresa y el desarrollo tecnológico.**

**Yo estoy de acuerdo con las dos,** es como si me dijeran qué prefiero de una moneda, la cara o la cruz. La moneda tiene que tener las dos. Además, toda Ciencia actúa en dos ámbitos: en el de las ideas sobre el mundo, que ha

Es necesario que políticos, intelectuales y líderes económicos, señalen la importancia de integrar la ciencia y la tecnología en la cultura

## Uno de los problemas que no se ha llegado a corregir es la inserción de la Ciencia y Tecnología en la cultura española.

hecho cambiar muchas de las cosas que se pensaban durante el siglo XVII y XVIII, y también en el ámbito de las aplicaciones. La Física tiene que estar siempre jugando con una relación entre las ideas básicas y sus aplicaciones, no debe prescindir de ninguna. Lo que pasa es que la imagen que tenemos en España de la Física es como algo que sirve para la enseñanza básica y no nos damos cuenta de que está afectando directamente para mejorar nuestra vida.

**Además de la línea de actuación que ha señalado, ¿qué otros temas tiene pensado acometer desde su presidencia de la Real Sociedad Española de Física?**

**Es muy importante todo lo relacionado con la enseñanza, a nivel de secundaria.** Lo cierto es que todos los indicadores objetivos internacionales, como son los de la OCDE, la UNESCO o los resultados de las Olimpiadas de Física, nos dicen que la enseñanza española en Ciencia no va por buen camino. Además, en los últimos veinte años ha habido un descenso en el número de horas destinadas a la Física, de tal manera que, en el Bachillerato, el tiempo dedicado a esta materia es muy insuficiente. Este hecho tiene un aspecto muy negativo en la Física, porque nadie llega a amar lo

que no conoce. Si a un estudiante le dan muy pocas horas de laboratorio eso le va a impedir conocer una parte de la realidad que no es compensada con la teoría.

**En la labor que ha desarrollado en el campo de la Física siempre ha compaginado su enseñanza en la Física básica con distintos puestos que se podrían denominar de divulgación científica. ¿Qué importancia tiene para usted este último aspecto?**

**La divulgación es muy importante,** por cuestiones muy sencillas: la sociedad se tiene que enfrentar continuamente a realidades nuevas que no entiende, como las armas nucleares o aspectos relacionados con el Medio Ambiente. Son cuestiones que tienen muchas sutilezas y no siempre se muestran con claridad. Obviamente, no puedes pedir a toda la gente que sepa de estas cuestiones pero sí puedes contribuir a aumentar el nivel de percepción correcto. Ahí juegan un papel muy importante los medios de comunicación. También es importante que los políticos presten atención o que por lo menos tengan cierto contacto con los divulgadores, que consulten, por ejemplo, a una sociedad científica, algo que en España es muy extraño mientras que en otros países es algo normal.

**Partiendo de su obra “Los muchos rostros de la Ciencia”, ¿cuál es el aspecto que tiene en España si lo comparamos con Francia, país donde usted ha ejercido como profesor de Universidad?**

**En España se entiende mucho menos.** Como anécdota contaré que, al acabar los estudios, conseguí una beca del gobierno francés. Recuerdo un seminario en un aula en la que había como veinte nombres en letras de bronce. Entonces supe que eran nombres importantes de la historia de la Física, Cauchy, Poincaré... que habían dado cursos en ese aula. Esto pone de manifiesto una tradición que hace que allí un estudiante entienda mucho mejor el papel de la Ciencia. En España, con la Transición se vivió una época de evolución y modernidad, superando diferencias sociales tremendas que en otros países europeos ya estaban disminuyendo por su inversión en la Ciencia y la Tecnología, algo que aquí no ha sucedido. Uno de los problemas que no se ha llegado a corregir es la inserción de la Ciencia y Tecnología en la cultura española.

**¿Qué importancia tiene la Metrología en el mundo de la Física?**

**Evidentemente, la Física es una ciencia experimental que precisa de la medida.** Siempre lo ha sido. Ahora últimamente la Metrología tiene otro papel muy importante que es el que desempeña en el mundo de la tecnología para facilitar los intercambios entre las distintas empresas, entre distintas universidades, para resolver conflictos... Esto tiene menos ‘glamour’ para los científicos pero es muy importante para la vida. ■





# bibliografía



Varios autores.  
**“SIN CIENCIA NO HAY CULTURA”**  
 III Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia. La Coruña. 9, 10 y 11 de noviembre de 2005. La Coruña.  
 Coordinador: Ramón Núñez Centella.

La ciencia constituye un capítulo de ese universo más extenso y complejo que llamamos cultura. La ciencia es una forma de pensar, de interpretar la realidad.

Y en gran parte de los casos es madre de la técnica, de la que depende estrechamente. La ciencia ofrece distintos aspectos, según las épocas en las que se desarrolla. De ahí que cabe hablar de Historia de la Ciencia y Sociología de la Ciencia. La ciencia surgió de la Filosofía, cuando todo el conocimiento se agrupaba en ésta. Hoy, la ciencia interacciona, en muchos aspectos, con el conocimiento filosófico.



Fritjof Capra.  
**“EL TAO DE LA FÍSICA”**  
 Editorial Sirio. Málaga, 1983.

El prolífico autor explora en esta obra los paralelismos existentes entre los más recientes descubrimientos de la Física y

ciertos contenidos de las milenarias tradiciones místicas orientales, tan en boga en nuestro tiempo.

Los lectores interesados en explorar los paralelismos entre el misticismo antiguo y la Física moderna encontrarán en este libro un punto de partida que, a través de una lectura absorbente desde las primeras páginas, se ha mantenido vigente durante más de dos décadas. El Tao de la Física no sólo es un libro divulgativo, sino que cuenta con una exposición sólida que repasa el hinduismo, el budismo, el pensamiento chino y el taoísmo, y ofrece una particular interpretación del camino de la Física y el futuro de esta disciplina.



Eduardo Battaner López  
**“UN FÍSICO EN LA CALLE”**  
 Universidad de Granada. Granada, 2005

Eduardo Battaner (Burgos, 1945), catedrático de Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Granada, muestra su compromiso con la divulgación científica publicando la segunda parte del libro Física de las noches estrelladas.

Consciente de que “la sociedad no sólo está interesada en aplicaciones de la ciencia, sino también en el conocimiento puro”, Battaner se sirve de un argumento humorístico para acercar al lector a cuestiones variadas

de la Física, de una forma novelada que ameniza su lectura. El libro parte de una conversación en una taberna entre un profesor de Física, una estudiante de Historia y el dueño del establecimiento, y combina el rigor científico, la narrativa y la divulgación de la Física desde una visión lúdica y asequible a todos los lectores.



Antoni Amengual Colom  
**“HABLANDO DE FÍSICA A LA SALIDA DEL CINE. LICENCIAS CINEMATÓGRAFICAS”**  
 Edicions UIB. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca, 2005.

Antoni Amengual, Vicedecano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de las Islas Baleares, ha impartido, a lo largo de su carrera, diversas asignaturas de Física.

De su experiencia docente han surgido libros como 30 temas de Física o Sistemas Mecánicos, donde ya aparecía el apéndice Escalas y cine, sin duda precedente del libro que ahora os presentamos. En la obra Hablando de Física a la salida del cine, las escenas de algunas películas famosas que vulneran leyes naturales sirven de pretexto para escribir sobre Física. Las películas se usan como contrapunto para explicar la Física desde una base elemental: el

lector encontrará comentarios sobre numerosos temas científicos desde una novedosa perspectiva.



José Luis González Quirós y Karim Gherab Martín.  
**“EL TEMPLO DEL SABER. HACIA LA BIBLIOTECA DIGITAL UNIVERSAL”**  
 Ediciones Deusto. Barcelona, 2006

Premio de Ensayo 2005, este libro es un estudio sobre las implicaciones, en nuestra vida diaria, de la tecnología digital, que revoluciona nuestra forma de almacenar información, de buscarla y encontrarla, algo sólo comparable a la invención de la imprenta. Lo digital cambia nuestras vidas, nuestra forma de pensar y de trabajar.

Sobre esta base, los autores reflexionan también sobre las características de la ciencia y de la técnica en el presente. Todo un capítulo está dedicado al pensamiento de Popper, tal vez el filósofo de la ciencia más importante del siglo pasado. Firmado por Karim Gherab (Zamora, 1972), licenciado en Ciencias Físicas y doctor en Filosofía de la Ciencia, y José Luis González Quirós (Asturias, 1947), del Instituto de Filosofía del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)



Inicio | Acerca de Fys | Contacto | Sus



Acceso Usuario  
Login:   
Password:



8 de Septiembre de 2006

Bienvenido a FyS

### Encuentra un evento

Seleccione lugar   
Seleccione fecha

### Noticias

Noticias del día



La interpretación de la ciencia produce un reduccionismo en la globalización

Una cierta interpretación de la ciencia y la tecnología tiene una consecuencia muy negativa sobre el desarrollo de la globalización. Me refiero al reduccionismo que pretende deducir todos los comportamientos del mundo a partir de los átomos y las partículas elementales.

[+info]

### Eventos

Eventos de



Centro de Consejo d...  
El CSN...  
para desc...  
funciona la

[+info]

### Otros eve

UMP Ener...  
pers...  
renc...

Pow...  
Conf...  
Char...  
Feria...  
Zara...

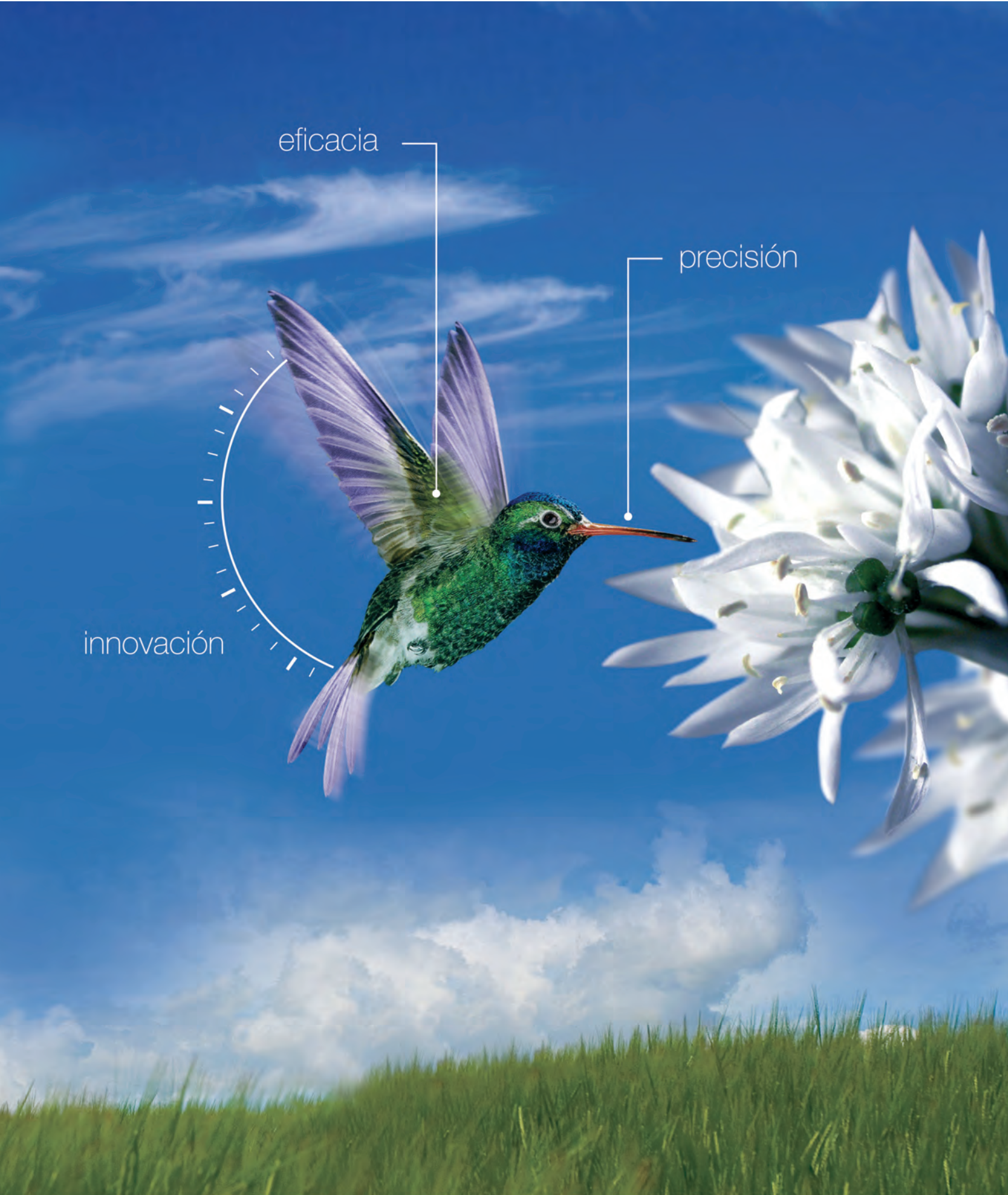
Univ...  
Biolo...  
Curs...

www.fys.es  
el portal de la Física en España

- Conferencias
- Congresos
- Cursos
- Exposiciones y ferias
- Jornadas
- Postgrados
- Otros
- Internacionales
- Noticias**
- Noticias destacadas
- Todas las noticias
- Histórico de noticias
- Servicios FYS**
- Opiniones
- Instituciones
- Expertos
- Proyectos

- Noticias**
- Eventos**
- Servicios**
- Portales Temáticos**
- El lanzamiento del "Atlantis", pendiente de resolución por problema técnico. [El Mundo - 08/09/2006]
- Solución al inminente déficit energético. [Madrid+d - 08/09/2006]
- Científicamente se han otorgado en Madrid a las matemáticas. [El País - 08/09/2006]
- Un modelo aumenta los sistemas planetarios que podrían albergar planetas adecuados para la vida. [ABC - 08/09/2006]

Una iniciativa del Colegio Oficial de Físicos



eficacia

precisión

innovación

**FABRICANTE** DE INSTRUMENTACIÓN DE MEDIDA DE CALIDAD AMBIENTAL

INSTRUMENTACIÓN DE MEDIDA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
CONSULTORÍA AMBIENTAL  
ALQUILER DE EQUIPOS



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

[sirsa@sirsa.es](mailto:sirsa@sirsa.es)

Tel: +34 91 803 66 02