

**Luis Serrano,**  
biólogo y director  
del CRG: “En 30  
años será posible  
diseñar humanos  
que vivan 300”



**Las redes sociales,**  
con Facebook y  
Twitter a la cabeza,  
revolucionan la  
información sobre  
medio ambiente



**Modelización del**  
comportamiento  
termohidráulico  
de las barreras  
de ingeniería  
de El Cabril

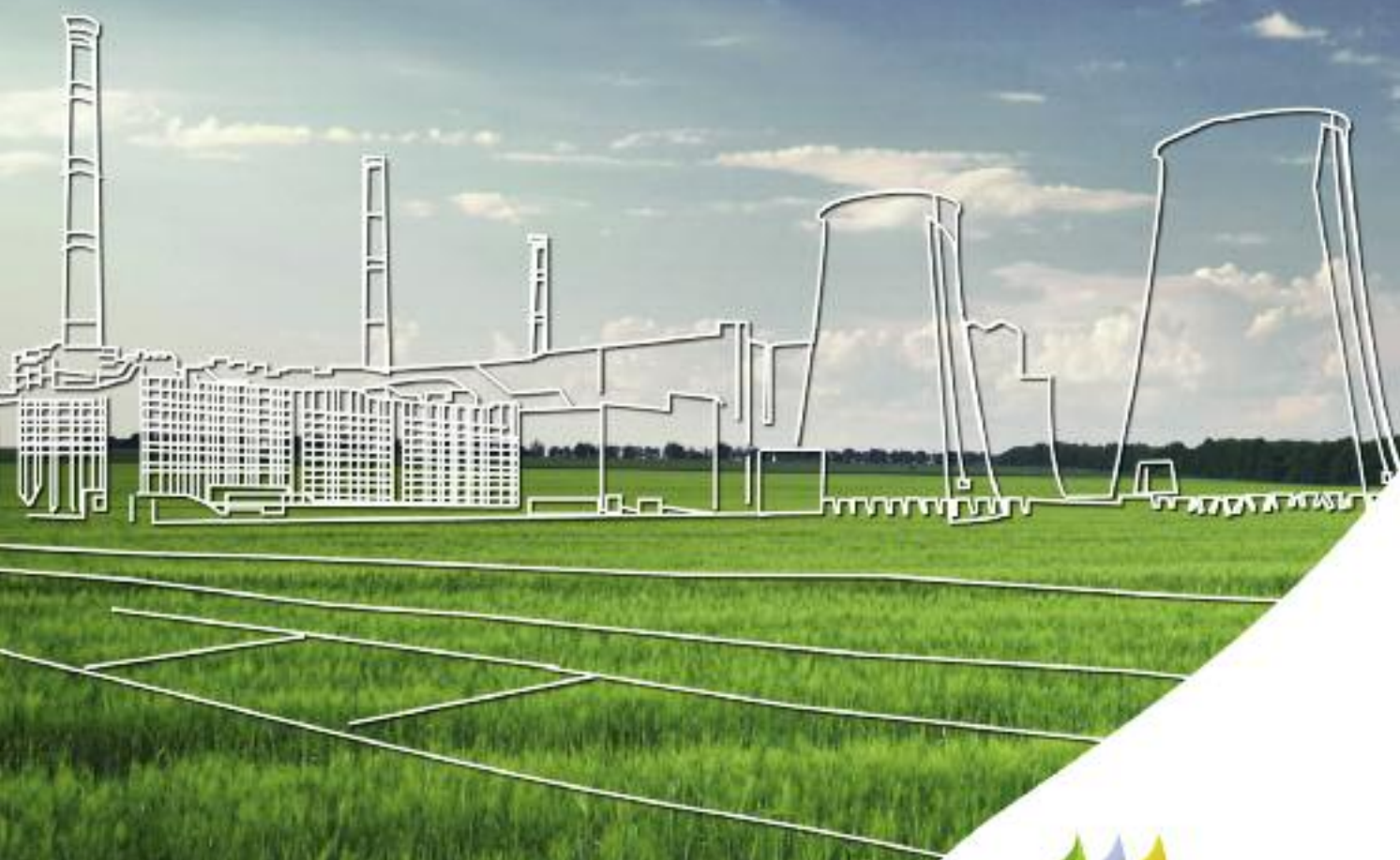
# estratos

Empresa  
Nacional  
de Residuos  
Radiactivos  
N.º 97  
Invierno 2011



**Energía ‘made in Spain’**

•••• Una apuesta segura  
en ingeniería nuclear.



[www.iberdrolaingenieria.com](http://www.iberdrolaingenieria.com)

División de Generación Nuclear

Telf.: +34 91 383 31 80

Fax: +34 91 767 53 89



**IBERDROLA**

Ingeniería y Construcción

## Veinticinco años trabajando para el futuro



ACABAMOS DE DEJAR ATRÁS EL año 2010, un año importante para la historia de Enresa por diversos motivos. El primero, biográfico: Enresa celebró su vigésimo quinto aniversario. Veinticinco años de trabajo, de formación de equipos y de técnicos, de investigación, de colaboración internacional, de puesta a punto de desarrollos tecnológicos, de implicación con su entorno, de relación con los medios de comunicación... En definitiva, veinticinco años al servicio de la sociedad española, de la que Enresa se ha convertido en miembro activo, colaborando en muchos y diferentes escenarios y revalidando diariamente su compromiso con la ciudadanía.

Pero 2010 ha tenido, además, dos ejes conductores de la actividad de Enresa en cuanto a proyectos moldeadores de su futuro e importantes para nuestro país: por un lado, la puesta en marcha del proceso de presentación de candidaturas para acoger el Almacén Temporal Centralizado (ATC) para el combustible gastado de las centrales nucleares y su Centro Tecnológico Asociado; por otro, el inicio del proceso de desmantelamiento y clausura de la central nuclear José Cabrera, en Guadalajara.

En el primero, el resultado final del proceso iniciado por el Gobierno a finales del 2009 ha sido la presentación de doce municipios a acoger la instalación de almacenamiento temporal de los residuos de alta actividad. A finales de junio, Enresa organizó, en la Universidad Menéndez Pelayo de Santander, unas jornadas sobre el ATC en la que expertos, políticos y representantes locales analizaron y debatieron los aspectos técnicos, económicos y sociales de esta instalación, que todos consideraron necesaria y una oportunidad para la investigación de nuevos desarrollos tecnológicos y científicos, además de un factor de progreso para su entorno. Actualmente, el proceso, que está dirigido y coordinado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se halla en fase de valoración de las ocho candidaturas seleccionadas y de análisis de las alegaciones presentadas.

En el segundo de los grandes ejes de actividad, el 11 de febrero de 2010 Enresa asumía la titularidad de la central nuclear José Cabrera para su desmantelamiento,

el primero completo que se va a realizar en España, y que se prolongará hasta el 2016. Durante estos meses se han cumplido los objetivos marcados en el plan de trabajo. Hasta el momento, se han llevado a cabo los primeros desmontajes convencionales y se han realizado actividades preparatorias necesarias para acometer trabajos radiológicos. Este año que se inicia será importante para el proyecto, ya que está previsto que se aborde el desmantelamiento de las partes activas con la segmentación de los componentes internos del reactor, una actuación que ha sido planificada y que constituirá un nuevo hito para los técnicos de la empresa.

Nuevos proyectos de I+D en el Centro Tecnológico Mestral, situado en la antigua central nuclear Vandellós I (Tarragona), y las actividades de desmantelamiento dentro del Plan Integral de Mejora de Instalaciones del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) son otras de las actividades que se han abordado durante 2010.

En el almacén centralizado de El Cabril, 2010 ha sido un año de renovación tecnológica, con la puesta en marcha de la nueva sala de control, que ha experimentado una completa transformación y actualización con la aplicación de las últimas tecnologías. Las actividades de la instalación se han desarrollado con absoluta normalidad, destacando el inicio de una nueva línea de almacenamiento en la instalación complementaria para residuos de muy baja actividad y la realización de las pruebas de homologación de un nuevo embalaje de transporte. Esta actualización y mejora continua de la instalación de la Sierra Albarrana es el motivo por el que, tras casi dos décadas de funcionamiento, sigue siendo un referente internacional y un modelo de gestión de residuos.

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'José Alejandro Pina'. The signature is stylized and written over a horizontal line.

*José Alejandro Pina*  
Presidente de ENRESA

# estratos

N<sup>o</sup> 97 INVIERNO 2011

23

El nuevo modelo de financiación de los residuos radiactivos

Fernando Rey



36

Mecanismos de toma de decisiones en los países de la OCDE para el emplazamiento de instalaciones de residuos radiactivos (II)

Claudio Pescatore y Mariano Molina

50

Lo que el aire esconde

José María Montero

56

Jane Goodall: bodas de oro entre monos

Arantza Prádanos



40

El gran desafío de la Amazonia

Inmaculada G. Mardones



26

Periodistas en Facebook

Clemente Álvarez

30

Historias lunares

Ignacio F. Bayo



45

La Tierra, más patata que esfera

Manuel Toharia

4 Actualidad

60 Noticias de ciencia y tecnología

62 Libros

64 Una imagen, cien palabras

Parque eólico  
(Ángel Bocalandro)



**Presidente:** José Alejandro Pina.  
**Consejo Editorial:** José Alejandro Pina, Ester Gómez, Arturo González, Jorge Lang-Lenton, Alejandro Rodríguez, Álvaro Rodríguez Beceiro, Armando Vezganzones, Máximo Taranilla, Manuel Toharia y José Pons.  
**Director:** Máximo Taranilla.  
**Redactor jefe:** Jorge Fernández.  
**Seguimiento:** Teresa Palacio.

**Redactores y colaboradores:** Julio Astudillo, Concha Barrigós, Ignacio F. Bayo, Ángel Díaz, Pablo Francescutti, Emilio García, Luis Guijarro, Emilio Jarillo, Cristina López-Quero, Roberto Loya, Inmaculada G. Mardones, José María Montero, Manuel Muñoz, Julián Pérez Olmos, Mónica Salomone, Juan Tena y Jesús Vicenti.

# 9

## Modelización del comportamiento termohidráulico de las barreras de ingeniería de El Cabril

Los estudios realizados como consecuencia de la recogida de agua en los recipientes de control de las estructuras de almacenamiento de la instalación de El Cabril han impulsado el desarrollo de modelos de comportamiento de las barreras de ingeniería más complejos y detallados.

**Modelling the thermohydraulic behaviour of the engineered barriers at El Cabril (page 10)**

Texto: Manuel Ordóñez



# 14

## Entrevista a Luis Serrano, director del Centro de Regulación Genómica

Luis Serrano acaba de estrenarse como director del CRG, un centro que apunta a convertirse en el primer referente científico de España y que él quiere situar entre los veinte primeros del mundo. Lo dice con la seguridad de quien está a punto de sacar una *píldora viva*, una especie de *doctor celular* que será una auténtica revolución en el tratamiento de las enfermedades.

Texto: Concha Barrigós



# 18

## Energía 'made in Spain'

La pujanza del sector energético español lleva la energía *made in Spain* a todo el mundo. Grandes empresas como Iberdrola, Repsol, Gas Natural Fenosa, Abengoa o Gamesa producen y distribuyen equipos, combustible y electricidad en los cinco continentes con tecnología española. Las renovables se llevan la palma. A la cabeza de Europa, nuestro país asesora a otros, como China o Estados Unidos, para implantar energía limpia.

Texto: Maruxa Ruiz del Árbol



**Edita:** Enresa, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.  
**Redacción:** Emilio Vargas, 7. 28043 Madrid. Tel. 91 566 81 00.  
**Correo electrónico:** registro@enresa.es  
**Página web:** www.enresa.es  
**Administración:** Nieves Sánchez.

**Publicidad:** Corporación Asesora. Hemosilla, 59. 3º Izq. 28001 Madrid. Tel. 91 432 44 73.  
**Coordinación y producción:** RGB Comunicación. Princesa, 3 dup. 28008 Madrid. Tel. 91 542 79 56.  
**Diseño y maquetación:** CerezoDiseño. Genil, 4. 28002 Madrid. Tel. 91 561 65 14.

**Fotomecánica:** Cromotex, Valportillo Segunda, 7. 28108. Alcobendas. Tel. 91 121 78 00.  
**Impresión:** Gráficas Caro. Gamonal, 2. Polígono Industrial de Vallecas. Madrid. Tel. 91 777 30 74.  
**Depósito Legal:** M-7 411-1986.

Esta publicación no comparte necesariamente la opinión de sus colaboradores y se limita a ofrecer sus páginas con respeto a la libertad de expresión.

# actualidad estratos

## El Centro Tecnológico Mestral analiza los sistemas de gestión ambiental

El Centro Tecnológico Mestral (Vandellós, Tarragona) acogió, el 24 y 25 de noviembre, unas jornadas en las que empresas del sector nuclear han compartido sus experiencias en la implantación de sistemas de gestión ambiental. El número de participantes ascendió a una veintena de expertos que expusieron la organización de sus sistemas medioambientales en función de necesidades es-



Participantes en las jornadas sobre implantación de sistemas de gestión ambiental, celebradas en el Centro Tecnológico Mestral, en Vandellós (Tarragona).

pecíficas. Todas las empresas participantes en las jornadas están certificadas en la norma UNE-ISO 14001

que recoge el cumplimiento de buenas prácticas para minimizar el impacto ambiental, de acuerdo con una

filosofía de desarrollo sostenible.

En las jornadas se compartió la experiencia operativa, buscando puntos comunes de las diferentes instalaciones y centrales. Las materias que se abordaron fueron, entre otras, la evaluación de riesgos ambientales y la gestión y el control documental de las acciones de vigilancia. También se trató la segregación de los aspectos de gestión ambiental industrial de los de vigilancia radiológica y el correspondiente tratamiento y confinamiento de los residuos radiactivos.

El intercambio de experiencias ha sido altamente positivo, al dar a conocer sistemas de organización y supervisión diferentes, pero que comparten criterios comunes. Todos los participantes en las jornadas coincidieron en la necesidad de que los trabajadores y miembros de la organización co-

## Fabricio Hernández, nuevo secretario de Estado de Energía

Fabricio Hernández Pampaloni ha sido nombrado nuevo secretario de Estado de Energía, puesto en el que sustituye a Pedro Marín, quien se presentará como candidato a la dirección de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena).

Hernández Pampaloni es licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad Complutense de Madrid, doctor en Economía por la Universidad de Oxford y máster en Economía y Finanzas por el Centro de Estudios Económicos y Financieros.

El nuevo secretario de Estado de Energía ha desarrollado toda su carrera profesional en la empresa NERA Economic Consulting, donde actualmente era director asociado de Práctica de Energía, Redes y Medio Ambiente, y responsable del área de gas natural en la península Ibérica y sur de Europa. ■



Fabricio Hernández jura su cargo en presencia del ministro de Industria, Miguel Sebastián.

laboren para desarrollar una adecuada gestión medio-ambiental.

Como colofón a las jornadas se contó con una ponencia a cargo de Javier García Serrano, miembro del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, quien explicó los programas de este organismo público de apoyo a proyectos de investigación y desarrollo.

La buena experiencia vivida en Vandellós ha planteado la celebración de jornadas similares en otras instalaciones y la organización de visitas. ■

**El presidente de Enresa comparece ante la Comisión de Industria del Congreso de los Diputados**

El presidente de Enresa, José Alejandro Pina, compareció el 30 de noviembre ante la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados para exponer las actividades de la empresa. Pina explicó a los parlamentarios las acciones desarrolladas en los distintos ámbitos de actividad de la compañía: gestión de residuos de baja y media actividad, gestión de residuos de alta actividad, desmantelamiento de centrales nucleares e investigación y desarrollo.

Tras su exposición, que se realizó a puerta cerrada, respondió a preguntas de los distintos grupos políticos sobre el Almacén Temporal Centralizado y respecto a los residuos procedentes del reprocesado en Francia del combustible gastado de la central nuclear Vandellós I.

**Una delegación del Parlamento ruso visita El Cabril**

Una delegación de parlamentarios y senadores de la Federación Rusa, acompañada por miembros del Consejo Federal y de la Agencia para la Energía Nuclear (ROSATOM), visitó el pasado mes de diciembre las instalaciones de El Cabril, en Córdoba, para conocer el sistema de gestión de residuos radiactivos español.

La visita responde al interés mostrado por el Parlamento ruso en implantar una legislación unificada sobre la gestión de residuos radiactivos en su país. En el transcurso de dos días, uno en la sede de Enresa en Madrid y otro en El Cabril, los diez miembros de la Duma pudieron conocer en profundidad cuestiones como la financiación de la gestión de los residuos radiactivos, las opciones tecnológicas que se manejan hoy en España y las fórmulas de comunicación a las que se recurre para garantizar la transparencia de las actividades de Enresa, así como su difusión a la sociedad española.

La delegación de la Duma estaba encabezada por Tatiana Elfimova, directora general adjunta de la Agencia para la Energía Nuclear de la Federación Rusa, quien manifestó su interés en conocer todos los aspectos relacionados con la gestión de residuos radiactivos y poder, en un futuro, “aplicar los desarrollos que ha realizado España”. Por ello, agradeció a Enresa la invitación al Almacén Centralizado de El Cabril, ya que “permite conocer una instalación de estas características” y observar con detalle la “aplicación de las soluciones técnicas”. ■



La delegación rusa, junto a José Alejandro Pina, presidente de Enresa (centro), en la sede de la empresa en Madrid.

El presidente de Enresa comparece anualmente ante esta comisión de la Cámara Baja, al igual que lo hacen otros representantes de empresas y organismos públicos del sector, como la presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear o el presidente de Enusa, entre otros. ■

**Mayte Pascual, de 'Informe Semanal', Premio Energía y Medio Ambiente 2010**

La periodista Mayte Pascual, de *Informe Semanal*, recibió el pasado 5 de octubre el Premio Energía y Medio Ambiente que Enresa patrocina dentro de los XXII Premios de la Energía por el reportaje titulado

*La cuestión de los residuos nucleares*, emitido el 6 de febrero de 2010 en TVE y que aborda la realidad del Almacén Temporal Centralizado (ATC).

El Premio Energía y Medio Ambiente reconoce la trayectoria de Mayte Pascual, que se ha caracterizado por la elaboración de infor-

## El Centro Tecnológico Mestral recibe

a su visitante número 50.000

El Centro Tecnológico Mestral (Vandellós, Tarragona) recibió el 14 de enero el visitante número 50.000 desde que Enresa abrió este servicio en 1998 para informar sobre las actividades de desmantelamiento de una central nuclear, la antigua Vandellós I. Este hito fue celebrado por la empresa pública, ya que evidencia la buena salud de su política de comunicación y transparencia, que ya ha llevado a más de 268.000 personas a informarse de manera directa en sus instalaciones de Madrid, El Cabril (Córdoba) y el Centro Tecnológico Mestral (Tarragona).

Abundi Bordera, estudiante de segundo de Bachillerato fue el protagonista del hito, lo que le convirtió en ganador de un *netbook*. El joven recibió la noticia con sorpresa por parte del director de la instalación, Carlos Pérez Estévez, quien destacó la importancia del acontecimiento. Para Pérez Estévez la cifra de visitantes alcanzada, “confirma la política de comunicación de Enresa, que pone muchos esfuerzos en estrechar las relaciones con el entorno donde realiza sus actividades”. De hecho, el instituto que ha cumplido con la emblemática cifra ha sido el INS Berenguer d’Entença, del propio mu-

nicipio donde está ubicado el Centro Tecnológico Mestral: Vandellós-L’Hospitalet de l’Infant (Tarragona). El centro también fue obsequiado con material para su biblioteca. Su jefa de estudios, Lolita Doménech, agradeció el gesto y destacó el valor que supone esta visita para “educar a los chicos, no sólo a nivel curricular, sino porque conviven cada día con la central desmantelada y es bueno que conozcan tanto su actividad actual como su historia”. ■



Abundi Bordera, el visitante 50.000 del Centro Tecnológico Mestral.

maciones plurales, equilibradas y completas. En un mismo reportaje se da voz a técnicos, políticos, ecologistas y vecinos, dentro de un discurso periodístico riguroso, que tiene como resultado una pieza informativa de gran valor. ■

### Enresa apoya la formación de periodistas a través del programa Primer Empleo de la APM

“El programa Primer Empleo no debería desaparecer nunca, porque hay que for-

mar a los periodistas desde el principio”. Con estas palabras, el presidente de Enresa, José Alejandro Pina, intervino en el acto de presentación de la undécima edición del Programa Primer Empleo (PPE), celebrado el 26 de noviembre en la sede de la Asociación de la Prensa de Madrid (APM). Pina trasladó a los presentes su satisfacción por “contribuir a este programa” y recomendó a los nuevos periodistas que hagan su labor de forma “in-

dependiente, informando de aquello que es importante para la sociedad”.

Este acto celebraba la obtención de un contrato laboral de un año, en distintos medios de comunicación, de nueve jóvenes con los mejores expedientes de las universidades madrileñas.

Entre las actividades previstas en el programa, figura una semana formativa antes de la incorporación de los periodistas a sus puestos de trabajo. La primera visita tuvo lugar en la cen-

tral nuclear José Cabrera, en Almonacid de Zorita (Guadalajara), que está en proceso de desmantelamiento desde febrero de 2010. Los participantes pudieron conocer el proceso de desmantelamiento de una instalación nuclear y comprobaron, en la misma central, cómo Enresa ya ha acometido algunos desmontajes convencionales, como el derribo de las torres de refrigeración, del edificio diésel y el de la turbina. ■

### Enresa participa en Conama con una sala dinámica sobre desmantelamiento

El desmantelamiento de centrales nucleares fue el tema sobre el que versó la sala dinámica que Enresa organizó, el 23 de noviembre, en la décima edición del Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama).

Más de sesenta participantes conocieron, por medio de expertos de Enresa, los proyectos de desmantelamiento que ya ha ejecutado, e igualmente profundizaron en los detalles del que actualmente se está realizando en la central nuclear José Cabrera, en Guadalajara.

El responsable del proyecto de desmantelamiento realizado dentro del Plan Integrado de Mejora de Instalaciones del Ciemat (PIMIC), Sergio Vidachea, fue el encargado de explicar la experiencia que acumula la empresa pública en este tipo de proyectos. Vandellós I, desmantelada a nivel 2 entre los años 1998

y 2003, y el ya citado proyecto PIMIC sirvieron de ejemplo para conocer este quehacer de Enresa, que la ha convertido en un referente mundial.

Por otra parte, el responsable de la oficina técnica de la central José Cabrera, Jorge Borque, presentó los trabajos de desmantelamiento que ya se han realizado en esa instalación desde que Enresa asumiera su titularidad el pasado mes de febrero. Además, expuso los retos futuros de este proyecto, así como el desmontaje del reactor, que van a hacer de éste el primer desmantelamiento total que se realiza en España, y que dejará el emplazamiento completamente libre para cualquier uso al que se destine. ■

## La nueva sala de control de El Cabril ya está en funcionamiento

La nueva sala de control de El Cabril empezó a funcionar a principios del mes de noviembre, tras más de un año de obras. El nuevo espacio cuenta con ocho puestos —dos de operación y seis de supervisión— desde los que se controlan todos los procesos de almacenamiento de residuos radiactivos que se realizan en el centro. La dependencia dispone, además, de un espacio acondicionado para las visitas desde el que se pueden seguir los trabajos que se realizan. ■



La nueva sala de control de El Cabril cuenta con dos puestos de operación y seis de supervisión.

## vocación de servicio

**En Cajamurcia, nuestra vocación es la dedicación a nuestros clientes, tanto particulares como empresas.**

Escuchamos con atención sus proyectos, ponemos en marcha sus ideas. Somos valientes en la búsqueda de soluciones y en el apoyo a su desarrollo. Y todo ello a través de una gestión sólida y segura, para mañana seguir poniendo a su servicio toda nuestra experiencia y atención.



## Eduardo Montes, nuevo presidente de Unesa, visita Enresa para conocer sus actividades y proyectos

Eduardo Montes, nuevo presidente de la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa), se reunió el 28 de enero con el presidente de Enresa, José Alejandro Pina, en uno de los primeros encuentros institucionales que mantiene desde su nombramiento como cabeza de la patronal eléctrica. Durante el encuentro, Montes conoció la gestión de los residuos radiactivos y la marcha de los proyectos que Enresa tiene en desarrollo.



José Alejandro Pina y Eduardo Montes, en la sede de Enresa.

La junta directiva de Unesa nombró el 15 de diciembre a Eduardo Montes presidente de la patronal eléctrica en sustitución de Pedro Rivero, quien ocupaba el cargo desde 2006. El nuevo presidente de la patronal eléctrica es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid y máster en Alta Dirección por IESE. Ha sido presidente de Siemens España y de la región Suroeste de Europa de la compañía, además de responsable mundial de su división de telecomunicaciones. ■

### El Club de las Agencias Europeas de Residuos Radiactivos cumple 25 años

Hace veinticinco años, en enero de 1985, y por iniciativa de la Comisión, las agencias de gestión de residuos radiactivos de seis países de la antigua Comunidad Europea crearon el Club de Agencias.

Al año siguiente, con la adhesión de España y Portugal a la entonces CEE,

Enresa entró a formar parte de esta organización. Las posteriores ampliaciones comunitarias han elevado la cifra de miembros a 17 más un representante de la propia Comisión Europea. El Club, un foro de discusión donde se debaten temas comunes de sus socios, se reúne dos veces al año.

El pasado 30 de noviembre celebró su quin-

cuagésima reunión en Bruselas, donde, en su día, tuvo lugar la primera. Un evento en el que participaron como ponentes el ministro belga de Clima y Energía, Paul Magrette, y el comisario europeo de Energía, Günther Oettinger. El vicepresidente del Parlamento europeo, el español Alejo Vidal Cuadras, abrió una mesa redonda donde participaron representantes de estamentos sociales, autoridades de seguridad, agencias de residuos y de Greenpeace Europa. El tema central de debate fue la transparencia y los desarrollos futuros en el almacenamiento definitivo.

Oettinger hizo referencia en su alocución a la nueva propuesta de Directiva sobre Seguridad en la Gestión de los Residuos, en fase de estudio por parte del Consejo, indicando que era un paso importante hacia una armonización de la gestión en el marco europeo, dejando la puerta abierta a nuevas iniciativas legislativas si éstas se consideraran necesarias. También destacó la aportación de la energía nuclear a la generación eléctrica, un 35% en el contexto europeo, y la necesidad de mantener este tipo de generación para alcanzar los objetivos comunitarios con vistas al año 2050. ■

### Enresa ha invertido más de 80 millones en el área de influencia de El Cbril desde su puesta en marcha

El almacén centralizado para residuos radiactivos de baja y media actividad de El Cbril (Córdoba), además de cumplir una fun-

ción necesaria para la sociedad, se ha convertido en un motor económico para su área de influencia. La instalación de Enresa en la sierra cordobesa genera más de trescientos empleos directos en la zona, lo que la convierte en uno de los principales yacimientos de empleo del entorno, y consume más de cuatro millones de euros anuales en productos y servicios de empresas de la zona. Concretamente, El Cbril da empleo directo a 313 personas, 117 de plantilla y 196 de contratas, a los que hay que sumar más de un centenar de puestos indirectos.

Desde su puesta en marcha en 1992, El Cbril ha invertido en su entorno más de ochenta millones de euros, de los cuales sesenta corresponden a costes de operación invertidos en las poblaciones próximas. En este periodo, y sólo en la mejora de las carreteras comarcales, Enresa ha invertido unos 5,5 millones de euros.

Por su parte, la Fundación Enresa realiza una inversión media anual superior a los 600.000 euros en el entorno de la instalación. Desde su creación en 1990, con el objetivo de impulsar y desarrollar el bienestar social y la calidad de vida de los ciudadanos de los municipios situados en el ámbito de influencia del centro de almacenamiento, ha inyectado en la zona más de trece millones de euros en el desarrollo socioeconómico, medioambiental y cultural de su entorno. ■

# Influencia de las condiciones térmicas sobre el comportamiento termohidráulico de las barreras de ingeniería de El Cabril

**Tras la recogida de agua en 2003 en los recipientes de control de las estructuras de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de El Cabril,** se han realizado una serie de estudios que han impulsado el desarrollo de modelos de comportamiento de barreras de ingeniería más complejos, detallados y acordes con la realidad física. Dichos modelos han hecho posible explicar el fenómeno observado, así como analizar los efectos de los procesos que lo provocan. **POR: Manuel Ordóñez, ENRESA.**

LOS MODELOS DESARROLLADOS POR Enresa y sus organismos colaboradores han permitido analizar el comportamiento termohidráulico de las estructuras de almacenamiento de El Cabril teniendo en cuenta los distintos materiales presentes en las mismas y su entorno (residuos acondicionados, muros y losas de hormigón, roca, suelo, aire, etcétera), y su disposición y características geométricas, todo ello sin las restricciones aplicadas en las modelizaciones más simples y conservadoras, realizadas para la evaluación de impacto radiológico.

Como resultado de estos desarrollos se ha podido explicar el proceso de recogida de agua en estructuras de almacenamiento cerradas y las causas que lo originan: la conexión térmica de las estructuras con el exterior y la existencia de una discontinuidad física (cámara de aire) entre las paredes de hormigón de los muros y los contenedores de almacenamiento, que activa un mecanismo en donde se acoplan procesos de evaporación / condensación, flujo difusivo de vapor y flujo capilar a través de distintos elementos.

## Funciones y características principales de las barreras de ingeniería

En el caso de Enresa, la instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad en operación dispone de un sistema multibarrera basado en hormigón constituido por los residuos acondicionados, contenedores de almacenamiento, estructuras de almacenamiento y cobertura definitiva. Dichos elementos forman las barreras

de ingeniería que están diseñadas para asegurar el decaimiento de los componentes radiactivos almacenados, minimizar la entrada de agua del exterior y permitir la recogida de agua infiltrada en el caso de que se produzca, incrementar la capacidad de retención de los radionucleicos y dificultar la intrusión a largo plazo; en definitiva, disminuir y diferir la transferencia de componentes radiactivos hacia el exterior, de

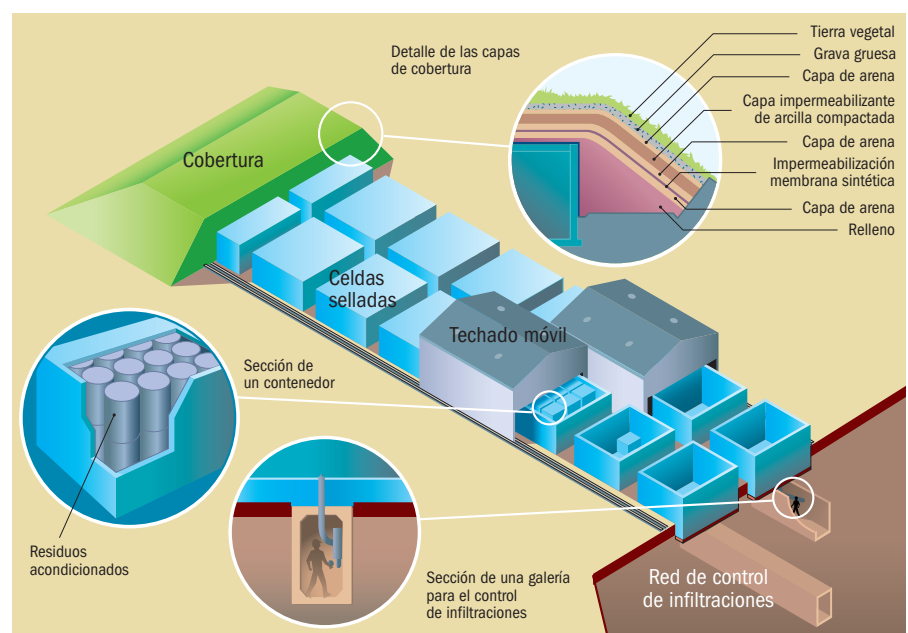


Figura 1. Esquema del sistema de almacenamiento de El Cabril.



Figura 2. Proceso de llenado de una estructura de almacenamiento.

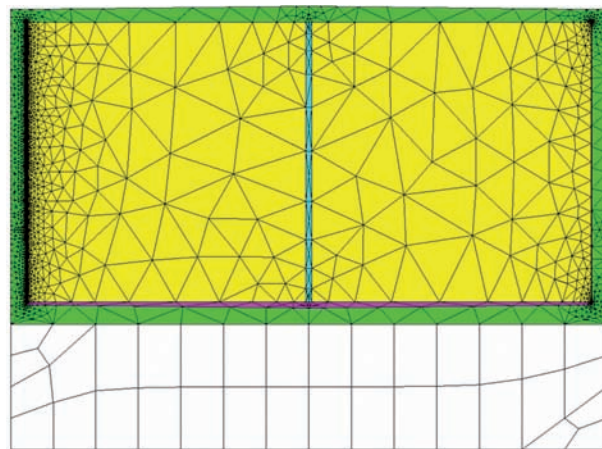


Figura 3. Malla de modelo termohidráulico.

tal forma que su impacto sea no significativo, en términos de dosis, e inferior a los límites reglamentarios y administrativos aplicables. En la figura 1 de la página anterior se incluye un esquema del sistema de almacenamiento.

En los contenedores de almacenamiento de hormigón, de 11 m<sup>3</sup> de volumen exterior, se introducen los embalajes con residuos acondicionados y se inyecta mortero en el espacio entre los mismos, de tal modo que el conjunto residuos / embalaje / mortero de inmovilización / contenedor forma un bloque continuo y compacto.

Cada contenedor se ubica en el interior de la estructura de almacenamiento

en apilamientos verticales de cuatro alturas, formando un ajedrezado final con 320 contenedores, existiendo una cámara de aire entre éstos y las paredes interiores de la estructura (figura 2).

Cada estructura de almacenamiento tiene un dispositivo de control individual para la recogida de agua procedente del interior de la misma.

#### Antecedentes del modelo desarrollado

Desde el año 1993 se han ido almacenando contenedores con residuos y se ha procedido al cierre de varias estructuras de almacenamiento —construcción de la losa superior—, a medida que se completaba su capacidad.

Durante el periodo 1993-2003 no se recogió agua en las mismas, detectándose a partir de esta última fecha pequeñas cantidades en términos de volumen.

Para investigar las causas de este fenómeno, se puso en marcha un plan de actuación específico. A tal efecto, se realizó un conjunto de inspecciones y pruebas, incluyendo la inundación de la losa superior de una estructura, en las que se obtuvo evidencia experimental de que el proceso no estaba causado por la infiltración de agua a través de los muros, losas y juntas de hormigonado de las estructuras de almacenamiento. Asimismo, se verificó que no existía correlación con la lluvia y con los niveles de las aguas subterráneas.

Progress in the modelling applied to the disposal of low and intermediate level radioactive waste

## The influence of thermal conditions on the thermohydraulic behaviour of the engineered barriers at El Cabril

The studies performed as a result of the collection of water in the control containers of the low and intermediate level waste disposal structures at the El Cabril facility have catalysed the development of more complex and detailed engineered barrier behaviour

The models developed by Enresa and its collaborating organisations have made it possible to analyse the thermohydraulic behaviour of the El Cabril disposal structures with consideration given to the different materials present in them and their environment (conditioned wastes, concrete walls and slabs, rock, soil, air, etc.), as well as their layout and geometric characteristics, all of this without the restrictions applied in the simpler and more conservative models developed for radiological impact assessment.

As a result of these developments it has been possible to explain the process by which water has collected in closed disposal structures and the underlying causes: thermal connection of the structures to the exterior and the exis-

tence of a physical discontinuity (air chamber) between the concrete walls and the disposal containers, this activating a mechanism coupling processes of evaporation / condensation, diffusive vapour flow and capillary flow via different elements. BY Manuel Ordóñez, ENRESA.

tence of a physical discontinuity (air chamber) between the concrete walls and the disposal containers, this activating a mechanism coupling processes of evaporation / condensation, diffusive vapour flow and capillary flow via different elements.

#### Main functions and characteristics of the engineered barriers

The Enresa low and intermediate level radioactive waste disposal facility in operation has a multiple barrier system based on concrete and made up of the following elements: conditioned wastes, disposal containers, disposal structures and definitive covering layer. These elements form the engineered barriers and are designed to minimise the entry of water, allow seep-

Por otra parte, los modelos más simplificados utilizados en el estudio de seguridad de la instalación no eran aplicables para analizar el fenómeno, ya que en los mismos se impone, como condición de partida, la existencia de un flujo de agua a través de la estructura de almacenamiento, como metodología conservadora para la evaluación del impacto radiológico vía agua.

Además, y durante el seguimiento de la evolución temporal de la recogida de agua, se observaron patrones regulares que parecían indicar que la causa raíz podía estar relacionada con los materiales de construcción y la geometría y disposición de los diferentes elementos constructivos en las estructuras.

Todo ello llevó a elaborar un modelo termohidráulico más detallado de las estructuras de almacenamiento. Dicho modelo fue desarrollado por especialistas en hidrogeología del Departamento de Ingeniería de Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña, aplicando el código *code-bright*, previamente utilizado en análisis y simulación de almacenamientos de residuos de alta actividad. Adicionalmente, y como soporte de datos para la modelización, se realizaron distintos ensayos en los que participó personal técnico del Instituto de Cien-

cias de la Construcción Eduardo Torroja, Ciemat y Enresa.

### Características generales del modelo

El modelo que aparece en la figura 3 presenta una serie de características que le confieren gran potencialidad para la simulación de este tipo de sistemas, destacando las siguientes:

- Permite considerar los distintos materiales existentes y asignarles sus características geométricas y disposición en las estructuras de almacenamiento.

- No impone restricciones a la dirección y sentido del flujo de agua, el cual viene determinado como resultado del cálculo.

- Permite considerar con alto grado de detalle las interfases hormigón / aire y hormigón / terreno.

- Es aplicable tanto en condiciones de flujo saturado como no saturado.

- Permite analizar de forma integrada y acoplada procesos de evaporación / condensación, flujo de agua y de vapor, transferencia de calor y materia y los balances de conservación correspondientes.

- Tiene en cuenta las leyes físicas que gobiernan el comportamiento de los distintos materiales, tanto en condiciones saturadas como no saturadas.

### Resultados de la modelización

El modelo desarrollado ha permitido explicar los siguientes hechos observados durante el seguimiento del comportamiento de las estructuras de almacenamiento:

- El perfil de evolución de las cantidades de agua que se han recogido en la estructura de almacenamiento número 16, la primera en la que se detectó el fenómeno.

- La existencia de dos periodos anuales de recogida de agua y su pauta de comportamiento cíclico.

- La falta de correlación con la lluvia y con los niveles de las aguas subterráneas en el terreno adyacente.

Asimismo, predice que es un fenómeno general que tendrá lugar en todas las estructuras de almacenamiento, debido a la existencia de una cámara de aire entre las paredes de hormigón de las estructuras y los contenedores de almacenamiento y al hecho de que las estructuras están cerradas.

El mecanismo global es el siguiente:

- Existe un acoplamiento térmico de las estructuras de almacenamiento con el exterior.

- Se produce un salto térmico entre las paredes internas de los muros de hormigón y los contenedores ori-

age to be collected —when this occurs—, hinder intrusion in the long term and increase the capacity to retain the radionuclides in storage; in short to delay the transfer of radioactive components to the exterior, such that their impact is not significant in terms of dose and in all cases below the applicable regulatory and administrative limits. Figure 1 includes a diagram of the disposal system.

The conditioned waste packages are inserted in the reinforced concrete disposal containers, which measure 11 m<sup>3</sup> in volume, and mortar is injected in the space between them, such that the overall assembly of the wastes/packaging/immobilising mortar/container forms a continuous and compact block.

Each container is located inside the disposal structure, the containers being stacked four high in a chequered layout of 320 containers, and there is an air chamber between the containers and the inner walls of the structure (figure 2).

Each disposal structure has an individual control device for the collection of any water from inside.

### Background to the model developed

Since 1993, containers with wastes have been disposed of and several disposal structures have been closed —construction of the upper closure slab— as their capacity was completed.

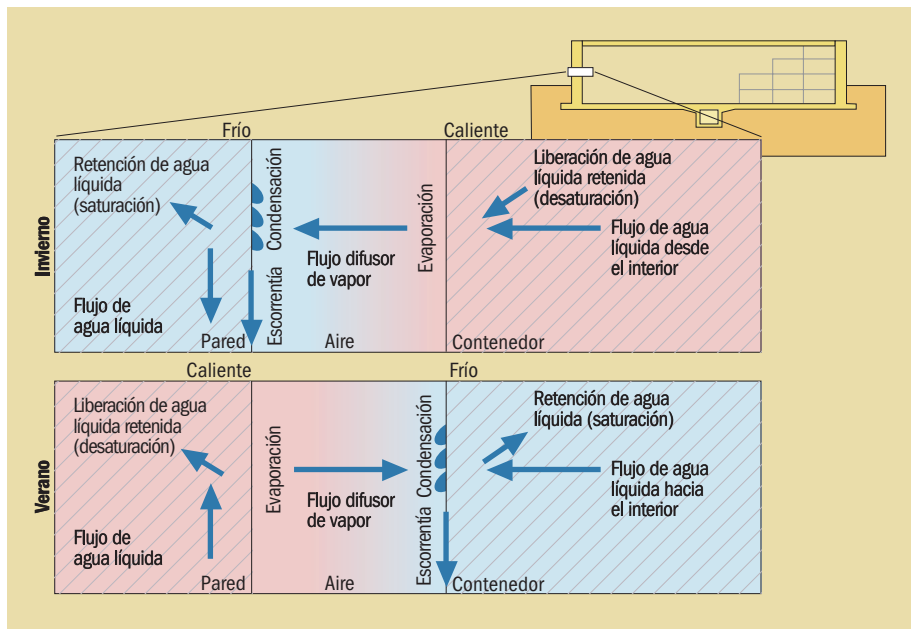
During the period 1993-2003 no water was collected from the structures, although as from this last date minor quantities, in terms of volume, have been detected.

With a view to investigating the underlying causes of the phenomenon, a specific action plan was started. In this respect a series of inspections and tests were performed, including the flooding of the upper slab of a structure, in which experimental evidence was obtained that ruled out the process being caused by the seepage of water through the concrete walls, slabs and seals of the disposal structure. It was also seen that there was no correlation with rainfall or groundwater levels.

Furthermore, the more simplified models used in the facility safety study were not applicable for analysis of the phenomenon since an input condition imposed was the existence of a flow of water through the disposal structure, as a conservative methodology for assessment of the radiological impact via water.

Likewise, during the monitoring of the evolution with time of the water collected, regular patterns were observed that appeared to indicate that the root cause might be related to the construction materials and the geometry and arrangement of the different construction elements in the structures.

All the above led to the development of a more detailed thermohydraulic model of the disposal structures. This model was developed by specialists in hydrogeology from the Soil Engineering Department of the Polytechnic University of Catalonia, applying the Code-Bright code previously used in the analysis and simulation of high level radioactive waste disposal. In addition, and by way of data support for modelling, different tests were carried out including the participation of the technical staff of the Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences, Ciemat and Enresa.



**Figura 4. Comportamiento en invierno y en verano de las barreras de ingeniería de El Cabril.**

ginado por la cámara de aire antes mencionada.

— Dicho salto térmico desequilibra las presiones de vapor e induce un flujo de vapor de agua entre los muros y los contenedores de almacenamiento. Dicho flujo va de los muros a los contenedores en verano, invirtiendo su sentido en invierno.

— Se produce evaporación en la pared interna de los muros de las estructuras de almacenamiento en verano y en

la pared de los contenedores a lo largo del invierno.

— Se produce condensación de vapor de agua en la pared de los contenedores en verano y en la pared interna de los muros de las estructuras de almacenamiento en invierno, lo que provoca la recogida de agua en los recipientes de control de las estructuras de almacenamiento.

— Se produce flujo capilar a través del hormigón, cuyo sentido, dirección y cau-

dal es función de los potenciales de agua y las características del hormigón.

En definitiva, la causa raíz del fenómeno es de tipo térmico, siendo ésta la fuerza impulsora que activa de forma cíclica el mecanismo antes explicado. En la figura 4 se incluyen los esquemas explicativos correspondientes.

Cabe mencionar que algunas de las consecuencias de la modelización han sido verificadas con instrumentación colocada en el interior de las estructuras del almacenamiento, por ejemplo la existencia de saltos térmicos entre superficies de hormigón y su inversión periódica a lo largo del año (figura 5).

Una vez identificada la causa de la recogida de agua se realizó un conjunto de actividades cuyos objetivos básicos fueron evaluar las consecuencias de los procesos antes indicados (flujo capilar, evaporación / condensación, etcétera) sobre la durabilidad de las barreras de ingeniería a corto y largo plazo, analizar la aplicación de medidas para minimizar o inhibir la recogida de agua, e identificar y, en caso necesario, implantar medidas complementarias de vigilancia, seguimiento y control del sistema de almacenamiento.

Finalizadas dichas actividades, los

#### General characteristics of the model

The model (figure 3) possesses a series of characteristics that provides it with a high degree of potential for the simulation of this type of systems, the following being particularly noteworthy:

- It allows consideration to be given to the different materials existing and their geometric characteristics and arrangement in the disposal structures to be assigned.
- It does not impose any restrictions on the direction of water flow, which is determined as a result of calculation.
- It allows the concrete /air and concrete /soil interfaces to be considered with a high degree of detail.
- It is applicable under both saturated and non-saturated conditions.
- It allows processes of evaporation /condensation, water and vapour flow, the transfer of heat and matter and corresponding balances of conservation to be analysed in an integrated and coupled manner.
- It takes into account the physical laws governing the behaviour of the different materials under saturated and non-saturated conditions.

#### Main results of modelling

The model developed has made it possible to explain the following events observed during the monitoring of the behaviour of the disposal structures:

- The profile of the evolution of the quantities of water accumulating in disposal structure number 16, the first in which the phenomenon appeared.

- The existence of two annual periods of accumulation of water and their pattern of cyclic behaviour.

- The lack of correlation with rainfall and groundwater levels in the adjacent soil.

It also predicts that this is a general phenomenon that will take place in all the disposal structures, due to the existence of an air chamber between the concrete walls of the structures and the disposal containers and to the fact that the structures are closed.

The overall mechanism is as follows:

- There is a thermal coupling between the disposal structures and the exterior.
- There is a thermal jump between the inner surfaces of the concrete walls and the containers, caused by the aforementioned air chamber.
- This thermal jump causes an unbalance of vapour pressures and induces a flow of water vapour between the walls and the disposal containers. This flow is from the walls to the containers in summer and in the opposite direction in winter.
- There is evaporation on the inner surface of the walls of the disposal structures in summer and on the wall of the containers in winter.
- There is condensation of the water vapour on the wall of the containers in summer and on the inner surface of the walls of the disposal structures in winter, this causing water to accumulate in the control containers of the disposal structures.
- There is a capillary flow through the concrete, the direction and flow of

principales resultados obtenidos han sido los siguientes:

— El efecto de la recogida de agua y de los procesos asociados con la misma sobre las barreras de ingeniería es irrelevante. Los ensayos de durabilidad realizados dan como resultado el mantenimiento de las características del hormigón a largo plazo.

— La minimización / inhibición de la recogida de agua se producirá al colocarse la cobertura definitiva sobre las estructuras de almacenamiento. La colocación de arena entre las paredes de hormigón de las estructuras y los contenedores anularía el proceso, al eliminar los saltos térmicos entre las superficies de hormigón. Esta última medida podría ser implantada en las estructuras de almacenamiento en operación, mientras que está previsto, en el diseño inicial, la colocación de una cobertura definitiva sobre la totalidad de las estructuras de almacenamiento. El efecto sobre la movilización de componentes radiactivos hasta el exterior, tanto a corto como a largo plazo, no es significativo.

### Otras aplicaciones de las metodologías desarrolladas

Los desarrollos realizados —cuyo origen se remonta a las actividades de I+D realizadas por Enresa desde los años

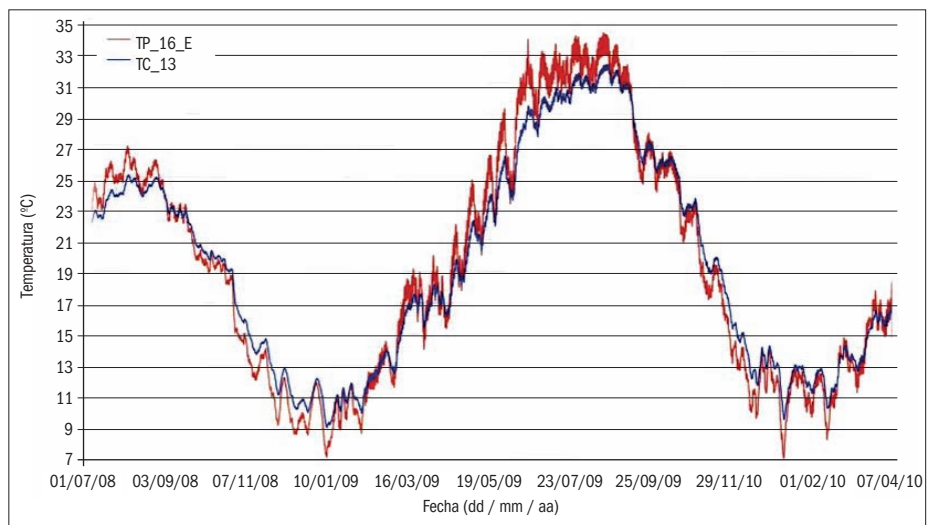


Figura 5. Datos experimentales de la diferencia de temperaturas entre muros y contenedores.

noventa en el campo de la modelización de sistemas de almacenamiento— tienen un conjunto mucho más amplio de aplicaciones, entre las que cabe citar las siguientes:

— Posibilitan modelizar ensayos de difusión y lixiviación, lo cual permite obtener datos de gran utilidad para la caracterización de residuos y su estudio de aceptación para almacenamiento.

— Son complementarios con la realización de ensayos de difusión / lixiviación.

— Permiten desarrollar modelos muy detallados sin las restricciones aplicadas

con otras metodologías (no es necesario considerar el medio saturado o imponer velocidades y direcciones al flujo de agua).

— Son de aplicación general a cualquier sistema y configuración: residuo acondicionado, contenedor de almacenamiento, estructura de almacenamiento, suelo contaminado, etcétera.

Finalmente, cabe destacar que son un claro ejemplo de que los desarrollos realizados dentro de los Planes de I+D de Enresa se traducen en metodologías y técnicas de uso actualmente rutinarias en la gestión de los residuos radiactivos.

which depend on water potential and the characteristics of the concrete.

In short, the root cause of the phenomenon is thermal in type, this being the driving force that activates the mechanism described above cyclically. Figure 4 includes the corresponding explanatory diagrams.

It should also be pointed out that certain of the consequences of modelling have been verified by means of instrumentation placed inside the disposal structures, for example the existence of thermal jumps between the concrete surfaces and their periodic reversal throughout the year (figure 5).

The cause of the accumulation of water having been identified, a series of activities were performed with the basic objectives of assessing the consequences of the processes indicated above (capillary flow, evaporation / condensation, etc.) for the short and long-term durability of the engineered barriers, analyse the application of measures to minimise or prevent the accumulation of water and identify and, where necessary, implement complementary measures for the surveillance, monitoring and control of the disposal system.

These activities having been completed, the main results obtained have been as follows:

— The effect of the accumulation of water and of the processes associated with it on the engineered barriers is not significant. The results of the leaching tests and the tests on resistance to aggressive chemical agents show that the characteristics of the concrete are maintained in the long term.

— The minimisation/prevention of the accumulation of water will occur when the definitive covering layer is placed over the disposal structures. Likewise,

the placing of sand between the concrete walls of the structures and the containers would cancel the process by eliminating the thermal jumps between the concrete surfaces. This last measure might be implemented in the operating disposal structures, while the placing of a definitive covering layer over all the disposal structures is contemplated in the initial design.

### Other applications of the methodologies developed

The developments carried out —the origins of which date back to the R&D activities undertaken by Enresa since the 1990's in the field of disposal systems modelling— offer a much wider set of applications, among which the following might be mentioned:

— They allow for the modelling of diffusion and leaching tests, which provide data of great use for the characterisation of wastes and the study of their acceptance for disposal.

— They are complementary to the performance of diffusion/leaching tests.

— They allow for the development of highly detailed models without the restrictions applied with other methodologies (it is not necessary to consider the saturated medium or impose water flow rates and directions).

— They are generally applicable to any system and configuration: conditioned waste, disposal container, disposal structure, contaminated soil, etc.

Finally, it might be mentioned that they are a clear example of the fact that the developments carried out within the framework of the Enresa R&D Plans translate into methodologies and techniques that are currently routinely used in the management of radioactive wastes.

**Luis Serrano tiene 51 años y acaba de estrenarse como director del que apunta a ser el primer centro de referencia científico español, el CRG, que él quiere situar entre los veinte primeros del mundo.** Lo dice con la seguridad de quien, gracias a la “locura” que preside su brillantísima carrera de biólogo en la que siempre se ha preguntado “¿y por qué no probar?”, está a punto de sacar su *píldora viva*, un *doctor celular* que es una auténtica revolución en el tratamiento de las enfermedades. Dentro de treinta años, pronostica, habrá organismos vivos diseñados por ordenador y se podrá intervenir en la genética para crear superhombres que vivan tres siglos, sin enfermedades como el Alzheimer o el cáncer, “guapos y listos”. Otra cosa, matiza, es que la sociedad lo permita, pero “se podrá”. POR **Concha Barrigós**, PERIODISTA.

*Luis Serrano,  
director del Centro  
de Regulación Genómica (CRG)*

“Dentro de 30 años será posible **diseñar hombres que vivan 300 años, guapos, listos y sin enfermedades**”

— *El Centro de Regulación Genómica (CRG), en el que coordina el programa de Biología de Sistemas, trabaja en el desarrollo de la ‘píldora viva’. ¿Qué es?*

— La idea es que las pastillas son drogas tontas, es decir, compuestos químicos a los que les da igual que tengas fiebre, que hayas cenado mucho la noche anterior o que tengas la insulina alta. Si consigues domesticar una bacteria y que se comporte como una mitocondria, poniéndole un montón de vectores en la superficie que midan el estado de la célula y respondan y secreten dependiendo de cómo está la célula, tendrás una *píldora inteligente*.

— *La píldora, es decir, un rediseño de la bacteria ‘Mycoplasma pneumoniae’, tiene sólo 680 genes y no tiene pared celular, sólo membrana. ¿Ya lo saben todo acerca de ella?*

— Vamos a llegar a un cierto punto de conocimiento que nos permita modificarla, pero entenderla ciento por ciento, no creo. Lo gordo se ha acabado a principios de este año. Ya hay un *paper* [artículo sobre la investigación] en revisión que a lo mejor aparece en *Nature* y otro que mandaremos a *Science*. Y el año que viene ya se empezará a aplicar porque estamos a punto de cerrar un acuerdo con una compañía farmacéutica.

— *¿Con cuál?*

— No lo puedo decir aún, pero no es española. Aquí son todas de genéricos y de andar por casa; y el capital riesgo de España, pues lo mismo. Es un poco para echarse a llorar. Salvo la Fundación Marcelino Botín —patrocinadora del proyecto, que cuenta también con el apo-

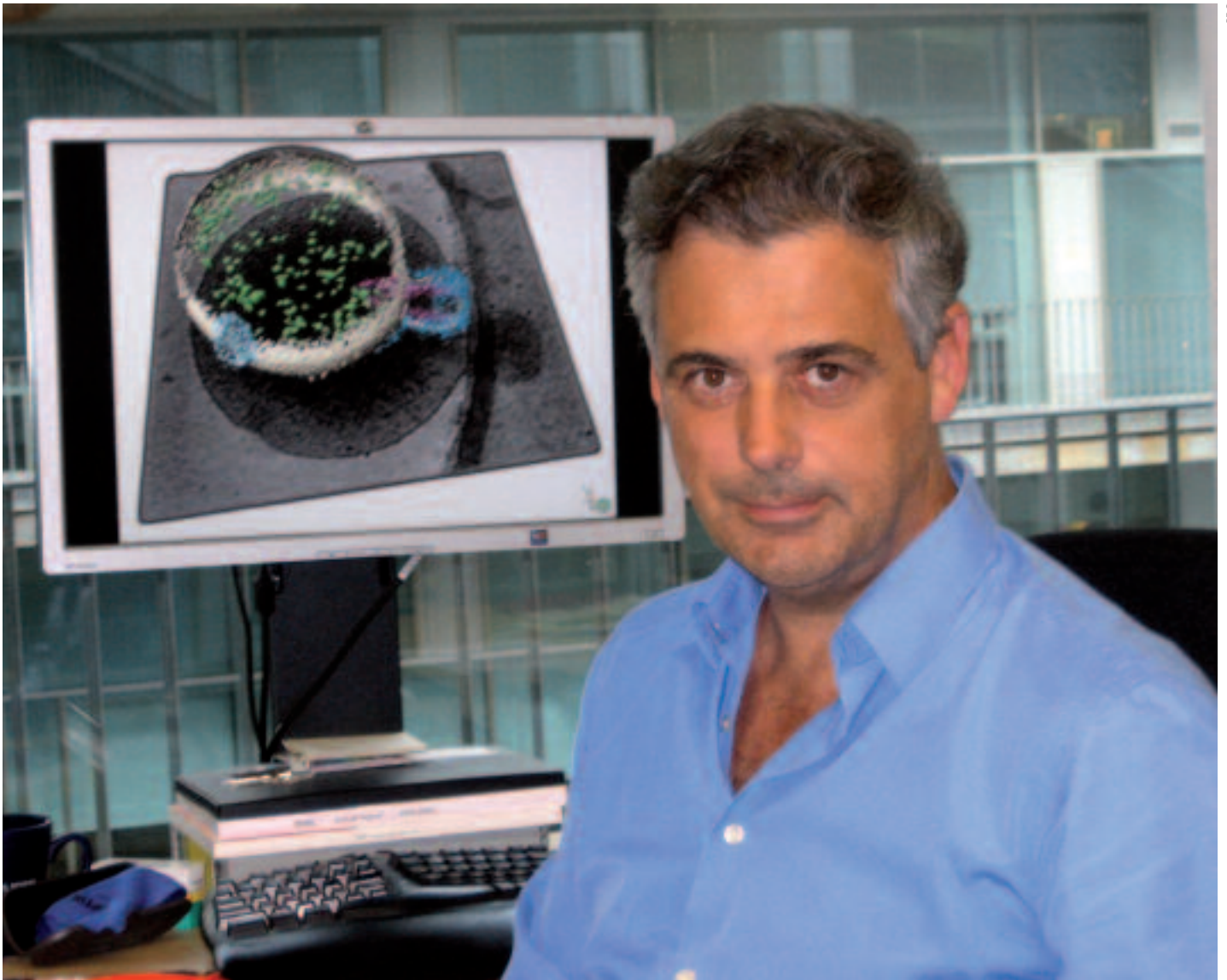
yo del Consejo de Europa y de los Consolidar—, que sí está apostando por este tipo de cosas...

— *¿Se expendirá en las farmacias?*

— Lo que vamos a hacer con la farmacéutica es algo muy sencillito, pero no, no será una píldora o algo que se compre en una farmacia, sino un tratamiento hospitalario. La hemos llamado así porque hace mono. Si todo va bien, el acuerdo se firmará en los próximos meses. Sería el primero de esta compañía fuera de Estados Unidos, porque hasta ahora sólo los ha firmado con Harvard, con el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) y el Salk Institute.

— *Suena, en todos los sentidos, a una oportunidad increíble...*

— A ver si la píldora esta me jubila —se ríe.



CRG

— *¿El CRG es el mejor sitio de los posibles?*

— Es uno de los mejores del mundo. Que no haya ninguna universidad española entre las cien primeras instituciones científicas y que el CRG, que sólo tiene diez años de vida y cinco de desarrollo, esté en el número 30 o el 28, dependiendo del criterio de análisis, me parece muy revelador. Demuestra que España es como California, que no hay ningún inconveniente para estar en el primer plano de la tecnología internacional, pero necesitamos financiación y flexibilidad en la universidad, dar autonomía a los centros, exigirles y darles mas recursos. No hay que inventar nada.

— *Tras un largo y exhaustivo proceso de selección, sustituye en la dirección del*

*CRG a Miguel Beato. ¿Se ve en el cargo dentro de diez años?*

— El proceso ha sido fruto de una oferta internacional. Se recibieron las candidaturas, el comité científico asesor hizo la selección y me propuso, entre diecisiete nombres, a mí. Lo ha aprobado el Comité Ejecutivo y el Facultativo, y luego el Patronato. El compromiso es dirigirlo durante los próximos diez años; ahora bien, como todo en esta vida, si viene el EMBL [Laboratorio Europeo de Biología Molecular, de donde le arrancó el CRG en 2006 y que ahora dirige el escocés Ian Mattaj (1952)], me dicen que Mattaj se jubila y me ofrecen la plaza, pues a lo mejor me lo pensaría —nuevas risas—. Podría haberme quedado en el EMBL, me habían ofrecido irme de director al Max Planck a

Munich y a Dortmund con mejores condiciones que las que tengo en el CRG, pero estoy aquí porque el *challenge* [desafío] es muy grande.

— *¿Cuál es ese reto?*

— Quiero un centro competitivo internacionalmente. Quiero estar en el número 15 o 10 del mundo, al nivel del EMLB, del Max Planck o del MIT, y que España, por primera vez en su historia, tenga un papel en la ciencia internacional. La ventaja es que hay grupos muy jóvenes que pueden hacer lo que quieren, que tienen nueve años para hacerlo y luego irse. Es una cosa que no tiene ningún otro centro excepto el EMLB, en Alemania, y eso permite un relevo constante de gente con ideas nuevas que le da un gran dinamismo. No creo que todos los centros tengan que

ser así, porque a cierta edad está bien una estabilidad, pero tener un centro como ése, en el que la gente tenga la oportunidad y los medios para demostrar lo

“Con el CRG quiero que España, por primera vez, tenga un papel en la ciencia internacional”

que vale y luego se vaya a otro lugar para ocupar una plaza más estable, es un modelo muy bueno. En el fondo estás formando jefes de grupo para que vayan a hacer ciencia a otros sitios. Es un lugar de alto entrenamiento, como La Masía del Barça —bromea de nuevo.

— *Craig Venter presentó hace unos meses su nueva criatura. Se llama 'Mycoplasma mycoides JVC-syn 1.0'* y es una bacteria. Ha sustituido su ADN natural por una copia casi idéntica —le quitó catorce genes y le añadió cuatro—. Posee una megabase frente a las 3.000 del genoma humano pero es, sin duda, el primer genoma creado por ordenador. ¿Es tan importante como parece?

— Sí, porque por primera vez se ha sintetizado y ensamblado un genoma completo. Es un gran *achievement* [logro] técnico.

— ¿Pero ha conseguido crear vida?

— No, pero se abre la puerta a hacerlo.

— *Pues con todo el revuelo que se formó... ¿Entonces lo de Venter es más 'marketing' o ciencia?*

— Ambos. Y lo hace magistralmente.

— *¿Qué habría pasado si en un laboratorio, por ejemplo español, se hubiera hecho algo por el estilo?*

— No hubiera tenido ni el 20% de repercusión. Para explicar lo que supuso el descubrimiento de Venter: a mí me llamaron a Bruselas de un medio diciendo que me mandaban un taxi para que fuera a explicar el impacto del hallazgo... ¡A

la una de la mañana! Dije que no, claro. Podía esperar al día siguiente.

— *La Ciencia, así, con mayúscula, ¿viene de Estados Unidos porque tienen el mejor modelo y el más práctico?*

— En España el máximo *grant* [subvención] que te puede dar una asesora es 200.000 euros al año y puedes dar palmas con las orejas. Se puede hacer buena ciencia pero nunca un proyecto de secuenciar 200.000 bases. En Estados Unidos tienes esa posibilidad y la financiación. Los proyectos con más *glamour* son más fáciles en Estados Unidos.

— *Con su experiencia actual y su paso por el Centro Nacional de Investigaciones Biológicas (CNIO), donde fue responsable de las unidades de Biología Estructural y Computacional, ¿cree que España, como ya sucedió con la biología estructural, la genómica y la proteómica, perderá el tren de la biología sintética?*

— El problema de nuevo es la cantidad de dinero que se quiere invertir, y muchas veces también es un problema de burocracia. No sólo en España, en toda Europa se dificulta mucho la movilidad, no hay flexibilidad, el dinero no abunda como tampoco el *think big*, es decir, piensa a lo grande: “Haré este proyecto loco, pero me voy a comer el mundo”. Si vas a una agencia de financiación aquí y les dices que vas a coger una impresora láser y que, en vez de ponerle tinta, vas a imprimir bases de oligonucleótidos y a sintetizar ADN, la probabilidad de que te lo financien es baja. En Estados Unidos lo harían. Nos falta un punto ahí.

— *¿Europa sigue aún muy preocupada por los aspectos éticos de proyectos como el de Venter?*

— La gente no es consciente de lo que puede hacer la biología sintética. Hasta el momento sólo ha habido un



poco de ruido, pero nadie se ha empezado a plantear aún que se va a poder diseñar un organismo humano. Es sólo cuestión de tiempo. Puede que en diez, veinte o treinta años. Ocurrirá de la misma forma que Pininfarina diseña la carrocería de un coche. Habrá un momento en el que la sociedad tendrá que pensar en los aspectos buenos y en los malos.

— *¿De verdad es posible manejar a los seres pluricelulares, como los eucariotas?*

— Eso lo hemos hecho en los últimos 20.000 años, por selección. Se ha hecho un diseño de una forma irracional y luego racional. A nivel de modificación del genoma, la ingeniería genética para corregir enfermedades, en el fondo, es diseño. Rediseñar rasgos complejos no es posible aún, pero en los próximos diez años veremos curar enfermedades genéticas, seguro; y en veinte o treinta veremos diseño a nivel de mejora de la producción del ganado, de resistencia a en-

fermedades, cosas de ese tipo. El problema ético es que llegará el momento en el que podamos modificar el genoma humano de una forma racional.

— *¿Habrá dos especies humanas: la que tenga dinero y la que no?*

— Eso ya pasa. Es clara la diferencia entre el Primer y el Tercer Mundo. Dentro de treinta o cuarenta años, si realmente podemos hacer diseño, el problema no será una diferencia de dinero, sino genética. Si puedes asegurar que tu hijo no tenga cáncer, viva 300 años, un IQ [cociente intelectual] de 150 y sea guapo, el mundo se dividirá entre quienes puedan hacerlo, el Primer Mundo, y los que no. Será posible, pero llevarlo a cabo dependerá de la sociedad. Es como clonar un ser humano. Si te pones, es posible. Otra cosa es que se deba hacer.

— *Una nueva forma de naturaleza...*

— No. Mejor. Cada uno tenemos doscientos o trescientos genes que no fun-

cionan. No somos óptimos, podemos perfeccionarnos.

— *¿Pagaría si le aseguraran que su hijo va a vivir doscientos años y no va a tener cáncer o Alzheimer?*

— Probablemente, sí. El problema es que haya dentro de treinta o cuarenta años diferencias a nivel genético y eso es irreversible, porque las mejoras se transmitirán de generación en generación. Va a pasar; es inevitable. Otra cosa es que la sociedad lo permita. A mí me gustaría que lo permitiera, pero con todo el mundo.

— *Todos con trescientos años.*

— Eso sería lo ideal. Lo que me parece éticamente incorrecto es crear dos grupos de seres humanos.

— *¿El ser humano es como un cáncer, queriendo ocuparlo todo y deseando ser eterno?*

— Por supuesto. Somos el peor parásito; nos siguen las ratas, las palomas y las cucarachas.

## El CRG, la gran esperanza

El Centro de Regulación Genómica (CRG), con sede en Barcelona, ha revolucionado los modelos de organización y de gestión de la ciencia en Cataluña y en España. Fomenta la movilidad y la internacionalidad de los investigadores; por ello, como sucede en el Laboratorio Europeo de Biología Molecular (EMBL), sólo pueden estar en él por un periodo: nueve años. Ésa ha resultado ser una de las claves para el posicionamiento del CRG entre los centros de investigación de referencia internacional.

Cuenta con 31 grupos de investigación, repartidos en seis programas interrelacionados: Regulación Génica, Genes y Enfermedad, Diferenciación y Cáncer, Biología Celular y Desarrollo, Bioinformática y Genómica y Biología de Sistemas, que incluye la Unidad EMBL/CRG de Investigación en Biología de Sistemas, que coordina Luis Serrano, que además ha sido subdirector del centro desde su llegada procedente del EMBL.

A su vez, en colaboración con la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona se han creado un programa de PhD Internacional y seis servicios científico-técnicos que incluyen Microscopía Óptica Avanzada, Genómica, Bioinformática, Cribado de Alto Rendimiento, Citometría de Flujo y Proteómica.

El CRG ha logrado situarse en el exclusivo mapa de la biomedicina internacional. Su enfoque apunta hacia la ge-

nómica, la epigenómica y la biología computacional y la biología postgenómica.

Así lo demuestran algunos parámetros, como por ejemplo, el último índice SCIMAGO de producción científica en el cual el CRG se posiciona a nivel internacional como el primer centro de España, el sexto de Europa y el vigésimo mundial en citaciones por publicación científica y en impacto de sus publicaciones.

El centro cuenta con diez investigadores ICREA, dos ayudas del Human Frontier Science Program (HFSP) y cinco ayudas del European Research Council (ERC), con lo que es uno de los centros de investigación en España con más ayudas del ERC en ciencias de la vida.

Coordina cuatro proyectos Consolider Ingenio 2010 y tres proyectos europeos, y es socio en otros dieciocho. En 2009, el CRG consiguió una dotación de más de 10 millones de euros en captación de fondos del 7º Programa Marco.

Entre los principales proyectos europeos conseguidos, destaca el programa postdoctoral Interpod (International Interdisciplinary Postdoctoral Programme) y los proyectos coordinados SystemTb para la investigación en tuberculosis o el proyecto Geuvadis para la estandarización y las buenas prácticas en estudios de secuenciación genómica.

## La pujanza del sector energético español lleva la energía 'made in Spain' a todo el mundo.

Grandes empresas como Iberdrola, Repsol, Gas Natural Fenosa, Abengoa o Gamesa producen y distribuyen equipos, combustible y electricidad en los cinco continentes con tecnología española. Las renovables se llevan la palma. A la cabeza de Europa, nuestro país asesora a otros, como China o Estados Unidos, para implantar energía limpia. ■ POR **Maruxa Ruiz del Árbol**, PERIODISTA.

*Las empresas españolas relacionadas con las renovables son un referente mundial*

# ENERGÍA 'MADE IN SPAIN'

ESPAÑA ES EL PRIMER PAÍS DE EUROPA y el segundo en el mundo en potencia solar termoeléctrica instalada; ocupa el segundo puesto a nivel europeo y el cuarto a nivel mundial en eólica; además, es el segundo en fotovoltaica, tanto en Europa como en el mundo, y el tercer país de la Unión Europea (UE) si se habla de energía minihidráulica. Estos hechos han colocado a las firmas españolas a la vanguardia mundial de la energía renovable. Nuestro tejido empresarial está en todas las fases de la cadena: desde los momentos preliminares —de estudio, viabilidad o diseño de ingeniería—, hasta la construcción o equipamiento de las plantas, o la gestión de los proyectos en términos de concesión. Iberdrola, por ejemplo, se ha convertido en la última década en una multinacional con presencia en 40 países y es líder mundial eólico. La energía solar de Abengoa está en 35 países y la eólica Gamesa trabaja en China y Estados Unidos.

Las energías tradicionales, como el gas y el carbón, también pujan alto más allá de los confines de la piel de toro. Las petroleras Repsol y Cepsa están presentes en diez y treinta países, respectivamente. Repsol desarrolla su proyecto más relevante en Brasil. Allí ha hallado entre 2007 y 2009 unos yacimientos petrolíferos

con tal potencial que la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) está planteándose incluir a los cariocas entre los mayores poseedores de reservas de hidrocarburos del mundo. Por último, Gas Natural Fenosa distribuye gas y electricidad y desarrolla actividades de generación eléctrica, de regasificación y exploración en veintitrés países de Europa, América y África.

### Presencia internacional de las principales empresas energéticas españolas

Iberdrola	40 países
Abengoa	35 países
Repsol	30 países
Gas Natural Fenosa	23 países
Cepsa	10 países
Gamesa	3 países

Pese a la crisis, que también se ha dejado notar en el sector, las compañías energéticas españolas están viviendo un momento dulce de expansión y reconocimiento mundial. La coyuntura actual de restricción del crédito supone una barrera porque los proyectos energéticos requieren fuertes inversiones, pero la internacionalización es, precisamente,

un antídoto contra esta recesión. “La diversificación geográfica de nuestro grupo juega un rol fundamental a la hora de equilibrar riesgos y aprovechar oportunidades”, explica Antoni Basolas, director general de Estrategia y Desarrollo de Gas Natural. En el negocio regulado de Gas Natural Fenosa prácticamente la mitad del resultado proviene de fuera de España. “La gestión de nuestros aprovisionamientos, la diversificación de orígenes y nuestras compras de gas, combinado con la infraestructura de transporte de gas natural licuado, nos da una flexibilidad que permite adaptarse a variaciones de precio y volúmenes de demanda y arbitrar entre mercados”, continúa Basolas.

Remolcadas por el ímpetu de las grandes empresas, muchas pymes también se están lanzando a conquistar el mundo. “Las pymes españolas se han beneficiado del efecto arrastre exportador que generan los grandes proyectos; sin embargo, es destacable el esfuerzo que han demostrado determinados subsectores, como la industria auxiliar de componentes, material eléctrico, productos metálicos, entre otros, en la internacionalización de sus actividades mediante estrategias propias de penetración en los grandes mercados”, afirma un portavoz del Depar-

tamiento de Tecnología del Instituto Español de Comercio Exterior (Icex).

El Icx ayuda a construir la reputación de España gracias a distintas iniciativas para mejorar su percepción como un país moderno con un tejido industrial tecnológico bien desarrollado. “El objetivo no es obviar la imagen tradicional de España, sino mostrar un nuevo perfil tecnológico a través de la marca *España, Technology for life*, en la que se agrupan negocios como las renovables y los trenes de alta velocidad, en los que España está a la cabeza”.

### El “Eje Atlántico” de Iberdrola

Cada empresa aporta su experiencia a esta marca de *savoir faire* energético. Iberdrola ha sido la mayor empresa de energías renovables en 2009. El crecimiento responde al incremento de la potencia y la producción. Su capacidad instalada ha ascendido hasta 10.752 megavatios (MW), un 16% más que en 2008. De sus nuevas instalaciones, el 28% corresponden a España y un 72% están fuera.

La actual estrategia de Iberdrola ha marcado en el mapa dos países prioritarios, Reino Unido y Estados Unidos, que junto con España y Latinoamérica forman el llamado “Eje Atlántico” de la compañía. Su expansión, como la de otras firmas, se ha visto reforzada por los renovados esfuerzos internacionales para reducir sus emisiones. En el caso del Reino Unido, Iberdrola ha encontrado en el nuevo plan energético del Gobierno británico una oportunidad para reforzar su presencia en la región. La empresa ya se ha adjudicado uno de los mayores parques eólicos marinos del mundo en el Mar del Norte (con un potencial de hasta 7.200 MW). Además está participando en el programa de nuevas nucleares de Gran Bretaña y ha adquirido un emplazamiento en Sellafield, al noroeste de Inglaterra, donde podrá instalar una central de 3.600 MW.

En 2007, Iberdrola se fusionó con ScottishPower —la tercera distribuidora de electricidad del Reino Unido—, una de las mayores operaciones de estas características afrontadas jamás por una empresa española en el país, y



Gamesa es uno de los principales fabricantes mundiales de aerogeneradores.



**Ignacio Sánchez Galán, presidente de Iberdrola, y Alex Salmond, primer ministro de Escocia, inauguran el parque eólico de Whitelee, el mayor de Europa con 322 MW de potencia instalada.**



**Plataforma petrolífera Sovex de Repsol, en Brasil.**

**Parque eólico Black Law II  
(Escocia) de Iberdrola.**



comparable a la actual integración de las aerolíneas Iberia y British Airways.

De la potencia instalada por Iberdrola durante 2009, 714 MW corresponden a Estados Unidos, 409 MW a España, 137 MW al Reino Unido y 191 MW al resto del mundo. Estados Unidos es su bastión más importante: está presente en veintitrés estados. También en ese país la empresa se ha beneficiado del impulso a las renovables del presidente Barack Obama y ha obtenido 577 millones de dólares de los fondos de estímulo que da el Departamento del Tesoro a las compañías inversoras en el país. Por último, la integración de Energy East (hoy Iberdrola USA) ha permitido a la compañía una posición fuerte en el transporte y la distribución de energía en Estados Unidos.

También Abengoa y Gamesa tienen Norteamérica como punto prioritario en el mapamundi. El último proyecto de Abengoa en tierras estadounidenses da buen ejemplo de cómo España exporta renovables punteras. El pasado 18 de mayo, la compañía anunció que pondrá en

## La eólica española, líder mundial

España fue el país europeo que más potencia eólica instaló en 2009 (2.459 MW) y se sitúa en segundo lugar, por detrás de Alemania, en el *ranking* de países europeos si se atiende a los datos acumulativos de este indicador, según la Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA). La industria eólica española es un referente mundial y cuenta con una ventaja: está especializada en todas las fases de la cadena de producción, es decir, desarrollo, instalación, generación y mantenimiento de parques eólicos. En los últimos quince años, la industria de esta energía ha tenido una evolución espectacular gracias al desarrollo tecnológico y económico que ha permitido a las empresas españolas acceder a los principales mercados internacionales.

España ha logrado situarse en una posición aventajada para lo que está por llegar. El Consejo Mundial de la Energía Eólica (GWEC) estima que la capacidad instalada de esta industria alcanzará en el mundo los 409 GW en 2014. Eso quiere decir que habrá un aumento del 160% con respecto a finales de 2009. Estados Unidos y China liderarán este crecimiento y Europa será el continente con mayor capacidad instalada hasta 2013, cuando cederá la primera posición a Asia según las previsiones del GWEC. Nuestras compañías ya están presentes en todo el mundo y tienen una presencia importante en Estados Unidos, donde se calcula que una cuarta parte de las instalaciones eólicas tienen firma española, sea por la empresa promotora o por el fabricante de los aerogeneradores. La apuesta del Gobierno estadounidense por esta energía brinda grandes oportunidades de negocio a nuestras empresas. ■

marcha un proyecto de investigación en colaboración con el Departamento de Energía de Estados Unidos en el que se invertirán 8,6 millones de euros. El Gobierno estadounidense está apostando por acelerar la comercialización de tecnologías solares. La iniciativa tiene como objetivo desarrollar una nueva técnica de torre solar con receptor y almacenamiento que permitirá producir energía incluso cuando no haya radiación solar.

Abengoa y Red Eléctrica de España (REE), junto con otras doce firmas internacionales, participan en el proyecto Desertec. La iniciativa busca aprovechar el sol de los desiertos del norte de África y Oriente Medio para producir energía para los países de la ribera del Mediterráneo. REE contribuirá con su experiencia en el desarrollo y operación de redes de transporte, además de ejercer como punto de conexión entre Norte y Sur. La propuesta, llamada *Desertec Industrial Initiative* (DII), pretende satisfacer con fuentes de energía renovables un importante porcentaje de la demanda de energía europea.

Por su parte, Gamesa, uno de los principales fabricantes mundiales de aerogeneradores, está presente en China y en Estados Unidos. En el país norteamericano se instaló en 2005 y ya dispone de dos centros de producción en Pensilvania, con una potencia de 1.200 MW.

La compañía anunció este año la apertura de su quinto centro productivo en China. Estará en la provincia de Jalin,

una de las principales zonas eólicas, será destinado a la fabricación de turbinas y comenzará a operar a mediados de 2011. En 2009, el país asiático se consolidó como el mercado de mayor crecimiento de energía eólica, duplicando casi su capacidad de generación, de 12,1 gigavatios (GW) a 25,1 GW en un año.

“La internacionalización está en el ADN de Gas Natural Fenosa desde 1992

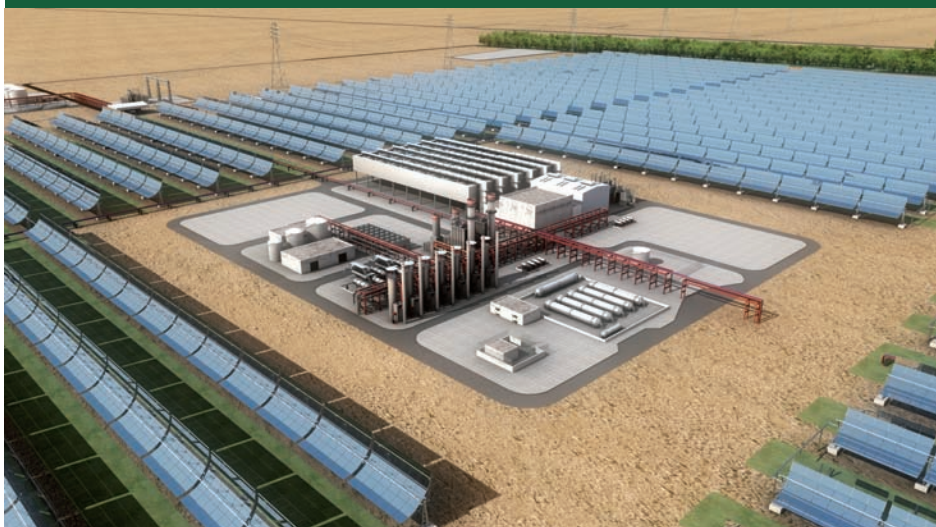


Gas Natural Fenosa, presente en veintitrés países, desarrolla proyectos para avanzar en su internacionalización.

## El Plan Solar Mediterráneo: un proyecto renovable para toda Europa

El Plan Solar Mediterráneo es una iniciativa nacida con pasaporte internacional. Europa está intentando que todos sus países cumplan el objetivo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero un 20% para 2020. Este proyecto quiere que ninguno de los Veintisiete se quede atrás. Aspira a generar en una década hasta 20 GW de energías renovables en toda la cuenca mediterránea, de los que se beneficiarán los 43 países agrupados en la Unión por el Mediterráneo.

Se trata de un proyecto estratégico que prevé la instalación de plantas de energías renovables —mayoritariamente termosolares— en el norte de África y Oriente Medio. Su objetivo es “impulsar el desarrollo económico e industrial de estas regiones mediante la mejora de su infraestructura eléctrica, el autoabastecimiento energético, la creación de empleo y la exportación de electricidad a Europa”. Según estimaciones de la propia Unión Europea, el desarrollo del proyecto supondrá inversiones —principalmente privadas— de cerca de 100.000 millones de euros en los próximos diez años. Con esa inyección se prevé crear las infraestructuras necesarias para la interconexión eléctrica con Europa. El Plan Solar Mediterráneo va más allá de los deseos de un país que se internacionaliza para crecer. Es una iniciativa global que nace para promover conjuntamente el ahorro y hacer frente al previsible incremento de la demanda energética en la región euromediterránea. ■



Esta planta solar diseñada por Abengoa en Abu Dhabi formará parte del Plan Solar Mediterráneo.

—asegura Antoni Basolas, su director general de Estrategia y Desarrollo—. Entonces, iniciamos la expansión internacional con la privatización de la red de distribución de gas en Buenos Aires, Argentina”. La empresa cuenta con veinte millones de clientes en todo el mundo y una potencia eléctrica instalada de 17 GW. Tiene presencia en veintitrés países y planes de seguir desplegando su red por el mundo. “El grupo está en una fase continua de evaluación de oportu-

nidades en nuevos mercados. En la actualidad estamos consolidando nuestra presencia en América y está desarrollándose en Francia e Italia, donde ya contamos con posiciones importantes en el sector gasista”, dice Basolas.

### Energías tradicionales

Los proyectos más relevantes de Repsol están en Brasil, Estados Unidos, Canadá o Venezuela, aunque desarrolla su actividad en Bolivia, Perú, Arge-

lia, Libia..., una lista de más de treinta países. Para la petrolera, Estados Unidos es un emplazamiento prioritario. Allí se ha convertido en el mayor suministrador de gas natural licuado. Sus actividades se han diversificado de tal forma que tiene presencia en el negocio de la exploración y producción, refino, gas, comercialización y distribución de lubricantes.

Tres de sus diez iniciativas clave, delimitadas por su plan estratégico 2008-2012, se relacionan con Estados Unidos: uno en el golfo de México, otro en Perú, que abastecerá a la costa oeste estadounidense, y otro en Alaska. Pero el proyecto con más futuro de Repsol está en Brasil. En la cuenca de Santos se vienen descubriendo desde 2007 una serie de yacimientos que están convirtiendo el país en una de las principales áreas de extracción de crudo del mundo. El presidente Lula da Silva ha asegurado que “Brasil será en unos años el tercer productor mundial de petróleo”. Por eso Repsol tiene en el país carioca una de las principales áreas de crecimiento del grupo en el mundo.

Repsol, Gas Natural, Iberdrola, Gamesa... Este conjunto de iniciativas, números y esfuerzos están consolidando una reputación sólida de las empresas españolas de polo a polo. “Cada año recibimos peticiones desde otros países para que les contemos cómo funcionan las renovables y los sistemas de ahorro de energía con los que contamos en España”, dice Sofía Martínez, experta del departamento de relaciones internacionales del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), dependiente del Ministerio de Industria.

Recientemente, el IDAE ha asesorado a China acerca de los detalles y la implantación nacional del Código Técnico de la Edificación. Esta normativa, que entró en vigor en 2009 en nuestro país para todas las edificaciones nuevas, logra ahorrar costes y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> un 30%, gracias a los principios de climatización invisible. Probablemente, China lo implantará en breve, siguiendo la estela de la energía *made in Spain*. ■



ENRESA

*El nuevo sistema consagra la actividad de Enresa como servicio público esencial y repercute el coste de la gestión sobre los generadores de los residuos*

Colocación de un bulto en un contenedor del almacén centralizado de El Cabril.

## El nuevo modelo de financiación de los residuos radiactivos

**La modificación de la Ley sobre Energía Nuclear y la del Sector Eléctrico tienen una notable trascendencia para Enresa.** En este artículo se reflexiona especialmente acerca de las tasas establecidas por la segunda norma que, puestas en marcha, cambian el sistema de financiación de la empresa para afianzarlo. ■ POR **Fernando Rey**, ENRESA.

EN EL AÑO 2009 SE PRODUJERON DOS modificaciones legislativas de gran importancia para Enresa. Por una parte, se modificó la Ley 25/1964, sobre Energía Nuclear, en el sentido de calificar la gestión de los residuos radiactivos como un servicio público esencial que se reserva a la titularidad del Estado, de conformidad con el artículo 128.2 de la Constitución española, y se encomendaba a Enresa la gestión de este servicio de acuerdo con el Plan General de Residuos Radiactivos. A estos efectos, Enresa se constituye como medio propio y servicio técnico de la Administración, realizando las funciones que le sean encargadas por el Gobierno.

Por otra parte, se modificó la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, en el sentido de disponer

que este servicio público se financie a través del cobro de tasas, recayendo el coste de la gestión de residuos directamente sobre los generadores de los mismos.

Con estas modificaciones legislativas se establece que la gestión de residuos radiactivos es competencia del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través de la Secretaría de Estado de Energía, que además será el Ministerio de Tutela de Enresa y el encargado de elevar para su aprobación al Gobierno el Plan General de Residuos Radiactivos, que establecerá la política sobre la gestión de los residuos radiactivos, incluido el combustible gastado, y el desmantelamiento y clausura de las instalaciones nucleares.

Desde el año 1985 Enresa ha venido prestando el servicio de gestión de resi-

duos radiactivos, ahora calificado como servicio público esencial. Hasta la entrada en vigor de las tasas, Enresa recaudaba básicamente por dos vías: por una parte, se cobraba a través de una cuota en el recibo de electricidad (tarifas y peajes) que las empresas eléctricas distribuidoras ingresaban en la Comisión Nacional de Energía y, por otra, se facturaba directamente a los generadores de los residuos radiactivos de acuerdo con la Disposición Adicional Sexta, vigente en ese momento. Este sistema de financiación es el que ha quedado modificado con la puesta en marcha de las tasas.

Por lo que respecta a la gestión de las tasas establecidas en el apartado noveno de la Disposición Adicional Sexta y a falta de atribución expresa en la ley, ésta ha quedado atribuida al Ministerio de



**Retirada de residuos radiactivos procedentes de un hospital.**

Economía y Hacienda (a través de la Agencia Tributaria-Departamento de Recaudación), que es el que está obligado a recaudar de los sujetos pasivos estos tributos. Para cumplir esta función, dicho ministerio, con fecha 26 de febrero de 2010, publicó la Orden EHA/408/2010, de 24 de febrero, que aprobaba los modelos de las tasas, tal como fija la Ley, y en su artículo sexto indicaba el procedimiento para la presentación telemática por Internet de los modelos 681, 682, 683 y 684 y los pasos a seguir para autoliquidar las mencionadas tasas. Dicha orden establece como único sistema de autoliquidación la vía telemática, a través de la sede electrónica de la página web de la Agencia Tributaria, con un certificado digital.

El mencionado apartado noveno de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico indica que tendrán carácter de tasas afectadas a los servicios de la gestión de los residuos radiactivos y que se ingresarán en el Tesoro Público aplicadas a un concepto no presupuestario.

Por otra parte, la Ley establece que, sobre las cuantías exigibles por las tasas a que se refiere el apartado 9, se aplicará el impuesto sobre el valor añadido que grava la prestación de los servicios objeto de gravamen.

### **Tipos de tasas por prestación de servicios**

Enresa es la prestadora del servicio público directamente a los generadores de los residuos (sujetos pasivos de las tasas); el Ministerio de Industria Turismo y Comercio tiene atribuido el servicio público; la Agencia Tributaria es la encargada de la gestión y recaudación de las tasas, y el Tesoro Público es el destinatario inicial de los fondos, antes de que el secretario de Estado de Energía los envíe hacia el denominado Fondo para la financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos.

Las tasas establecidas en la ley son cuatro y se analizan a continuación.

#### **■ Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos a que se refiere el apartado 3 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico**

El hecho imponible de esta tasa lo constituye la prestación de los servicios relativos a las actividades por la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares cuya explotación haya cesado definitivamente con anterioridad al 1 de enero de 2010, así como su desmantelamiento y clausura; también aquellos costes futuros correspondientes a las centrales nucleares o fábricas de ele-

mentos combustibles que, tras haber cesado definitivamente su explotación, no se hubiesen previsto durante dicha explotación y los que, en su caso, se pudieran derivar de que se produzca un cese de la explotación anticipado respecto al periodo establecido en el Plan General de Residuos Radiactivos por causa ajena a la voluntad del titular; el déficit de financiación que, en su caso, existiese tendrá la consideración de coste de diversificación y seguridad de abastecimiento.

Asimismo, constituye el hecho imponible la gestión de residuos radiactivos procedentes de aquellas actividades de investigación que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio determine que han estado directamente relacionadas con la generación de energía nucleoelectrónica, las operaciones de desmantelamiento y clausura que deban realizarse como consecuencia de la minería y producción de concentrados de uranio con anterioridad al 4 de julio de 1984, los costes derivados del reproceso del combustible gastado enviado al extranjero con anterioridad a la entrada en vigor de esta ley, y aquellos otros costes que se especifiquen mediante real decreto.

Esta tasa tiene la particularidad de que el ingreso en la Agencia Tributaria lo realizan las empresas distribuidoras de electricidad como sujetos pasivos sustitutos del contribuyente, que son las empresas explotadoras titulares de las centrales nucleares.

La cuota a ingresar está constituida por la multiplicación de la base imponible, formada por la recaudación mensual total derivada de la aplicación de los peajes de la Ley del Sector Eléctrico, por un tipo de gravamen del 0,001 por ciento.

#### **■ Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos a que se refiere el apartado 4 de la Disposición Adicional Sexta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico**

Constituye el hecho imponible de la tasa la prestación de los servicios relativos a las actividades por la gestión de los resi-



Trabajos de desmantelamiento en la central José Cabrera, en Almonacid (Guadalajara).

duos radiactivos y del combustible gastado generados en las centrales nucleares durante su explotación, con independencia de la fecha de su generación, así como los correspondientes a su desmantelamiento y clausura, y las asignaciones destinadas a los municipios afectados por centrales nucleares o instalaciones de almacenamiento de combustible gastado o residuos radiactivos, en los términos establecidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, así como los importes correspondientes a los tributos que se devenguen en relación con las actividades de almacenamiento de residuos radiactivos y combustible gastado. También constituye hecho imponible de esta tasa el cese anticipado de la explotación de una central nuclear por voluntad del titular, con respecto a las previsiones establecidas en el Plan General de Residuos Radiactivos.

La cuota a ingresar está constituida por la multiplicación de la base imponible expresada por la energía nucleoelectrónica bruta generada, por cada una de las centrales en cada mes natural, medida en kilovatios / hora brutos, por una tarifa fija unitaria de 0,669 céntimos de euro y un coeficiente corrector diferente según cuál sea el tipo de reactor, de agua a presión o de agua en ebullición, y su potencia bruta.

■ **Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos derivados de la fabricación de elementos combustibles, incluido el desmantelamiento de las instalaciones de fabricación de los mismos**

Constituye el hecho imponible de la tasa la prestación de los servicios de gestión de los residuos radiactivos derivados de la fabricación de elementos combustibles, incluido el desmantelamiento de las instalaciones de fabricación de los mismos. También constituye hecho imponible de esta tasa el cese anticipado de la explotación de una instalación dedicada a la fabricación de elementos combustibles por voluntad del titular, con respecto a las previsiones establecidas en el Plan General de Residuos Radiactivos.

La cuota a ingresar está constituida por la multiplicación de la base imponible expresada por la cantidad de combustible nuclear fabricado en cada año natural, medida en toneladas métricas, por un tipo de gravamen de 1.449 euros por tonelada.

■ **Tasa por la prestación de servicios de gestión de residuos radiactivos generados en otras instalaciones**

Constituye el hecho imponible de la tasa la prestación de los servicios de gestión de los residuos radiactivos generados en cualesquiera otras instalaciones no comprendidas en el hecho imponible de las tasas

previstas en las tasas anteriores y que son, básicamente, las instalaciones radiactivas, como hospitales, centros de investigación, universidades, industria, etcétera.

La cuota a ingresar está constituida por la multiplicación de la base imponible expresada por la cantidad o unidad de residuos entregados para su gestión por el tipo de gravamen, que dependerá del volumen y del tipo de residuos entregados.

**Colaboración a todos los niveles**

Para la puesta en marcha de este sistema de cobro a través de tasas, Enresa ha colaborado intensamente con distintos departamentos de la Administración central, en especial con la Subdirección General de Coordinación y Gestión del Departamento de Recaudación de la Agencia Tributaria.

Toda la gestión administrativa y de control corre a cargo de Enresa, que está en contacto directo con los sujetos pasivos, haciendo de puente entre éstos y la Agencia Tributaria y colaborando activamente con ellos para facilitarles el cumplimiento de sus obligaciones con respecto a estas tasas.

En este sentido y con referencia a la tasa cuarta, cuando Enresa lleva a cabo una retirada de residuos envía a las instalaciones radiactivas que corresponda, además de la factura para repercutir el IVA, un borrador del modelo 684 con todos los datos necesarios para liquidar la tasa, a través de la sede electrónica de la Agencia Tributaria con su certificado digital. De esta manera se intenta colaborar con estos productores de residuos en la nueva forma de pago de la prestación del servicio.

Este nuevo sistema de cobro evidencia la relevancia que se ha querido otorgar a la gestión adecuada de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de las centrales nucleares, asegurándose, mediante el cobro de las tasas, de que exista una financiación adecuada y suficiente para la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento y clausura de las centrales nucleares una vez finalizado su periodo de generación. ■

*Las redes sociales han supuesto una revolución en el mundo de la información con patrones multidireccionales y 'feedback' inmediato*

## Periodistas en Facebook



Tweet de EfeVerde a través del que se informó, en diciembre, de la Convención sobre el Cambio Climático.

**Emisor, mensaje y receptor. Éste es el esquema de la comunicación que se enseña en las facultades de Periodismo,** pero ahora hay que utilizar el plural en dos de los vértices de este triángulo: emisores y receptores. Las redes sociales difunden un mensaje, a veces a modo de titular, pero ahora los interlocutores se han multiplicado. El periodista no está solo, al otro lado hay millones de usuarios que quieren comentar, complementar y difundir la información. Quieren formar parte de la comunicación y dejar atrás el papel de “espectador”. El periodismo se enfrenta a un importante reto. ■ **POR Clemente Álvarez, PERIODISTA CIENTÍFICO Y AMBIENTAL.**

“**P**AÍSES LOGRAN ACUERDO DE PRINCIPIOS en Cancún y aumentan ambición de recortes”. Este breve anuncio de la agencia Efe, lanzado el pasado 11 de diciembre desde México, informaba de un importante paso en las negociaciones internacionales para frenar el cambio climático: se había conseguido un acuerdo en la XVI Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (la COP16); un pacto que servía para insuflar de nuevo vida a un proceso que parecía abocado al fracaso, como un año antes en Copenhague. Lo curioso del caso es que este titular de la agencia de noticias española no aparecía esta vez en ningún teletipo, sino que se había propagado en Internet a través de una popular red social. Uno de los siete periodistas de Efe desplazados a Cancún para cubrir la cumbre informaba del acuerdo desde Twitter, un sitio web de gran éxito en el que no se pueden escribir mensajes de más de 140 caracteres. Todo un cambio inimaginable hace muy poco tiempo. Pero, ¿se puede hacer realmente periodismo con micromensajes?

La red social más famosa hoy en día es Facebook, lanzada en 2004 por el estadounidense Mark Zuckerberg. Creada por este estudiante de la Universidad de Harvard (Estados Unidos) y sus compañeros de habitación, cuenta desde julio de 2010 con más de 500 millones de usuarios, tantos como todos los habitantes de los países de la Unión Europea. El éxito de esta red social, para contactar con amigos e intercambiar información con ellos, es tan abrumador que ha cambiado la forma de utilizar Internet; se ha convertido en uno de los sitios web en los que más tiempo pasan los internautas. Con cerca de 175 millones de usuarios, otra de las plataformas sociales con más tirón es Twitter. Este sitio web, puesto en marcha en 2006 por una pequeña empresa de San Francisco, es un servicio de micromensajería en el que los usuarios escriben y leen *tweets*. Si Facebook destaca por la enorme cantidad de gente que lo utiliza para comunicarse, de Twitter sorprende la velocidad con la que se puede propagar una información



Los periodistas se sirvieron de las diferentes redes sociales para informar acerca de la Conferencia sobre el Cambio Climático, celebrada en Cancún (México) el pasado mes de diciembre. En las imágenes, diversos momentos del desarrollo de la conferencia.

entre usuarios, habiendo demostrado ya ser más rápido que los propios medios de comunicación para informar de acontecimientos de impacto internacional, como terremotos, revueltas sociales, golpes de Estado...

### Unas cifras muy golosas

El éxito arrollador de esta nueva forma de comunicación entre los usuarios de Internet no podía dejar indiferentes a los propios periodistas, como tampoco a las empresas o cualquier institución interesada en difundir sus mensajes. ¿Cómo aprovechar el increíble poder multiplicador de estas plataformas utilizadas por millones de personas? Las redes sociales no parecen ya tanto un mero pasatiempo para hacer amigos cuando se comprueba las cifras de seguidores de algu-

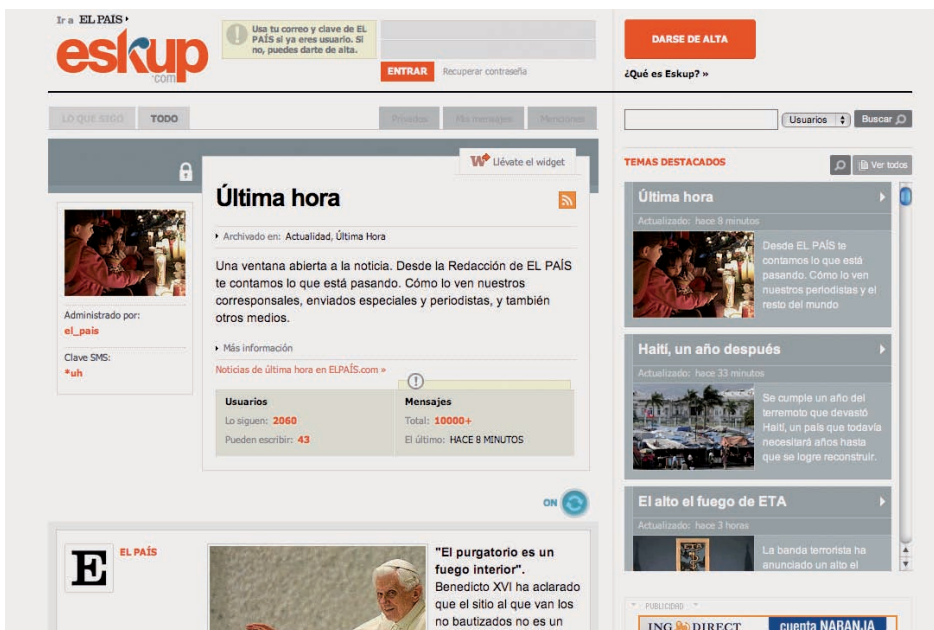
nos medios de comunicación y empresas estadounidenses en Facebook al cierre de esta edición: *The New York Times*, más de un millón; National Geographic, más de 4,4 millones; Starbucks, más de 19 millones; South Park, más de 20 millones; Coca-Cola, casi 22 millones. O en España: Zara, 7,8 millones; F. C. Barcelona, 8,6 millones; Enrique Iglesias, 11,3 millones. Los medios de comunicación españoles presentes en Facebook están muy lejos de estas cifras: *El País*, con 60.700 seguidores, y RTVE, con casi 50.000, están a la cabeza. Sin embargo, son ya muy pocos los que no se han introducido en alguna red social.

“Inicialmente pensamos en utilizar las redes sociales para dirigir tráfico a nuestras informaciones, pero nos hemos dado cuenta de que son una herramienta muy

buna para hacer comunidad con gente interesada en los mismos temas, como el medio ambiente”, cuenta Arturo Larena, director de EfeVerde, la sección ambiental de la agencia Efe que lleva cerca de un año experimentando con Facebook y Twitter, y que fue la encargada de la cobertura de la pasada Cumbre del Clima de Cancún. Entre los medios de comunicación españoles que están en estas nuevas plataformas, uno de los casos más llamativos es el de *El País*, que, además de participar de forma muy activa en las redes sociales más populares, ha probado incluso a lanzar la suya propia: Eskup. Este diario se ha servido de una plataforma creada en su día por el medio digital ya cerrado Soitu, del que procede una parte de su equipo técnico, para intentar crear una comunidad *online* entre sus



Para 'The New York Times', los periodistas que 'twitteen' tienen un público propio y más amplio.



'El País' ha lanzado su propia red social: Eskup.

periodistas y sus lectores. Además, este sistema de micromensajes —parecido a Twitter, aunque aquí con un máximo de 280 caracteres— permite retransmitir cualquier noticia en directo a la vez que interactúan los usuarios.

### La importancia del 'feedback'

Claro que el querer estar en las redes sociales no tiene por qué acabar en éxito. Sobre todo, si se pretende seguir los patrones de comunicación utilizados hasta ahora. “La información de la agencia era muy unidireccional, no teníamos

el *feedback* de nuestras noticias, pero con las redes sociales hemos empezado a interactuar con los demás”, incide el director de EfeVerde. “En cuanto dejas de interactuar pierdes a gente”. En contra de lo que puede parecer, el mayor desafío para hacer periodismo a través de las redes sociales no está en utilizar mensajes cortos, pues 140 caracteres son suficientes para dar un titular e incluir el enlace donde encontrar una información tan larga y detallada como se quiera (mucho más de lo que cabría nunca en una información escrita en papel).

La verdadera ruptura es que ahora el periodista no está solo. Todo lo contrario: está utilizando una red social en la que es un usuario más. Y ya no se trata sólo de informar a los otros, sino de comunicarse con ellos como un igual. “Hay algunos que se creen que por ser periodistas van a tener muchos seguidores, pero esto no es algo en lo que te metas de un día para otro, hay que trabajárselo poco a poco”, explica Delia Rodríguez, periodista tecnológica. “Sí, aquí está todo el mundo, están todos, pero hay que entender que ya están hablando entre ellos”. Si entra un periodista, no van a ponerse a escucharle sin más.

Esta diferencia esencial no es exclusiva de las redes sociales, sino que constituye uno de los grandes cambios de la llamada web 2.0. A diferencia de la comunicación clásica que se enseñaba en las facultades de Periodismo, en estas redes sociales no hay un emisor y un receptor, sino millones de emisores y receptores. Esto también influye en gran medida en la forma en la que se mueven las noticias en la Red: una parte del tráfico de las webs de los medios de comunicación viene ahora por las redes sociales, donde sus usuarios comparten las noticias que más les gustan, a la vez que las critican o las comentan. Todo ello pone de manifiesto que los usuarios quieren formar parte de la comunicación y no están dispuestos a seguir siendo meros espectadores. Pero esto constituye también un muro contra el que chocan muchos periodistas, además de provocar más de una situación embarazosa a empresas que se han querido sumar a las redes sociales. Es muy comentado el caso de Robertus Fanta, un concurso puesto en marcha por Coca-Cola España utilizando las redes sociales. Si uno se mete en Facebook puede encontrar la página “Robertus Fanta” creada por los organizadores, pero también otra con el nombre de “Fantongo”, lanzada por un grupo de participantes descontentos. Algo similar ocurrió con la campaña “Esto sólo lo arreglamos entre todos”, que difundió un grupo de empresas y organizaciones del país hace unos meses como respuesta a la crisis. Poco después

de crearse su página en Facebook, surgía otra nueva de forma espontánea: “Esto sólo lo arreglamos sin ellos”. Conclusión: el control de las redes sociales lo tienen los propios usuarios.

“Hay muchísimos periodistas en Twitter y en redes sociales, pero en España es un mundillo bastante cerrado, hablan entre ellos”, comenta Delia Rodríguez, a la que le encantan los 140 caracteres. En muchas redacciones del país existen ya equipos específicos que se ocupan de *mover* las noticias en las redes sociales e interactuar con los otros usuarios (una función de la que se encarga la figura del *community manager*). En el *blog Periodistas 21*, Juan Varela, periodista y consultor de medios, cuenta cómo, en los medios con los que trabaja, Facebook oscila entre un 4% y un 8% del tráfico indirecto a la información, mientras que Twitter está todavía entre el 1% y el 3%. Sin embargo, en el caso de su propio *blog*, en noviembre pasado casi el 20% del tráfico indirecto provenía de Twitter frente a un 6% de Facebook. Para este experto, el debate sobre el impacto de las redes sociales en la información resulta ya inútil. Pero considera que se debe ir más allá en lo que se refiere al tráfico: “El mayor desafío para los medios es convertirse en un nuevo espacio público y aumentar la participación de calidad”. Para Delia Rodríguez, las redes sociales son también mucho más que una forma de aumentar las visitas a sus informaciones. “Se usan para *mover* las noticias, para mí son también la calle. Se dice que los periodistas tienen que salir de las redacciones, y es cierto, pero para mí, que soy periodista tecnológica, las redes sociales son la calle de donde saco las historias”, cuenta Rodríguez, que asegura: “Si me quedo sin Twitter es peor que si me quedara sin agenda”.



## ¿Cómo actuar en las redes sociales?

**Escuchar:** Las redes sociales no sirven sólo para difundir mensajes; es fundamental escuchar a los demás. No será fácil que nos sigan otros si a la vez nosotros no mostramos interés por los demás. Para un periodista resulta también de gran importancia comprobar cuáles son las reacciones a sus informaciones.

**Compartir:** Una de las formas más habituales de participar en las redes sociales es compartiendo enlaces de informaciones interesantes. De este modo, se selecciona entre todos lo más destacado de la Red. Pero no se trata de que cada uno difunda sólo sus propias informaciones, sino de recomendar también lo mejor de los demás.

**Conversar:** No hay que tener miedo a interactuar con los demás usuarios. Sobre todo, no hay que dejar de responder a las preguntas de los otros usuarios. No hay que olvidar que esto es una red en la que lo importante es, justamente, la colaboración entre usuarios.

**Informar:** Por muy grande que sea el cambio de un medio convencional a una red social, el periodista no debe dejar de serlo cuando escribe en este tipo de redes. Esto significa que debe seguir contrastando las informaciones y comprobando las fuentes, aunque lo que escriba sea un simple mensaje de 140 caracteres. Esto vale también a la hora de recomendar informaciones de los demás. ■

### El redactor polivalente

De forma reciente, *The New York Times* anunciaba que eliminaba el puesto de *community manager* en su redacción. ¿Le han dejado de interesar las redes sociales a uno de los periódicos más influyentes del mundo? Al revés. Los editores del diario consideran que esta labor no puede ser desempeñada por una persona, sino que debe recaer en todos los periodistas de la redacción. “Lo que ha dicho *The New York Times* es que cada periodista debe ser su propio *community manager*”, incide Rodríguez, que considera que esta nueva situación da mayor peso a aquellos profesionales que han conseguido que se reconozca su firma: “Son periodistas con un valor añadido, son especialistas y tienen su propio público, independientemente del medio en el que escriban”. El director de EfeVerde también considera que los periodistas deben ser polivalentes, aunque no sin dejar de reconocer que hoy por hoy las redes sociales no son una herramienta habitual de los redactores de la agencia.

¿Esta forma de comunicación en la que se multiplican las voces no crea aún más caos? Para muchos sigue siendo un contrasentido utilizar un sistema tan anárquico como el de las redes sociales para informarse. Si ya hay demasiado ruido en Internet, ¿cómo se puede pedir ahora a los periodistas que se mezclen con el resto de usuarios? Sin embargo, la opinión de los expertos en Internet es justo la contraria: las redes sociales son vistas también como parte de la solución al actual exceso de información en la Red. “Hay mucha información y llegar a lo importante ya no es tan sencillo, las redes sociales pueden ayudar”, comenta Arturo Larena, director de EfeVerde. Esto ocurre en la propagación de las noticias en las que participan los usuarios, pues entre todos llevan a cabo una selección que, en teoría, debería favorecer la expansión de las informaciones más interesantes. Ya no se trata de la audiencia anónima, pues aquí los usuarios tienen nombre. Además, uno puede escoger por qué usuarios se deja guiar. ■

**Hace cuatro décadas regresaron a la Tierra 382 kilos de piedras. La materia de la que están hechas salió despedida de nuestro planeta** unos 4.500 millones de años antes, cuando el impacto de un objeto del tamaño de Marte produjo el desprendimiento de los materiales que formarían la Luna. Su viaje de vuelta se desarrolló de forma menos violenta, ya que fueron cuidadosamente recogidas por los astronautas de las seis misiones Apolo que alcanzaron su objetivo. Su análisis por parte de grupos de investigación de todo el mundo reveló datos fundamentales sobre el origen y evolución de nuestra compañera espacial, que aún resultan asombrosamente fructíferos. Este mismo año, se ha publicado un artículo sobre la presencia de rastros de agua en una de estas rocas, lo que amenaza con desestabilizar las teorías más firmemente asentadas sobre el nacimiento del satélite. Renace así la carrera por estudiar estas muestras, si es que alguna vez ha decaído. ■ POR **Ignacio F. Bayo**, DIVULGA.

*Las muestras rocosas recogidas por los astronautas de las misiones Apolo siguen deparando sorpresas. ¿La última? El hallazgo de agua en su composición*

## Historias Lunares

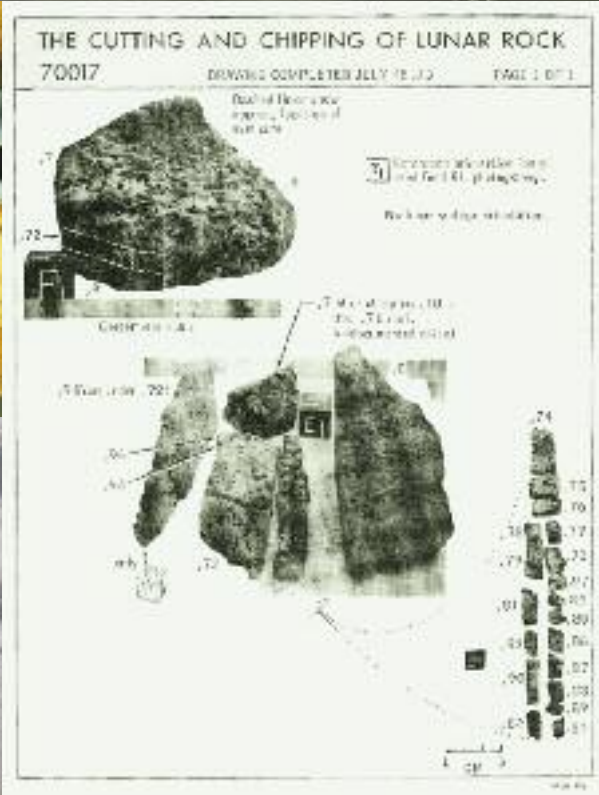
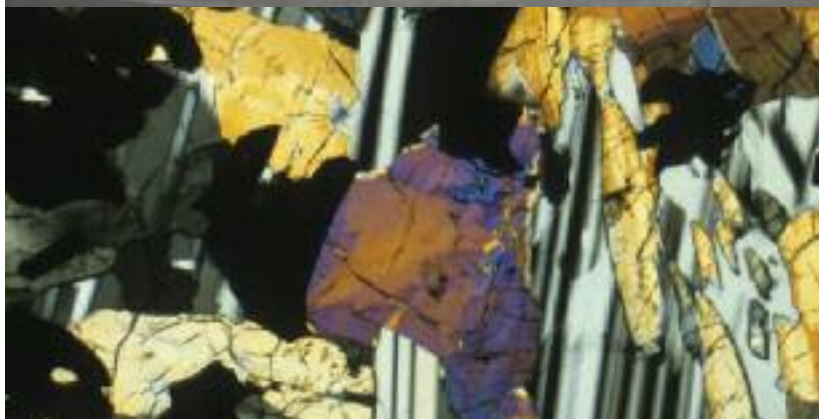
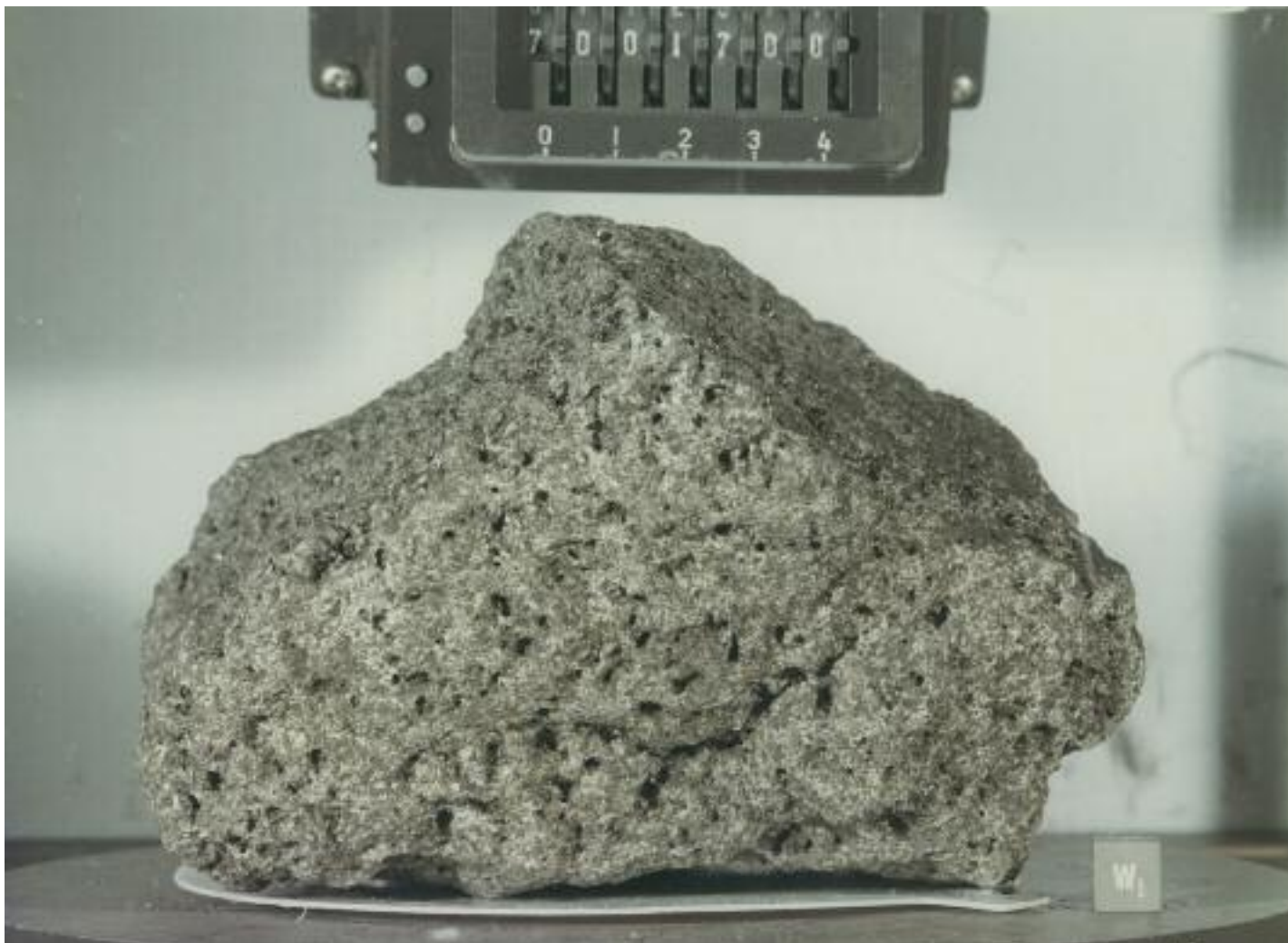
**C**ADA HISTORIA TIENE SUS TESTIGOS, y cada testigo su historia. La de la Luna, a efectos prácticos, tiene 2.415 testigos, que son las muestras rocosas que se trajeron, entre 1969 y 1972, los astronautas, y que constituyen el mayor tesoro legado por el proyecto Apolo, aquella aventura ambiciosa y arriesgada que se inauguró como la mayor gesta jamás protagonizada por la humanidad y que en apenas tres años se disolvió en la nada. Esos 382 kilos de Luna, formado por piedras de varios tamaños que contenían polvo y arena, han sido objeto de curiosidad, admiración y deseo. Richard Nixon, presidente de Estados Unidos por aquella época, utilizó una pequeña parte para hacer regalos distinguidos y exclusivos a diferentes jefes de Estado; otras fueron donadas a instituciones para que las exhibie-



Un astronauta del 'Apolo 17' junto a una roca lunar.

ran ante el público y, por último, otra parte fue a parar a laboratorios de investigación de todo el mundo, si bien estadounidenses en su mayoría, para revelar los secretos que ocultan, la parte de la historia lunar que cada una puede contar a quien sepa escucharla.

Todo ese conjunto de donaciones aún no ha restado más que unos pocos kilos al total del tesoro, que se custodia bajo fuertes medidas de seguridad y en atmósferas controladas en la Astromaterials Acquisitions and Curation Office de la NASA, en el Johnson Space Center. Pese a las precauciones que se habían tomado, algunas muestras desaparecieron y fueron objeto de un minúsculo pero muy selecto mercado negro. En realidad no son más que unas simples muestras rocosas de composición vulgar, pero se han cotizado a precios que únicamente superan las grandes obras de arte y ni siquiera éstas si hacemos la comparación al peso: tres minúsculos granos de arena cuyo peso era de apenas 0,2 gramos se vendieron por casi medio millón de dólares en el año 1993, y es fácil imaginar que se hayan



Piedra lunar recogida por el 'Apolo 17'. Debajo, dos imágenes de microscopio de distintas partes de la roca y esquema del corte de la misma para su análisis.

## Trocitos de Luna en España

Resulta difícil hacer un catálogo de la presencia de muestras rocosas de la Luna en España. La información está dispersa y, en ocasiones, quedan sólo nociones nebulosas sobre su existencia y su destino. Es bien conocido que las autoridades estadounidenses regalaron una muestra al general Francisco Franco, que desapareció hace más de un cuarto de siglo y que algunos medios de comunicación aseguran que fue objeto de un intento de subasta en Londres. El almirante Luis Carrero Blanco, mano derecha del dictador, recibió otra muestra, que fue donada por sus descendientes al Museo Naval, donde puede ser actualmente contemplada por los visitantes. Estas muestras fueron entregadas por los astronautas del *Apolo 11*, Armstrong, Aldrin y Collins, durante la visita que hicieron a España, en octubre de 1969, dentro de una larga gira internacional.

Parece ser que Manuel Casajust, ingeniero y militar republicano que colaboró con la NASA en aquellos años, recibió otra muestra directamente de Neil Armstrong. Se trataba, según publicaba la revista *Aviación Digital* con motivo del cuarenta aniversario del *Apolo 11*, de un reconocimiento a la figura de su maestro, Manuel Herrera Linares, autor de una de las primeras propuestas de traje estratosférico en las que se basó el que usaron los astronautas de las misiones *Apolo*. Esta muestra fue donada al Ejército del Aire por Casajust en 1986, pasando al Museo del Aire de Cuatro

alcanzado precios más elevados aún en ventas y subastas clandestinas.

Sin embargo, hacerse con una muestra puede ser mucho más sencillo y legal: basta con presentar una solicitud acompañada de un proyecto de investigación bien planteado y pertenecer a una institución científica reconocida. Cada año se distribuyen cientos de muestras a laboratorios y a museos y centros educativos de todo el mundo, para trabajos de investigación o de divulgación, respectivamente. Se trata de minúsculas piezas, obtenidas por cuidadosa laminación de las muestras originales. De hecho, el catálogo de muestras utilizadas procedente de las 2.415 rocas originales asciende ya a más de 110.000, cada una de ellas perfectamente documentada y fotografiada. La información sobre las peculiaridades de cada muestra puede consultarse actualmente a través de Internet.



Recibimiento de los astronautas del 'Apolo 11' en Madrid, en 1969; muestra lunar regalada por éstos al almirante Luis Carrero Blanco.

Vientos (Madrid) en 1995. Desde 2006 y tras infructuosos esfuerzos por localizarla, esa muestra se da por desaparecida, si bien las últimas noticias sobre su paradero la sitúan en el despacho de su director.

En su citada visita a Madrid, parece ser que Neil Armstrong también hizo entrega de una roca al Museo Nacional de Ciencias Naturales, en un acto en el que estuvieron presentes su entonces director, el catedrático de Petrología de la Universidad Complutense de Madrid José María Fuster Casas, y el presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) del momento, Manuel Lora Tamayo. Según Javier García Guinea, petrólogo del Museo y conocedor indirecto de la historia, "yo llevo aquí desde 1985 y he buscado esa roca por todas partes y no he encontrado nada. Puede que se la llevara a su despacho el presidente del CSIC y acabara desapareciendo o que Fuster Casas se la llevara a su despacho de la facultad y ande por allí perdida". García Guinea dice que "conociendo a Fuster me extrañaría que no hubiera hecho una lámina para analizarla al microscopio, pero no creo que llegara a hacer ninguna publicación".

Aparte del posible trabajo de Fuster Casas, sólo hay constancia de un trabajo científico realizado con muestras lunares en nuestro país. La Junta de Energía Nuclear (JEN), hoy Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), fue el escenario del experimento, en el que se sometió a las muestras a un intenso bombardeo con neutrones para determinar la presencia de los elementos presentes en las mismas. Para

El templo lunar es el edificio 31-N del complejo de construcciones que forma el Johnson Space Center de la NASA. Fue levantado a finales de los setenta, años después de finalizar las misiones Apolo, y se hizo con minucioso cuidado para evitar que los materiales que lo forman contaminen químicamente las muestras, además de estar hecho a prueba de terremotos, huracanes y otros desastres naturales. Las muestras se conservan en bolsas de teflón, dentro de cabinas herméticas de aluminio y acero inoxidable, en cuyo interior se mantiene una atmósfera de nitrógeno de condiciones rigurosamente controladas. Su

### La NASA guarda las muestras

El templo lunar es el edificio 31-N del complejo de construcciones que forma el Johnson Space Center de la NASA. Fue levantado a finales de los setenta, años después de finalizar las misiones Apolo, y se hizo con minucioso cuidado para evitar que los materiales que lo forman contaminen químicamente las muestras, además de estar hecho a prueba de terremotos, huracanes y otros desastres naturales. Las muestras se conservan en bolsas de teflón, dentro de cabinas herméticas de aluminio y acero inoxidable, en cuyo interior se mantiene una atmósfera de nitrógeno de condiciones rigurosamente controladas. Su

ello se utilizó el reactor experimental JEN-1, que permitía realizar análisis por activación neutrónica, un método novedoso por aquel entonces en el que se había formado Antonio Travesí, investigador de la JEN.

“Yo estuve un año en la Universidad de Cornell con una beca financiada por la NASA y allí trabajé con el profesor Morrison en la preparación de muestras lunares para analizar”, explica Travesí, ya jubilado. Corría el año 1970 y el investigador español supo que existía la posibilidad de que se presentara un proyecto desde España. “La información sobre el programa de investigación abierto a todo el mundo la habían enviado al Ministerio de Asuntos Exteriores —recuerda ahora—, pero, claro, nadie le hizo caso y dormía en un cajón. Cuando regresé a España, se lo conté a mi jefe y decidimos presentar un proyecto. Preparamos un programa consistente y conseguimos que nos lo dieran”.

La cosa no era sencilla, porque según recuerda Juan Palomares, otro investigador de la JEN que participó en el estudio, “fuimos uno de los quince laboratorios de todo el mundo que lo consiguieron y fue, sobre todo, porque teníamos el reactor experimental con el que hacer el análisis por activación neutrónica, del que pocos laboratorios disponían”. El material eran dos muestras de polvo procedentes del *Apolo 11* y del *Apolo 12* que apenas llegaban a pesar un gramo. El objetivo fue comparar la composición de ambas muestras entre sí y con los resultados de otros experimentos. “Era un polvillo negruzco que recordaba a la carbonilla de los trenes, y es porque, como en la Luna no hay atmósfera, los materiales lunares están sometidos al bombardeo de la radiación cósmica”, dice Travesí. Las muestras venían numeradas, perfectamente embaladas y con una

amplia documentación acerca de la roca de la que procedían, de qué parte exacta, su posición al ser recogida, su orientación hacia el Sol...

El ensayo vaporizó buena parte de la muestra. El resto “había que tratarlo con ácido para disolverlo y eliminarlo, y hubo que levantar un acta de todo porque así lo exigía la NASA”, según Travesí. Ambos investigadores y un tercero, Juan Adrada, escribieron un artículo que presentaron en la segunda Conferencia de Ciencias Lunares, en 1971. Aunque el resultado aportó algunos datos interesantes, la línea de investigación no tuvo continuidad. Según Travesí y Palomares, hubo alguna otra petición de muestras por parte de un par de organismos de investigación, tramitadas a través de la entonces denominada Comisión Nacional de Investigación Espacial (CONIE), que fueron rechazadas por la NASA.

**Muestras lunares traídas a la Tierra por las misiones estadounidenses y soviéticas** (además, hay una veintena de meteoritos lunares).

Misión	Muestras (kg)	Año
Apolo 11	22	1969
Apolo 12	34	1969
Apolo 14	43	1971
Apolo 15	77	1971
Apolo 16	95	1972
Apolo 17	111	1972
Luna 16	0,101	1970
Luna 20	0,055	1972
Luna 24	0,170	1976

manipulación se realiza por personal especializado mediante guantes apropiados, formados por tres capas. Cuando se aprueba el envío de un ejemplar a un grupo de investigación, se introduce en bolsas hechas con los tres materiales citados (aluminio, acero inoxidable y te-

flón), que son los únicos que pueden estar en contacto con las muestras, y se envían de acuerdo con un exigente protocolo de seguridad.

Pero el centro no sólo se dedica a conservar. Cada año se preparan y envían unas cuatrocientas muestras a los sesen-

ta laboratorios que trabajan habitualmente con ellas y algunos más que lo hacen ocasionalmente. Los restos residuales tras el trabajo científico deben ser devueltos a la NASA o destruidos de forma concienzuda y documentada y ante testigos que levanten acta. Las cifras



Las muestras de piedras lunares obtenidas por las misiones Apolo se conservan en el Johnson Space Center, en bolsas de teflón y dentro de cabinas herméticas.

indican el alto grado de interés que el estudio de las rocas lunares sigue suscitando, y eso hace que, aunque podría parecer que ya se sabe todo sobre la composición de estas piedras y que ya se han extraído todas las conclusiones posibles, de vez en cuando surja una sorpresa. La del año 2010 es quizás de las más relevantes de los últimos años. “Han aparecido minerales hidratados, concretamente *apatito*, con oxidrilos en porcentajes de unas 1.600 partes por millón, no muy diferentes a las de las rocas terrestres”, explica Francisco Anguita, especialista en geología del sistema solar.

La presencia de agua en la Luna ha sido objeto de atención mediática en los últimos años, por lo que el descubrimiento podría parecer poco novedoso. Pero el agua detectada hasta ahora era hielo acumulado en las zonas de sombra de los cráteres lunares, cuyo origen se achaca a las aportaciones de los cometas (hechos de hielo y polvo) que chocaron con la Luna a lo largo de su historia. En cambio, el hallazgo de rastros de agua en la composición de estas rocas, basaltos emergidos por procesos de vulcanismo desde el interior del satélite, revelan un origen antiguo del proceso mismo de formación del satélite. Y sus consecuencias pueden alterar el paradigma vigente. “Este hallazgo ha hecho que se empiece a discutir la teoría de la *gran salpicadura*, el *big splash*, que es la hipótesis dominante desde los años setenta sobre el origen de la Luna”, dice Anguita. Según esta teoría, el impacto de un cuerpo del tamaño de Marte contra la Tierra provocó el levantamiento de una gran cantidad de materia terrestre que acabó formando el satélite. Se supone que estos materiales sufrieron un proceso de deshidratación por el impacto, lo que explicaría la ausencia de rastros de agua que mostraban hasta ahora las rocas lunares. Pero, según este especialista, la teoría vigente cuenta con otras pruebas adicionales, entre ellas la existencia de un núcleo pequeño y con poco hierro, y será difícil arrumarla con el hallazgo, aunque, eso sí, habrá que acomodarla para explicar la imprevista pre-

sencia de agua, aunque sea tan sólo en alguna muestra.

### Una historia en cuatro etapas

A lo largo de estas cuatro décadas, el estudio de las rocas lunares ha hecho posible reconstruir a grandes rasgos la historia de nuestro satélite a partir de la sencilla clasificación que las muestras permiten en cuatro grandes grupos según sus características, que nos hablan de otros tantos tipos de procesos: las anortositas, las brechas, los basaltos y el regolito. Las primeras contienen cristales de anortoclasa, que es un feldespato que se forma por enfriamiento lento del

tamente”. Su intuición se acepta hoy de forma generalizada, avalada por la gran cantidad de anortositas halladas.

Tras su formación, sobre estas rocas impactaron los meteoritos y cometas que formaron los *maria*, los grandes y oscuros cráteres de impacto, o tierras bajas, que proporcionan a la Luna su característica fisonomía. De los brutales choques nacieron las brechas, conglomerados donde se mezclan materiales de la roca original con los procedentes del asteroide o cometa, generados por un metamorfismo muy rápido, debido a la intensa presión y la alta temperatura producida por el impacto. Las brechas ocuparon bue-



Jesús Martínez Frías.

Francisco Anguita.

magma, y se supone que acreditan que el proceso de acreción de los materiales que formaron la Luna hizo que se calentaran generando una superficie magnética que, tras enfriarse lentamente, dio lugar a una corteza rocosa caracterizada por dichas anortositas, que dan lugar mayoritariamente a las llamadas *terrae* o tierras altas lunares. Para Francisco Anguita, la propuesta de explicación de esta fase inicial es una pequeña muestra del poder de la intuición científica. “John Wood [científico del Observatorio Astrofísico de la Smithsonian Institution] recibió 32 gramos de roca y encontró esos cristales de anortoclasa. Su hazaña intelectual fue suponer que esos milímetros de roca eran representativos de toda la superficie lunar original e imaginar una Luna cubierta por un océano de magma que se enfrió len-

na parte de los cráteres de forma mayoritaria hasta que, cientos de millones de años después, en el fondo de los mismos se abrieron grandes grietas, por las que emergieron los basaltos, en un proceso de vulcanismo que, según Anguita, fue de tipo hawaiano, de coladas muy largas, con frecuencia de cientos de kilómetros, y un espesor medio de unos cuarenta metros.

Las dataciones realizadas ponen fecha a estos tres grandes eventos. Una de las rocas lunares más famosas, denominada *Génesis* por su antigüedad y procedente del *Apolo 15*, es una anortosita de más de 4.500 millones de años de edad, es decir, que se formó en los primeros tiempos tras el impacto. Las brechas están datadas mayoritariamente entre 3.950 y 3.800 millones de años atrás, mientras que los basaltos se formaron ha-

ce entre 3.600 y 3.500 millones de años. Después, los grandes eventos desaparecieron y se entró en una etapa de mayor monotonía en la que el principal proceso geológico ha sido la lenta deposición de polvo interplanetario y de micrometeoritos que han ido cubriendo toda la Luna. El resultado de esos miles de millones de años de acumulación del polvo cósmico es el regolito, el fino material inmortalizado por la huella de Neil Armstrong, que también fue recolectado por los astronautas y que tiene una composición muy variada y mezclada, como corresponde a su largo proceso de formación.



Recogida de muestras por la misión 'Apolo 17'.

## Regreso a la Luna

Determinar el origen y evolución de la Luna tiene un gran interés científico, pero también nos proporciona pistas para resolver una cuestión práctica que quizás se suscite dentro de unos pocos años: cómo construir y mantener una base habitada permanente en nuestro satélite. A ello se ha aplicado durante algunos años Jesús Martínez Frías, investigador del Centro de Astrobiología (CAB, organismo mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), aunque hoy centra su atención un poco más allá, en el estudio de Marte. "Yo me he interesado sobre todo por la posibilidad de obtener recursos lunares a partir de sus minerales, principalmente en la obtención de oxígeno, que es fundamental para instalar una base lunar". La cuestión

es que todo recurso que pueda ser explotado directamente allí evitará el gigantesco coste de enviarlo desde la Tierra.

El problema se lo plantea la NASA desde hace al menos un cuarto de siglo, cuando puso en marcha el Comité de Hormigón Lunar. Para trabajar con el objetivo de fabricar cemento a partir de los materiales lunares, el ingeniero T. D. Lin solicitó una muestra lunar y recibió cuarenta gramos de regolito procedente del *Apolo 16*. En pocos meses consiguió generar cemento a partir de sus componentes. Además, trabajó con ilmenita, un óxido de titanio y hierro abundante en la Luna, y comprobó que calentándola a 800 °C en una atmósfera rica en hidrógeno se desprendía el oxígeno y se combinaba con el hidrógeno para formar agua. El titanio y el hierro restantes los empleó para crear la estructura del hormigón. Lin creó la empresa Lintek International, que se ha centrado en mejorar los procesos de fabricación de cemento y hormigón a partir de materiales abundantes en la Luna, y también con materiales como los que se encuentran en Marte, y aunque su aplicación tardará muchos años en llevarse a la práctica, el estudio le ha permitido patentar mejoras en la producción de este material de construcción en la Tierra.

Obviamente, más allá de los materiales de construcción, obtener oxígeno y agua es vital para la supervivencia de los habitantes de la base lunar. Aunque costosa, la obtención de oxígeno es posible a partir de los numerosos óxidos que contienen las rocas lunares, el problema ha sido, tradicionalmente, el hidrógeno. En parte, se planteaba aprovechar los átomos de hidrógeno que llegan con el viento solar y que quedan físicamente atrapados en el regolito, pero los últimos descubrimientos de la apatita presente en los basaltos lunares abre una nueva vía de obtención de este elemento. Falta por determinar cómo surgieron los oxidrilos hallados y su abundancia real.

En general, el análisis de las rocas lunares se ajusta bien al modelo de las cuatro etapas de formación de nuestro satélite, pero se mantienen ciertas incógnitas debido a que la recolección no fue

homogénea. Todas las misiones Apolo alunizaron en una zona relativamente pequeña en torno al ecuador. "Tenemos una visión muy parcial y localizada, porque probablemente si buscáramos muestras rocosas en los polos encontraríamos otra cosa. Y la cara oculta es una zona incógnita. Por ejemplo, allí hay un cráter de impacto tan grande que al principio no lo detectó nadie, porque además no hay basaltos", dice Anguita. En su opinión, sería muy interesante poder muestrear allí, porque es posible que aflore manto o algo parecido, ya que las naves orbitales han detectado más hierro del presente en otras zonas.

Ése era uno de los principales objetivos que justificaba la ambición de la NASA por regresar a la Luna para quedarse. El proyecto fue cancelado por el presidente Obama debido a su elevado coste. Pero la NASA, inconformista por naturaleza, ya ha presentado su contrapropuesta: enviar astronautas-robot a nuestro satélite. Según el proyecto, denominado simplemente M (de *Moon*, Luna en inglés), el coste se reduciría sensiblemente (de 150.000 millones de dólares a poco más de 200), los preparativos no exigirían mucho tiempo y los objetivos científicos se podrían cumplir casi en su totalidad. Y para incentivar el apoyo popular, tan crucial en los tiempos de la primera conquista de la Luna, el robot es un humanoide, versión tecnológica de un humano, más que un aparato al estilo de los *rover* que surcan Marte.

El futuro del proyecto M es aún incierto, pero el interés por las rocas lunares disponibles no decae. La Agencia Espacial Europea acaba de cerrar una convocatoria para financiar investigaciones sobre microscopía y química de muestras lunares, con el objetivo de definir los requerimientos y las posibilidades de aprovechamiento de recursos de un proyecto europeo de nave destinada a posarse sobre nuestro satélite, el Lunar Lander Project. Como se aprecia, y pese a los miles de artículos producidos por el análisis de los testigos lunares cerrados en esos 382 kilos de rocas, aún quedan muchas historias por desvelar sobre nuestra compañera sideral. ■

**El Foro sobre la Confianza de los Actores Sociales (FSC), constituido en el seno de la Agencia de la Energía Nuclear (AEN), desarrolla una importante labor de intercambio de experiencias en el ámbito de la dimensión social de la gestión de los residuos radiactivos, al tiempo que explora medios para asegurar un diálogo eficaz con los ciudadanos, de manera que se refuerce la confianza en los procesos de toma de decisiones sobre nuevas instalaciones. Su experiencia de diez años revela cambios importantes en la participación ciudadana que favorecen la aceptación de las soluciones propuestas, mediante el paso desde sistemas de mera información y consulta hacia modelos de otorgamiento de poder a las comunidades locales, voluntariedad en los procesos y compensaciones que aseguran la viabilidad de los proyectos y su sostenibilidad a largo plazo.**

■ POR **Claudio Pescatore y Mariano Molina Martín.\***

*Algunas lecciones aprendidas en el Forum on Stakeholder Confidence de la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE*

## Mecanismos de toma de decisiones en los países de la OCDE para el emplazamiento de instalaciones de residuos radiactivos (II)

EN UN ARTÍCULO ANTERIOR (*Estratos* nº 95, verano 2010) se expuso cómo la aceptación social de las instalaciones de gestión de residuos radiactivos es un problema común a todos los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que adquiere importancia especial cuando se trata de instalaciones para la gestión definitiva del combustible irradiado o residuos de alta actividad. En el mismo trabajo se explicaron las fór-

\* Claudio Pescatore es administrador principal para la gestión de residuos radiactivos y desmantelamiento de la AEN / OCDE; Mariano Molina trabaja en el Departamento de Relaciones Internacionales de Enresa y es miembro del FSC.



Sede de la Agencia de la Energía Nuclear en París.

mulas seguidas por tres países (Estados Unidos, Finlandia y Suecia) cuyo nivel de desarrollo en los programas de gestión final del combustible gastado estaba en un punto de avance muy destacado. Otros países de la OCDE trabajan en la misma dirección para conseguir la licencia social que les permita construir las instalaciones necesarias. Actualmente se está de acuerdo en que hay una serie de requisitos, condiciones y prácticas para implicar a las poblaciones y partes interesadas que son ineludibles si se quiere avanzar en la aceptación de las soluciones propuestas.

Desde el año 2000 funciona en la Agencia de la Energía Nuclear (AEN) el Foro sobre la Confianza de los Actores Socia-

les (Forum on Stakeholder Confidence, FSC). Su misión es facilitar el intercambio de experiencias en el ámbito de la dimensión social de la gestión de los residuos radiactivos y explorar medios para asegurar que haya un diálogo eficaz con el público, de manera que se refuerce la confianza en los procesos de toma de decisiones. Los principales participantes en el Foro son los representantes de los diversos segmentos sociales que intervienen en la gestión de residuos radiactivos en los países miembros de la AEN. Durante sus diez años de vida el FSC ha conseguido identificar una serie de principios, prácticas y factores, internacionalmente compartidos, que favorecen una toma de decisiones consensuada. Todos estos conocimientos han sido publicados y están disponibles en los diferentes soportes informativos de la AEN (para más información, ver [www.oecd-nea.org/rwm/fsc/](http://www.oecd-nea.org/rwm/fsc/)). En lo que sigue se explican algunos de los principales descubrimientos en esta cuestión.

### Principios, objetivos y factores de confianza

En el pasado, se consideraba que la gestión a largo plazo de los residuos radiactivos era una actividad relativamente sencilla que se completaría pronto, posiblemente en el transcurso de una sola generación. El objetivo era facilitar un lugar en el que se pudiesen almacenar de forma segura residuos radiactivos, sin necesidad de que las generaciones futuras interviniesen en ningún aspec-

to de la decisión. Lo que se deseaba era la *aceptación* del público local y, por tanto, los elementos clave se reducían a los estudios técnicos del emplazamiento y a la decisión sobre la mejor opción entre ellos, sin tener en cuenta la complejidad del proceso social ni las preocupaciones del entorno. Sin embargo, hoy prevalece una nueva interpretación de la toma de decisiones que se centra en diseñar un proceso por etapas, que busca la confianza social real, compuesto por una serie de pasos consecutivos que pueden ser, hasta cierto punto, modificables y reversibles. Dicho de otra manera, lo que se desea hoy es la *apropiación* del proyecto por parte del público local.

Según el FSC, el proceso de toma de decisiones debe estar “anclado” en tres principios clave:

— La toma de decisiones ha de realizarse mediante procesos visibles e iterativos que sean lo suficientemente flexibles como para adaptarse a cambios en el contexto social y que proporcionen el tiempo necesario para desarrollar competencia y equidad.

— Los procesos anteriores deben propiciar el aprendizaje colectivo mediante el fomento de la interacción entre los expertos y las distintas partes interesadas.

— Se debe facilitar la participación pública, especialmente a través de una comunicación de alta calidad que alcance a la mayor variedad de personas con distintos conocimientos, creencias, intereses, valores e ideologías.

Los objetivos del proceso son:

— Aumentar la familiaridad con el proyecto y el control del mismo por parte del público y otras partes interesadas.

— Incrementar o mantener la fe y la confianza entre los actores institucionales y otras partes que intervienen (*stakeholders*).

— Conseguir que se establezca la legitimidad y sostenibilidad de las decisiones adoptadas.

— Favorecer la gobernabilidad del proceso, mediante la promoción de la apropiación por el público de la política seguida y del proyecto ahora y en el futuro.

En la búsqueda de elementos que favorezcan unas decisiones consensuales y estables, el FSC ha identificado ocho etapas operativas que deben ser perseguidas, algunas de ellas en paralelo y otras de forma consecutiva:

1. Tener un debate abierto sobre la política nacional energética y el futuro de la energía nuclear que incluya el aspecto de la gestión de residuos.

2. Haber alcanzado un acuerdo sobre que el statu quo de los residuos es inaceptable y que es un problema importante que debe ser resuelto lo antes posible.

3. Definir con claridad los actores y los objetivos del programa de gestión que incluya la fuente, el tipo y el volumen de residuos a ser tratado.

4. Establecer una aproximación iterativa para conseguir un método con-



Dos momentos del taller nacional del FSC sobre desmantelamiento y aceptación pública, celebrado en Vandellós (Tarragona) en 2005.

## Estudios realizados por FSC sobre participación ciudadana en procesos de implantación de instalaciones de residuos radiactivos

- *Public information, consultation and involvement in radioactive waste management.* AEN, 2003.
- *Learning and adapting to societal requirements.* AEN, 2004.
- *Fostering a durable relationship between a waste management facility and its host community.* AEN, 2007.
- *Partnering for long-term management of radioactive waste.* AEN, 2010.



Taller del FSC sobre participación pública celebrado en Rauma (Finlandia).

veniente de gestión con un emplazamiento aceptable desde el punto de vista técnico.

5. Acordar una metodología abierta y equitativa para identificar uno o más emplazamientos que sean aceptables técnica y políticamente,

6. Proporcionar lugares de encuentro o foros para que las comunidades puedan expresar sus cuestiones y preocupaciones sobre el proyecto propuesto.

7. Negociar paquetes de beneficios ajustados a las características de las comunidades y esquemas de supervisión. Estas medidas deben ser acordadas con la comunidad en donde se encuentre el emplazamiento, así como con las más cercanas, y tendrán como objetivo la mejora de su bienestar socioeconómico. El diseño de las instalaciones debería aportar valor añadido a las poblaciones.

8. Respetar plenamente los acuerdos adoptados a la hora de implementar las soluciones.

Esas etapas maximizan la interacción social y el consenso, y cada una puede ser desarrollada de manera iterativa. Las etapas 1 a 5 afectan principalmente al nivel nacional; las etapas 4 a 6 deben involucrar el nivel regional (estados federados o regiones en países federales o con un importante poder regional en los

otros casos) y nacional; las etapas 6 a 8 atañen, fundamentalmente, al ámbito local. Esos puntos o etapas constituyen una *check-list* que cada nación debería programar antes de lanzar un proceso de selección de lugares de gestión o almacenamiento de los residuos.

### Diez años después: una afirmación importante de los poderes locales

Durante diez años el FSC ha seguido de cerca la marcha de los programas nacionales de gestión de residuos radiactivos en los países de la OCDE y, en concreto, la evolución de los mecanismos adoptados para interactuar con las poblaciones afectadas (etapas 6 a 8). En todos los casos se ha observado una tendencia de los actores institucionales (gobiernos, agencias de gestión, reguladores de la seguridad nuclear) a construir relaciones con las partes interesadas llenas de contenido y de programas comunes de trabajo. Mediante cuatro estudios (ver recuadro adjunto), el FSC ha concretado diferentes mecanismos que se han desarrollado y han dado sentido positivo a las negociaciones entre los encargados de la gestión de residuos radiactivos y las comunidades locales:

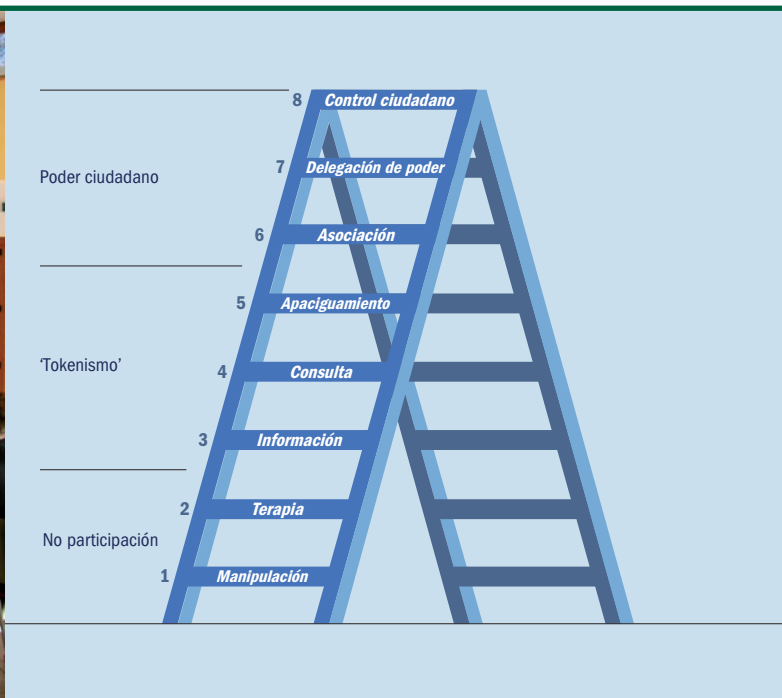
— Colaboración. Los mecanismos de colaboración al comienzo del decenio

2000 estaban orientados principalmente a la constitución de comités locales cuyo objetivo era proporcionar información a la población, reportar sobre preocupaciones ciudadanas y facilitar aportaciones a los procesos de toma de decisiones. En general, tuvieron poca influencia en estos procesos, sobre todo en los aspectos relacionados con el emplazamiento, los conceptos de gestión o el diseño de las instalaciones. En la actualidad se observa una creciente utilización de la figura de “organizaciones asociativas” (*partnerships*) que generan su propia capacitación e influyen en el trabajo de las agencias. Estas organizaciones recogen, procesan y distribuyen la información sobre las instalaciones de gestión y su impacto, al tiempo que siguen el trabajo de otros actores y asesoran a los gobiernos locales. La principal ventaja es el alto grado de aprendizaje que se produce tanto en las comunidades como en los responsables de la gestión.

— Beneficios comunitarios. Los paquetes de beneficios comunitarios suelen incluir medidas de otorgamiento de poder (*empowerment measures*) —recursos para pagar los gastos de colaboración y de contratación de expertos—, y beneficios socioeconómicos para mejorar el bienestar de los municipios. En el estu-



Taller de FSC en Tengelic (Hungria).



La 'escalera de la participación ciudadana', según el profesor Arnstein.

dio realizado en 2010, el FSC constata la existencia de una amplia variedad de beneficios comunitarios. Se está de acuerdo en que los paquetes de beneficios deben estar integrados y ajustados a las necesidades de las comunidades beneficiarias y deben ir destinados a contribuir al desarrollo sostenible de la región afectada.

— Voluntariedad. El concepto de voluntariedad, o de libre interés de una comunidad en participar en un proceso de selección de emplazamiento, se usa en la mayoría de los casos en los países de la OCDE. La posibilidad de que un municipio, con el beneplácito de sus vecinos, pueda optar voluntariamente a acoger una instalación de residuos radiactivos en su territorio ha sido clave para el éxito de muchos de los procesos.

— Posibilidad de veto. Un estudio efectuado por el FSC en 2003 investigó el impacto de que los gobiernos locales o regionales dispusieran de derecho de veto a la implantación de instalaciones de gestión en su territorio. Se observó que este derecho tenía muchas posibilidades de aumentar la confianza pública en los procesos de toma de decisiones. En 2010, otro estudio ha analizado varios casos en donde el derecho de veto se había dado a las comunidades sólo de manera informal. Las conclusiones son que, formal

o informalmente, acordar un derecho de veto es proporcionar una importante base para conseguir el apoyo local.

El desarrollo de las componentes anteriores en los procesos de toma de decisiones sobre residuos radiactivos significa, en la práctica, un avance real en el camino de la participación ciudadana y de su consecuencia, la mayor aceptación de las instalaciones de gestión. Existe una escala para medir el avance de la participación pública, "la escalera de la participación ciudadana" propuesta por el profesor Arnstein en 1969 (ver figura arriba). Se observa que el hincapié en los procesos basados en organizaciones asociativas que revela el estudio del FSC de 2010 está situado dos escalones por encima del que resultaba en 2003, cuando los informes indicaban que toda la atención estaba puesta en los procesos de información y consulta. Esto apunta a un salto importante desde una forma de *tokenismo*, o política de crear falsas apariencias de procesos abiertos mediante prácticas de información limitadas a unos pocos grupos seleccionados, hacia una práctica real de concesión amplia de poder ciudadano. Es esperable que, en el futuro, los procesos de toma de decisiones se desplacen hacia arriba en "la escalera" para que se puedan facilitar nuevas formas de nego-

ciación entre los ciudadanos y los poderes públicos: por ejemplo, que se acuerde compartir la planificación y las responsabilidades en la toma de decisiones mediante comités conjuntos para definir las políticas, la planificación y la resolución de *impasses*.

Como conclusión, se puede decir que en el pasado decenio se han producido cambios muy importantes en la participación ciudadana en la gestión de residuos radiactivos en los países de la OCDE, que favorecen la aceptación de las soluciones propuestas. Se detecta un cambio desde un sistema de mera información y consulta hacia modelos de cesión creciente de influencia y poder a los ciudadanos; en paralelo, aparece una actitud diferente de las comunidades locales que han pasado del conflicto declarado o la aceptación resignada a la colaboración y la voluntariedad. La impresión general es que se reconoce la legitimidad de las medidas de otorgamiento de poder a las comunidades y de los beneficios socioeconómicos. Han surgido nuevas ideas y bases para colaborar; entre otras, el aprendizaje mutuo, la incorporación de valor añadido para los municipios o regiones y la cooperación para conseguir su desarrollo sostenible. ■

Panorámica del río Xingú, donde se construirá la presa principal.

*Brasil pone en marcha  
en el Amazonas  
el tercer mayor  
complejo hidroeléctrico  
del mundo*

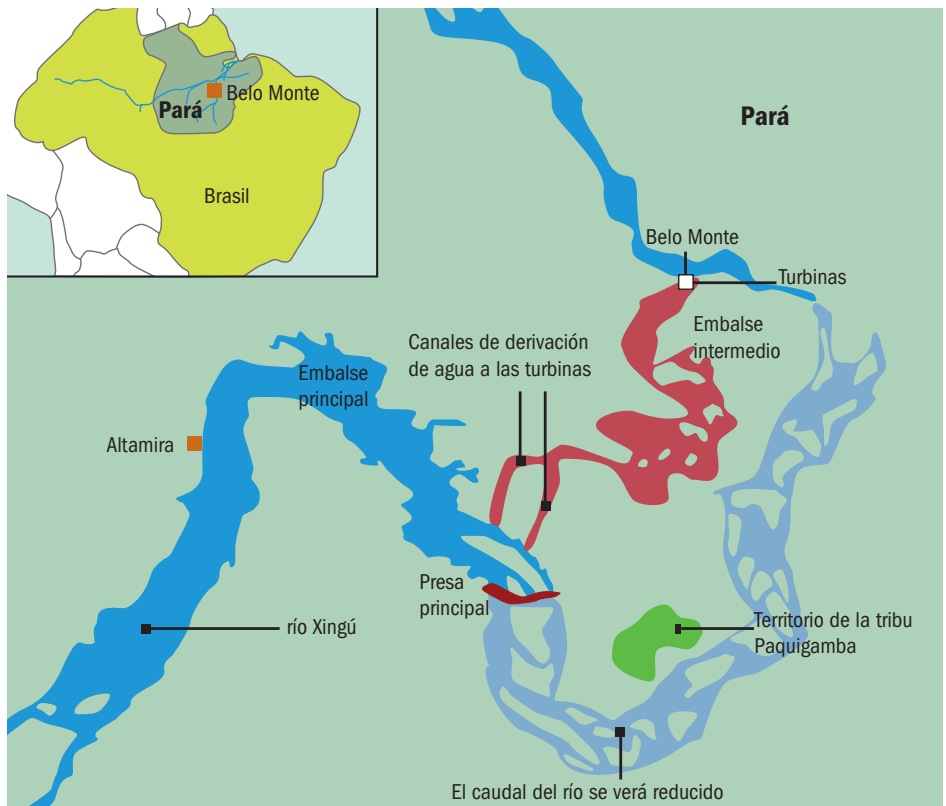
## EL GRAN DESAFÍO DE LA AMAZONIA

**El complejo hidroeléctrico de la presa Belo Monte, que Brasil construirá en el río Xingú,** un importante afluente del Amazonas, va a ser el tercero del mundo en potencia instalada: 11.777 MW. Se trata de la mayor intervención estructural humana en la Amazonia y responde a un proyecto con más de treinta años de historia, desempolvado con la llegada de la democracia y que, tras criticarlo, contaría con el apoyo del entonces presidente Lula da Silva. La presa generará energía a mediados de 2015. ■ POR Inmaculada G. Mardones, PERIODISTA.

**N**O HAY VUELTA ATRÁS EN LA construcción de la presa Belo Monte en el río Xingú, antes de que sus aguas confluyan por su margen derecho con las del Amazonas, el río más caudaloso del mundo. Aunque el proyecto se vea jalonado de trabas legales y ambientales por encarnar el paradigma de la actividad humana en una reserva ambiental icónica en el mundo. La agencia brasileña que vela por el medio ambiente (Ibama) reclamaba en noviembre pasado al consorcio más precisiones sobre el manejo de dos de las treinta y tres condiciones exigidas, la gestión del flujo de trabajadores a la zona y la instalación de una cantera. El consorcio pretendía ganar tiempo con una licencia provisional para poder iniciar el replanteado de las obras en diciembre, antes de iniciarse la temporada de lluvias. El presidente saliente de Brasil, Luiz Inácio Lula da Silva, había firmado a finales de agosto el contrato de concesión de este complejo hidroeléctrico, el tercero del mundo en potencia instalada (11.777 MW), por detrás del de las Tres Gargantas en China (18.000 MW) y el de Itaipú (14.000 MW), compartida con Paraguay. Su sucesora electa, Dilma Rousseff, nunca ha dudado de su idoneidad, hasta el punto de definir la construcción de la presa como un proyecto imprescindible para el desarrollo de Brasil.

**Victoria del sector energético**

“Ha ganado el sector energético”, decía Lula tras firmar el contrato de concesión. “No se pueden imaginar cuántas veces en mi vida he criticado Belo Monte, sin saber de qué se trataba. Y precisamente durante mi mandato es cuando se ha desvelado con todo detalle su trascendencia. Este paso supone una victoria del sector energético, al que persuadiremos de que lo ejecuten con seriedad y tengan en cuenta los condicionamientos sociales y ambientales”. Las obras de la central hidroeléctrica de Belo Monte comenzarán a principios de 2011, con el objetivo de iniciar la generación de energía a mediados de 2015. El consorcio Norte Energía, ganador de la licitación pública del complejo ofertó 78 reales bra-



Mapa del complejo hidroeléctrico de la presa de Belo Monte, en Brasil.

sileños (35,44 euros) por cada megavatio por hora generado a 27 distribuidoras, a los que habrá que sumar los correctores de la inflación, con lo que el precio final podría alcanzar los 120 reales (54,49 euros) en el inicio de la explotación, según

fuentes próximas al consorcio ganador. Otro 10% de la energía hidroeléctrica será para el propio consorcio y el 20% restante para su venta en el mercado libre.

El precio es similar al ofertado por los ganadores de otros dos proyectos de pre-



Tras oponerse a la presa de Belo Monte, el ex presidente Lula da Silva la apoyó con entusiasmo.

## Recolocar a los indígenas

La cuenca del Xingú ocupa una superficie casi similar a la de toda España: unos 449.700 kilómetros cuadrados. En ese orden gigantesco de magnitudes se inscribe la población de Altamira (90.000 habitantes), que ostenta el récord de ocupación de la mayor superficie municipal de todo el mundo, nada menos que 160.000 kilómetros cuadrados, dos veces la comunidad autónoma de Andalucía. La distribución de la población en la zona, por el contrario, es de muy baja densidad. Se agrupan en colectivos indígenas sumidos en la pobreza, como buena parte de los 25 millones que ocupan la Amazonia brasileña (5,3 millones de kilómetros cuadrados, de los 7 de toda la cuenca del Amazonas) y que constituye un 61% de la tierra emergida del país. Aquí se declaró el primer parque nacional de Brasil, en 1950. Pero en una región reservada por el resto del mundo para que nadie la toque, esa iniciativa no le ha servido para pros-

perar. En 1990 el 48% de sus residentes eran pobres; una década después tan sólo se han reducido al 42%. Belo Monte atraerá a miles de inmigrantes: 16.000 trabajarán en su construcción y 2.000 de forma permanente.

Fuentes próximas al consorcio que la llevará a cabo aseguran que para mitigar en lo posible el impacto del flujo de trabajadores, se efectuará con las mismas pautas aplicadas en otro proyecto amazónico también muy controvertido, la presa de Santo Antonio, en el río Madeira, en cuya financiación participa el banco Santander. Los concesionarios tratarán de formar al personal local para reducir al máximo la importación masiva de población, mientras que los procesos de recolocación de las familias afectadas (unas 20.000) intentarán reproducir las condiciones, mejoradas (más dignas), que reunían los emplazamientos que se vieron forzados a desalojar: "Si a un indígena habituado a una choza le ubicas en una casa con refrigeración, lo matas". ■



El cantante Sting (arriba) y el cineasta David Cameron (abajo) apoyan a los ecologistas indígenas contrarios a la presa de Belo Monte.

sas en construcción, la de Santo Antonio (3.100 MW) y Jirau (3.300 MW), ambas en el río Madeira, aguas arriba del Xingú y también en su margen derecha.

La presa de Belo Monte supone la mayor intervención estructural humana en la Amazonia. Eso la ha convertido en foco mundial de los protectores de poblaciones indígenas y de la no injerencia en la mayor reserva natural de la Tierra. Personajes de la escena internacional como el cantante Sting, la actriz Sigour-

ney Weber o el canadiense David Cameron, director del filme *Avatar*, han secundado a ecologistas y grupos indígenas opositores y se han desplazado a Brasil para apoyarles en su lucha callejera y jurídica contra un proyecto que ha sorteado suspensiones judiciales hasta el último momento. El propio Lula ha desafiado a los ilustres extranjeros llegados al Amazonas al reprocharles que quienes han destruido su propio entorno "no nos van a decir a los brasileños cómo debe-

mos aprovechar nuestros recursos". Sólo Marina Silva, la ministra de Medio Ambiente que renunció al cargo para competir sin éxito a las elecciones presidenciales, ha mantenido su rechazo.

### Un proyecto polémico

Es inevitable que la primera gran explotación de los recursos amazónicos suscite controversia mundial y que, por muy amistosamente que se lleve a cabo, nunca será neutra, dice un ingeniero local, ex-



**Cartel que alerta sobre los costes económicos, sociales y medioambientales del proyecto.**

perto en energía hidráulica. “Igual que no lo fue la primera central de carbón que se construyó junto al río Hudson en Manhattan, que era brutalmente contaminante. Cada tiempo tiene su contexto. Las intervenciones no son inocuas; ni siquiera el dolor de las mujeres al parir”.

Belo Monte es un viejo proyecto con más de treinta años de historia conservada en los archivos gubernamentales brasileños. Los primeros borradores contemplaban la inundación de más de 1.000 kilómetros cuadrados de territorio amazónico. La llegada de la democracia lo desempolvó y, pese a la oposición inicial de Lula, su firme decisión de sacar de la pobreza a millones de brasileños hizo que, tras un largo proceso de discusiones públicas, lo llevara adelante, con transparencia y cumpliendo todas las medidas cautelares medioambientales para mitigar su impacto. La inundación de tierras por la lámina del embalse se ha reducido a la mitad (450



**Unas 20.000 familias de la población de Altamira, en la cuenca del río Xingú, serán recolocadas.**

kilómetros cuadrados, equivalentes al Parque Nacional de Doñana). Aun así, las compensaciones ambientales y el realojamiento de unos 17.000 indígenas se llevarán entre un 11% y un 22% del coste total del proyecto, presupuestado en torno a los 11.500 millones de euros.

Esta presa, como otras veintitantas planificadas en la zona amazónica, se enmarcaban en el empeño de Lula por acompañar el liderazgo mundial de Brasil en todos los foros globales de decisión, con una dotación de equipamientos que redujese la gran distancia que aún separa al país de los de los líderes mundiales del Primer Mundo con los que se codea. La lucha contra la pobreza está encarrilada, pero queda mucho para que venza. Brasil tiene dos grandes desafíos en su agenda: unos Juegos Olímpicos (2016) y un Campeonato Mundial de Fútbol (2014), dos eventos que harán que todos los focos del planeta se concentren en este país. Ahora bien, si esos eventos se celebraran ahora nadie apostaría por que fueran a desarrollarse con éxito. Desde hace setenta años Brasil convive con grandes apagones y racionamientos de energía, debido a la nula ausencia de inversiones en el sector. Hace poco más de un año, un fallo en la central hidroeléctrica de Itaipú, que com-

parte con Paraguay, dejó a oscuras durante más de seis horas a dieciocho estados y más de cincuenta millones de personas en hora punta. Pocos dudan de que este episodio hizo que Lula se decidiera a firmar la concesión de Belo Monte antes de que expirara su mandato a finales de 2010.

### **Un potencial de 106.149 MW**

No había sido el único gran apagón. La enorme magnitud del país, la distribución de su población, la descompensación climatológica entre el norte y el sur, el régimen desigual de lluvias del territorio y la fuerte dependencia de la energía hidroeléctrica —el 85,4% de la generación— han conducido a sus dirigentes hacia las enormes reservas hidráulicas vírgenes. El atlas de la energía brasileña de 2008 cifra el potencial del Amazonas en 106.149 MW, el 65% del conjunto del país. Es el tercer país del mundo, tras China y Rusia, en recursos hidráulicos sin explotar y no está dispuesto a desaprovecharlos. Si en este momento la energía hidroeléctrica cubre las tres cuartas partes del consumo, el objetivo es mantener ese porcentaje de fuentes energéticas renovables, a medida que la demanda eléctrica crezca en torno a un 20% hasta el año 2050, según todas las previsiones.



**Zona del río Xingú desde donde arrancarían los canales de derivación de la central.**

Brasil posee enormes reservas de gas y petróleo a gran profundidad, pero muchas de ellas las quema a un alto coste (más de 600.000 dólares al día) porque las centrales de ciclo combinado no se han ejecutado al ritmo de los gasoductos. A esto hay que añadir otros dos factores: la complejidad de la extracción y explotación del gas y el petróleo, que se encuentran a gran profundidad, y la carencia de una red de conducciones que acerquen estos combustibles a los territorios que los demandan.

Aunque ocupa el quinto puesto mundial en superficie (8,5 millones de kilómetros cuadrados, más de quince veces España) y en población (201 millones), la producción / país relega a Brasil al puesto 78, con una renta per cápita que no alcanza un tercio de la española, ni la cuarta parte de la de Estados Unidos. Eso sí, crece a un ritmo trepidante: en el periodo 2000-2005, su PIB creció un 14,72%. Y en medio de la descomunal crisis internacional, el año pasado se permitió reducir su crecimiento al 7,94% (con un descenso del 0,2% sobre el año anterior). Sus expectativas para 2010 eran crecer al 7,1%. Desde el Ministerio de Energía y Minas se han propuesto como objetivo para el año 2019 duplicar hasta los 681.700 GWh la capacidad actual de generación de electricidad (388.200 GWh), mediante la puesta en marcha de 10.000 MW de potencia anual para poder cumplir los obje-

tivos del ambicioso Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC) para reducir la pobreza. El suministro de energía es una de sus grandes debilidades.

El tercer país más grande del mundo con vocación de liderazgo es vulnerable frente a episodios de sequía. Cualquier pequeño incidente en su frágil sistema lo colapsa, debido a la ausencia de redes de evacuación e interconexión entre los centros de generación y los consumidores del sureste. Sus dirigentes no quieren imaginarse un apagón en plena transmisión de un partido de fútbol, aunque sea en octavos de final. Todos los brasileños están dispuestos a mitigar esas limitaciones al desarrollo del país. Y de los múltiples programas diseñados para acortarlo, el energético es prioritario. De las dos centrales nucleares que posee (de 657 y 1.350 MW), la última ha reanudado las obras para estar operativa en 2014. Y desde 1998 ha licitado más de 34.000 kilómetros de red, en un potente despliegue en el que han participado numerosas empresas españolas, desde Elecnor a Iberdrola o Isolux-Corsam.

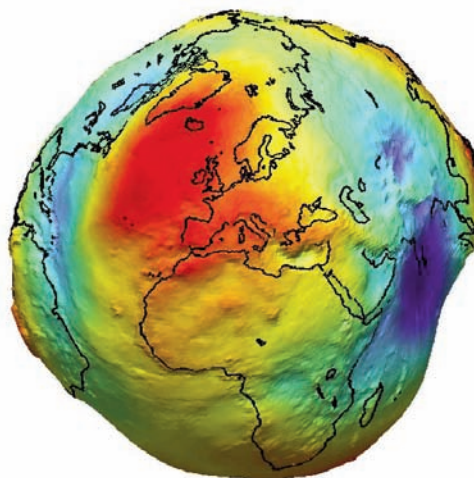
#### **Veinte turbinas y dos canales de derivación**

La explotación del río Xingú, principal afluente del Amazonas en su margen derecha, figura en el PAC, junto a los ríos Tapajos y Madeira, que nacen en los Andes o descienden del Mato Grosso hasta encontrarse con el padre de todos los

ríos. Casi todos tienen las características del Xingú, cuyo cauce se desplaza a lo largo de 2.500 kilómetros de longitud con tan sólo 180 metros de desnivel. La tipología de los embalses nada tiene que ver con los habituales en Europa, que aprovechan grandes cerradas para jugar con la caída de agua. Belo Monte está en una llanura y gracias a dos embalses y a la derivación (500 metros de ancho y 75 kilómetros, más larga que el canal de Panamá) del primero de ellos al segundo, se obtienen unos 70 metros de cota, pese a lo cual se montarán turbinas tipo bulbo especiales, indicadas para aprovechar los grandes rápidos y flujos de corrientes de agua donde van sumergidas. Iberdrola gestiona uno de estos modelos en el conjunto de La Muela (río Júcar). La compañía energética española, con una importante presencia en Brasil a través de Neoenergía, formaba parte del grupo que perdió la opción al proyecto, pero el ganador, Consorcio Norte Energía —constituido por eléctricas públicas brasileñas, constructoras y extractoras de mineral y fondos de pensiones—, le cedió una participación del 10% al cerrarse definitivamente su composición el pasado verano.

Inicialmente se proyectaban veinte turbinas y dos canales de derivación. Pero para optimizar económicamente Belo Monte se han reducido a dieciocho y a un solo canal, según un ingeniero que participa en el consorcio. La climatología y el enclave geográfico también condicionan la explotación. A pesar de la magnitud de la potencia instalada, la central sólo podrá operar 3.600 horas al año, a una media no superior al 42% de su capacidad. En la temporada de lluvias, el caudal del Xingú puede alcanzar los 20.000 metros cúbicos por segundo y una profundidad superior a los seis metros, mientras en la seca tan sólo 1.000 y un calado de 2,30. Ésta es una de las razones por las que el Gobierno brasileño se compromete a facilitar financiación y a que varios fondos de pensiones de empresas públicas participen en el consorcio. La iniciativa privada por sí sola no hubiera participado en el proyecto en esas condiciones. ■

*Los datos del satélite europeo GOCE sobre gravimetría y circulación oceánica revelan un planeta con forma de geoide y curiosos e inesperados relieves marinos*



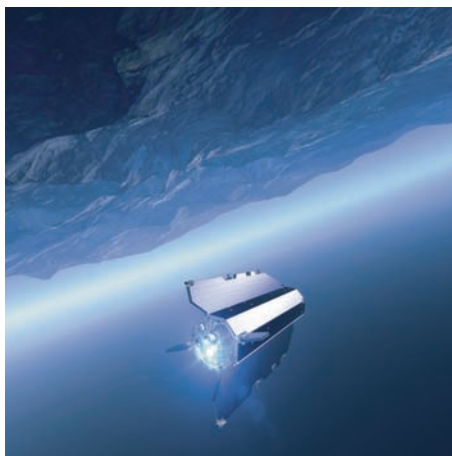
## La Tierra, más patata que esfera

**Los antiguos pensaban que era plana y que en el borde estaba el abismo cósmico. Luego se impuso la idea de que era esférica, incluso que giraba sobre su eje en un día y en torno al Sol en un año...** Luego supimos, ya más recientemente, que aunque era aproximadamente esférica estaba achatada por los polos. Y ahora, gracias a las más precisas medidas tomadas por satélite, nos hemos dado cuenta de que ese “geoide”, que es el nombre técnico de la supuesta esfera achatada, se parece mucho más a una patata gigante que a otra cosa. ■ POR Manuel Toharia.

LA IDEA NO DEJA DE SER DESCONCERTANTE. Pasar de una Tierra plana a una Tierra esférica resultaba, después de todo, bastante tranquilizador: la esfera es la forma perfecta, según los antiguos. La sublime belleza de las esferas que defendía Pitágoras, la perfecta ordenación del cosmos gracias a la magia de las matemáticas... Todo parecía conspirar para proporcionar la idea de un mundo superior perfectamente abarcable por la racionalidad humana gracias al poder de los dioses creadores.

Conviene recordar que la doctrina de la armonía de las esferas es la quintesencia de la belleza cuando los pitagóricos quieren describir el cosmos de origen divino, armonizado de forma —apa-

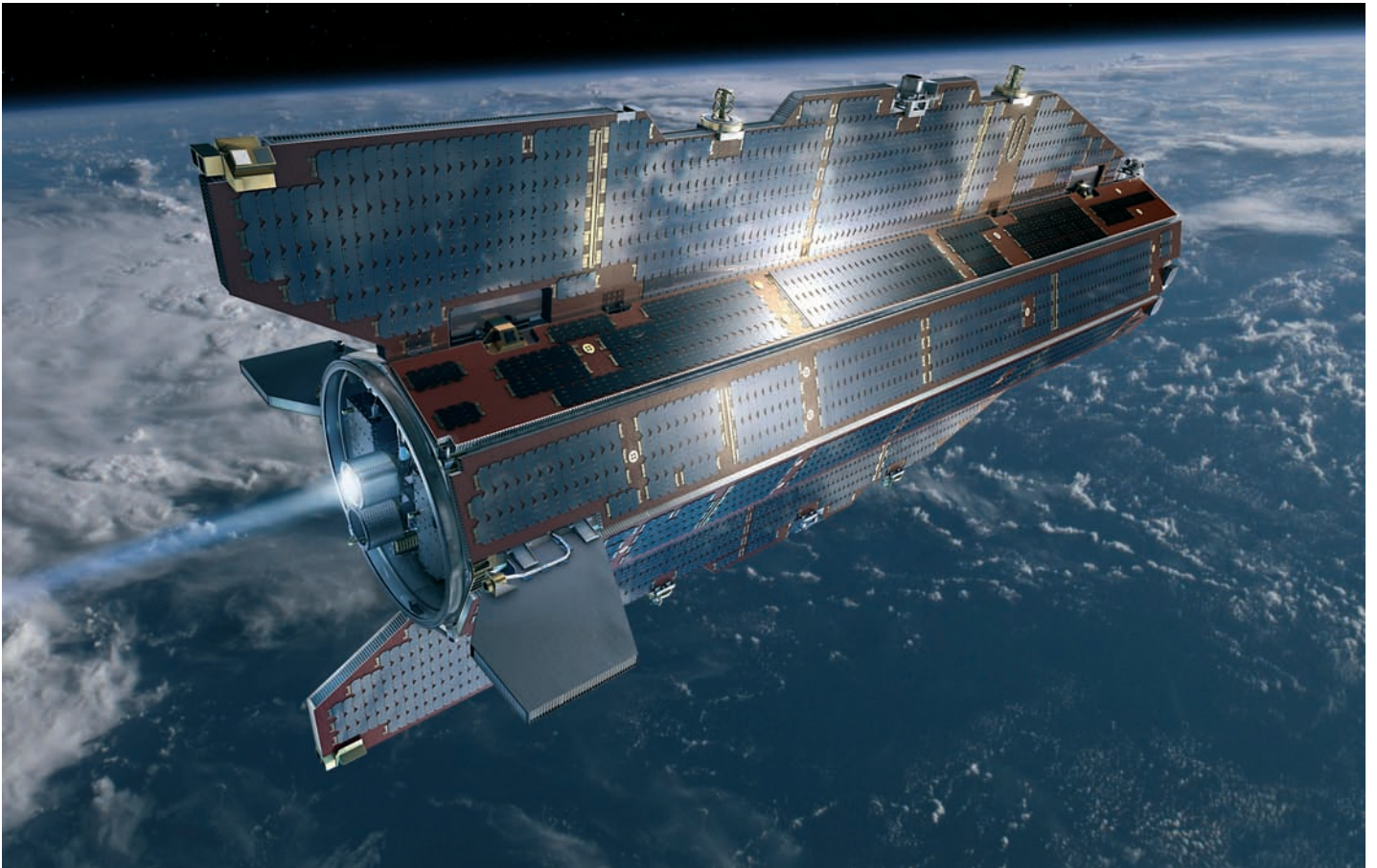
rentemente— fascinante por la concordancia de las proporciones aritméticas y musicales. Todo ello, extrapolado al uni-



El satélite GOCE, en órbita terrestre.

verso entero, parecía ser capaz de determinar que los cuerpos celestes emitirían en su incesante movimiento unos tonos musicales armoniosos cuya combinación generaba una maravillosa melodía permanente, literalmente la música de las esferas.

Pero, ay, luego vino la época de los “casi” y de los “y pico”. Cuando pudimos medir con mayor precisión, supimos que el mes lunar tiene 29 días y pico, la semana siete días y pico, el año casi 366 días y doce meses lunares y pico, los planetas son casi esféricos, las órbitas son casi circulares... En suma, el Universo dejó de ser perfecto y regular, las esferas no jugaban en el papel alguno... Ya no era el más perfecto de los relojes en sus movimientos



Los datos obtenidos por el satélite GOCE ofrecen una precisión en el campo de la geofísica nunca antes lograda.

observables desde la Tierra, sino que pasó a convertirse en un cosmos mucho más caótico y difícil de comprender de lo que jamás se pensó. Porque, además, todo él se encuentra en expansión, todo se mueve respecto a todo sin que exista referencia fija alguna —en el espacio no hay arriba ni abajo, derecha ni izquierda—. Incluso el tiempo mismo, que sólo transcurre hacia adelante, nació a la vez que el espacio en un inimaginable estallido inicial del que nada sabemos, y para el que “antes de” carece de sentido.

### El mar no es horizontal

Al menos quedaba la idea de que los planetas, y la Tierra en particular, son prácticamente esféricos. Las rugosidades del relieve continental de nuestro planeta, que ocupa algo menos de un tercio de su superficie total, son menos salientes que las posibles rugosidades que pueda haber en la superficie de la cáscara de un huevo, si los comparáramos a la misma escala. En cuanto a los mares, que cubren el 70% de la superficie terrestre, como todo el mun-

do sabe son horizontales a pequeña escala, y curvados con esfericidad perfecta, a gran escala.

Pues no. Tampoco eso es exactamente así. La esfericidad es “casi” perfecta, pero no del todo; una vez más, casi...

Resulta que incluso en los mares existen enormes depresiones o, por el contrario, extensas elevaciones, que abarcan muchísimos kilómetros cuadrados. Esos hundimientos o levantamientos del agua del mar pueden llegar a medir centenares de metros. O sea, que el mar no es realmente horizontal —circular a gran escala—, sino que está lleno de gigantescos valles y cordilleras... de agua. Es obvio que un barco que navega por el centro de cualquier gran océano es insensible a estas cuevas hacia abajo o hacia arriba. Para sus tripulantes, el mar es extenso, ancho, levemente curvado en el horizonte; pero a gran escala esa esfericidad del agua oceánica no es tal.

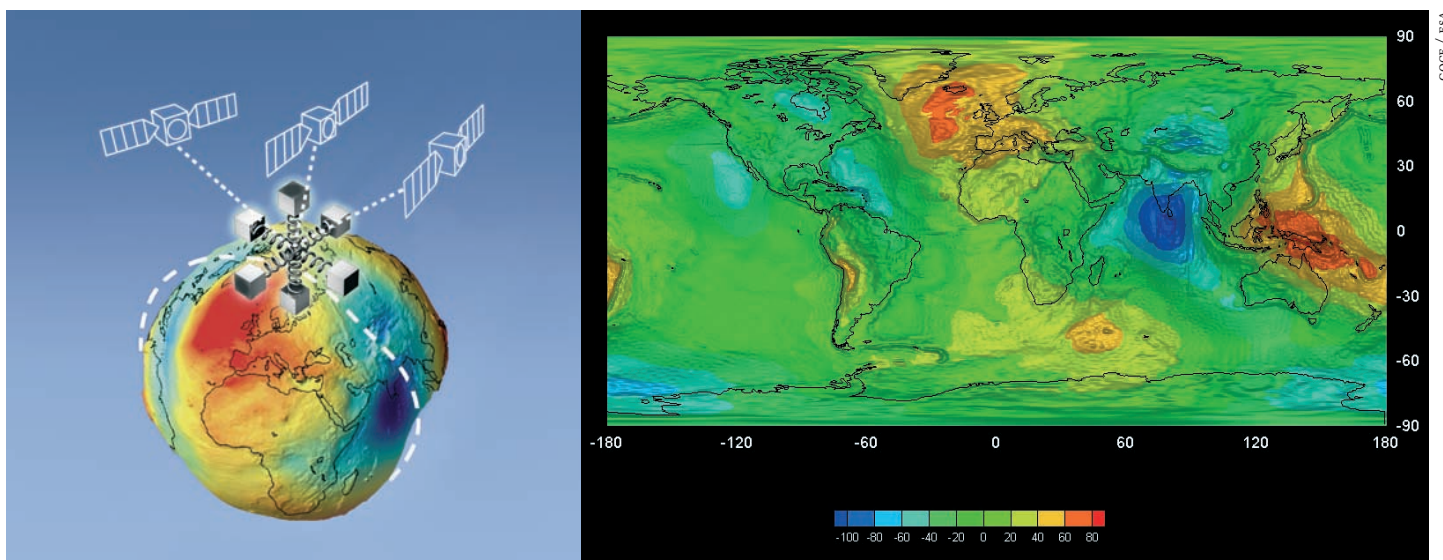
¿Y en los continentes, en las tierras emergidas? También allí se ejercen las mismas fuerzas que provocan esas irregula-

ridades en la superficie del mar, aunque la plasticidad de las rocas que forman la corteza continental es menor que la del agua y los hundimientos y levantamientos respecto a una supuesta línea teóricamente esférica son menos llamativos, aunque existen igualmente.

O sea, que la Tierra parece esférica, pero no lo es. Tiene una forma aproximadamente esférica, aunque algo achatada por los polos, pero esa superficie ofrece salientes y entrantes redondeados que se distribuyen por todas partes, y especialmente en las zonas oceánicas. La supuesta esfera terrestre era ya considerada, en teoría, como un “geoide” que sería la forma que adoptaría la superficie si todo el planeta fuera de agua. Pero esas irregularidades le otorgan, si exageráramos un poco la escala, una forma más propia de un... “patatoide”.

### Gigantescas colinas de agua

Antes de adentrarnos en las causas que provocan tan curioso comportamiento de las aguas y las tierras de nuestro planeta,



GOCE realiza seis mediciones simultáneas del campo de gravedad de la Tierra. Sobre estas líneas, primer modelo de la gravedad global basado en los datos del satélite.

quizá convenga hablar de cifras. Cuando decimos que el planeta está achatado por los polos, ¿de qué estamos hablando exactamente? Es decir, ¿cuál es la diferencia que existe entre el radio de la Tierra en horizontal, el Ecuador, y en vertical, el eje que pasa por los polos? Pues bien, las últimas medidas arrojan las siguientes cifras: en promedio, el radio ecuatorial es de 6.378,14 kilómetros y el radio polar de 6.356,75. La diferencia es, pues, en promedio de 22,6 kilómetros. ¿En promedio?... Sí, porque hay lugares —en los polos y en el Ecuador, en realidad en cualquier otro lugar de la superficie del planeta— donde hay hundimientos o elevaciones que hacen variar unos centenares de metros esas cifras.

Esos 22 kilómetros y pico de diferencia es una cifra lo bastante alta como para que hace ya tiempo pudiéramos medirla y darnos cuenta de que la Tierra está achatada, eso sí levemente (poco más de un 0,3%), en las zonas polares, algo lógico porque se debe a la fuerza centrífuga que origina el giro diurno en torno a su eje polar. O sea que, como primer elemento de conocimiento empírico, es cierto que no estamos ante una esfera, sino ante un esferoide achatado.

Pero las más recientes medidas tomadas por satélite, y en particular por el europeo GOCE, han mostrado que hay enormes diferencias en la fuerza atractiva —es decir, la fuerza gravitatoria— que ejerce en teoría el centro mismo de la Tie-

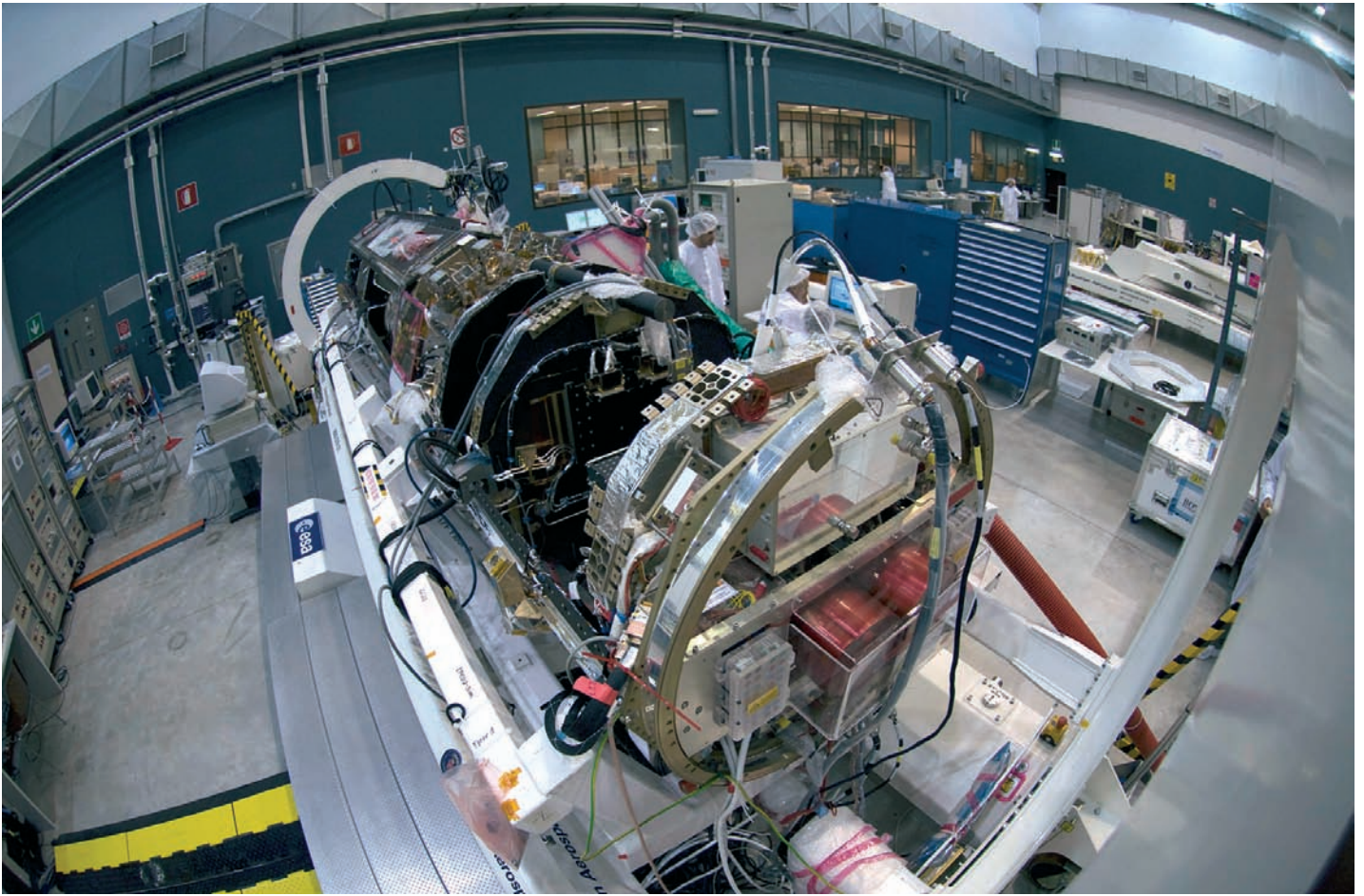
rra sobre las distintas zonas de la superficie del planeta. La máxima atracción de la gravedad, y por tanto el mayor hundimiento de la superficie marina, se da en diversas zonas de manera aparentemente aleatoria; por ejemplo, al sur y suroeste de la India, en la zona de transición entre los que denominamos océanos Índico y Pacífico. En cambio, existen otros lugares donde hay auténticos levantamientos del mar, como gigantescas colinas de agua en medio del océano; curiosamente, uno de ellos está relativamente cerca de la zona ahuecada anterior, al norte de Australia. Otra sorprendente colina marina se produce en toda el área atlántica que rodea Islandia...

En un reciente simposio celebrado en la ciudad noruega de Bergen —la cuna de la meteorología científica donde Bergeron y Bjerknes establecieron los primeros mapas del tiempo hace un siglo—, la Agencia Europea del Espacio (ESA) comenzó a hacer públicas las imágenes tomadas por su satélite GOCE (siglas del inglés Gravitation and Oceanic Circulation Explorer, Explorador de la Gravedad y de la Circulación Oceánica en español), mostrando en alta resolución y con la escala algo deformada, cómo es realmente la forma de la Tierra gracias a las medidas tomadas por los instrumentos del satélite. Éste fue lanzado en 2009 y tiene una órbita polar a una altitud realmente baja para un satélite de esta naturaleza, sólo 255 kilómetros (exactamen-

te 254,9 kilómetros con un error de más o menos diez metros, algo realmente espectacular). Esa proximidad le permite barrer la superficie completa del planeta en sucesivas pasadas y obtener datos con una precisión nunca antes conseguida. De hecho, el satélite tiene una órbita heliosincrónica, es decir, que gira pasando por encima de los polos y siempre mirando al Sol. Como es la Tierra la que gira sobre su propio eje, aunque el satélite siempre gira en la misma órbita —respecto al Sol—, bajo él acaban pasando todas las regiones del planeta vuelta tras vuelta...

### Comprender la transformación del planeta

Como es lógico, los científicos no se conforman con la confirmación de que la Tierra es un “patatoide” achatado por los polos; lo que en realidad persiguen es conocer con el máximo detalle las variaciones de la fuerza de la gravedad en las distintas zonas del planeta con el fin de medir con mayor precisión la circulación de los océanos —algo esencial por su incidencia en el transporte de calor y su repercusión sobre los climas—, los cambios en el nivel del mar, la influencia que pueden tener los hielos que se funden en las zonas polares, el riesgo sísmico e incluso de *tsunamis* según la propia geodinámica de cada región propicia para ellos... En suma, para comprender de la mejor forma posible cómo se va transformando el planeta tanto por causas naturales como por la mano del hombre.



El GOCE por dentro, en las instalaciones de Thales Alenia Space, en Turín (Italia).

Las imágenes que ha proporcionado la ESA —y que ha seguido ofreciendo a la comunidad científica, especialmente en la reciente reunión de la Unión Geofísica Americana, a mediados de diciembre de 2010, en la ciudad californiana de San Francisco— suponen una importante información, según los expertos, para comprender mejor cómo se comportan regiones del planeta muy poco conocidas y casi deshabitadas, como buena parte de las cadenas montañosas de América del Sur o de Asia y África, además de otras regiones como la Antártida y buena parte de los océanos, de los que sabemos realmente poco. Los científicos de la ESA han destacado incluso el hecho de que los mapas de los continentes mejor conocidos, como el europeo, cambian sensiblemente —más cualitativa que cuantitativamente, desde luego— con los nuevos datos del satélite.

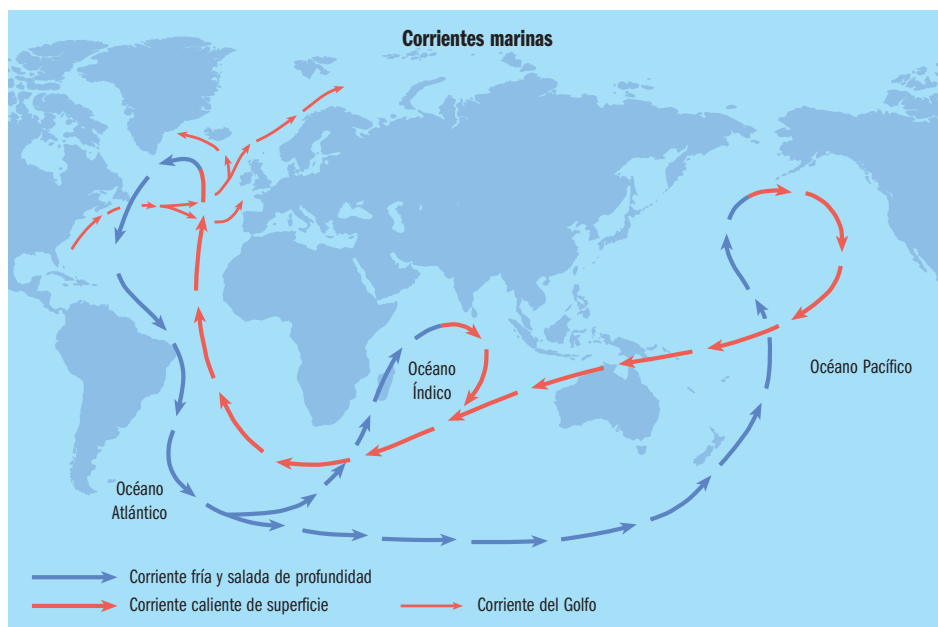
GOCE no es un satélite pequeño. Tiene cinco metros de longitud, con forma

de flecha para ofrecer menos resistencia en su órbita debido a que circula a una altitud que le obliga a pasar por una zona de aire, muy enrarecido, pero aire al fin. De hecho, consta de unos pequeños cohetes de baja potencia con los que contrarresta de vez en cuando la tendencia a la caída hacia el suelo que provoca la fricción con el aire, que le frena en su avance haciéndolo desviar hacia la Tierra poco a poco. Fue el primero de una serie de satélites europeos integrantes de la misión llamada Earth Explorers (Exploradores de la Tierra). De hecho, en la reunión de San Francisco de diciembre, la ESA presentó a los 18.000 científicos asistentes no sólo los más recientes datos de GOCE sino también los de los satélites SMOS y CryoSat, que se unen a los primeros datos de los ya ancianos —hace más de cinco años— satélites ERS y Envisat. SMOS está dedicado a observar la humedad de tierras y mares, y la salinidad de los océanos, con el fin de conocer un poco mejor el proceso to-

avía no bien comprendido de intercambio de humedad, y por tanto de calor, entre las tierras y los mares, por un lado, y el mar, por otro. La salinidad marina juega, además, un papel esencial en el movimiento superficial o profundo de las corrientes marinas, ya que es un factor determinante para la densidad del agua y, por tanto, para su mayor o menor movimiento vertical. En cuanto a CryoSat, se trata de un satélite mucho más orientado a la comprensión de los procesos relacionados con el agua helada y con su contacto tanto con la atmósfera como con el resto del agua líquida del planeta.

#### Velocidad de las corrientes marinas

Volviendo a los mapas de gravedad de GOCE, lo cierto es que llevan ya más de un año asombrando a los especialistas por su precisión y por las novedades que están aportando en un campo científico, la geofísica, que hasta ahora carecía de un conjunto de datos globales



El satélite permitirá un mayor conocimiento de las corrientes marinas (arriba) y contribuirá al avance de nuestra comprensión de fenómenos relativos a la física y la dinámica del interior de la Tierra, como el vulcanismo.

tan completos y generales, y al mismo tiempo tan interesantes por sus reducidos márgenes de error.

Uno de los elementos más sorprendentes aportados por el satélite gravitatorio se refiere a la velocidad de las corrientes marinas, elementos esenciales a la hora de comprender cómo se distribuye el calor en la Tierra. Resulta que los datos tomados anteriormente por otros satélites, incluso especializados en la observación del planeta, acerca del movimiento de los mares siempre subestimaban —o eso parecía, comparándolos con los datos tomados en algunos pun-

tos concretos de los mares— la velocidad y el movimiento general de las corrientes. Los datos de GOCE, en cambio, permiten comparar datos altimétricos precisos con los datos gravitatorios en cada punto, lo que proporciona información sobre la velocidad de las corrientes oceánicas mucho más próxima a las medidas reales que, hasta ahora, adolecían de un grave defecto: eran sólo tomas locales y de escala muy reducida frente al ingente tamaño de las corrientes que se pretendía estudiar.

El porqué de la importancia de las corrientes marinas, afectadas como esta-

mos viendo por esa estructura de hondonadas y colinas en la superficie de la Tierra “patatoide”, radica en que se trata del más poderoso motor de distribución de calor por todo el planeta, no sólo en superficie —influyendo, por tanto, en los climas incluso de los continentes— sino también bajo el agua, donde los movimientos de esas corrientes frías o cálidas afectan a la vida y a la dinámica general del planeta entero. El calor de las zonas ecuatoriales se distribuye hacia las zonas polares mediante las corrientes de aire, y su cohorte de anticiclones, borrascas, frentes y precipitaciones de todo tipo. Pero aún más efectivo es el transporte de ese calor mediante el agua, que tarda mucho más que el aire en enfriarse y calentarse, y que por tanto resulta ser mucho más eficaz a la hora de redistribuir esa energía en las distintas zonas de la Tierra. Conocer ahora con mayor precisión esos movimientos de agua, en superficie y en las profundidades marinas, permitirá afinar mucho más en la comprensión de esos mecanismos de intercambio y, eventualmente, de encontrar explicaciones a los cambios de clima del pasado y, quizá, de los cambios futuros.

O sea, que el hecho de que la Tierra no sea exactamente esférica sino sólo “casi” esférica y, quizá exagerando un poco, con relieves globales más propios de una patata que de una bola, no es sólo una curiosidad divertida sino, sobre todo, un elemento de conocimiento que puede resultar sumamente útil a corto plazo para saber mejor cómo funciona esa zona crucial de nuestro planeta: la interfaz entre el agua, la tierra y el aire. Que es donde se desarrolla nuestra vida; todas las formas de vida en realidad. La ciencia espacial sigue su camino, lenta pero segura; las restricciones presupuestarias afectan quizá a los plazos pero comprometen mucho más a las misiones muy costosas —esencialmente, las tripuladas— que a las menos onerosas, que son las de los satélites científicos con fines claramente prácticos a corto plazo. No es una mala noticia en esta transición hacia el primer año del segundo decenio del siglo XXI. ■

*Una cuarta parte de la población es muy sensible a los cambios meteorológicos*

# Lo que el aire esconde

**A pesar de todos los avances médicos, nuestra salud sigue estando sometida a los dictados del tiempo atmosférico.** El invierno, con su característica combinación de bajas temperaturas, lluvia y nieve, dibuja un panorama más que favorable para la aparición o el agravamiento de ciertas enfermedades, sobre todo de tipo respiratorio, cardiovascular o inflamatorio. También son propias de esta época del año algunas epidemias bien conocidas, como la de la gripe. Aunque todas las personas reaccionan ante los cambios meteorológicos, aproximadamente un 25% de la población es *meteorosensible*, es decir, se muestra particularmente vulnerable a las modificaciones en la temperatura, humedad o presión. ■ POR José María Montero, PERIODISTA AMBIENTAL.

SON MAYORÍA LOS ESPECIALISTAS QUE sostienen que el hombre está diseñado para vivir en un ambiente tropical, cálido y húmedo, donde no existan grandes fluctuaciones de temperatura que puedan dificultar el “esfuerzo” metabólico de mantener el cuerpo entre 36 y 37 °C. Pero lo cierto es que el organismo cuenta con sofisticados mecanismos para aclimatarse a situaciones extremas, compensando el frío o el calor del ambiente, recurso que ha permitido el poblamiento de lugares inhóspitos como desiertos o zonas polares.

Lo que no ha podido evitar la naturaleza humana, ni tan siquiera los avances médicos, es la influencia de los factores ambientales en la salud. Hay numerosas enfermedades que aparecen o se agravan ante determinadas condiciones atmosféricas. Conocidas como *meteoropatologías*, las más frecuentes son las de tipo inflamatorio, como el reuma, además de los dolores de cabeza, las crisis asmáticas, eczemas, arritmias o cam-

bios en la tensión arterial. También son frecuentes las alteraciones psicológicas asociadas a los cambios de estación, o la aparición de algunas epidemias coincidiendo con situaciones atmosféricas que se repiten de forma cíclica. Junto a la gripe, que todos los años nos visita en época invernal, hay otras infecciones que muestran cierta predilección por determinados periodos del año, como la temida meningitis.

## **Los cardiacos y reumáticos, los más afectados**

El invierno es quizá la estación en la que más claramente se observa la influencia del tiempo en la salud. La aparición de los primeros frentes fríos, acompañados de depresiones atmosféricas y lluvias, dibujan un panorama poco propicio para los cardiacos, asmáticos y reumáticos, como reflejan algunas estadísticas médicas. Las tensiones vasculares que puede provocar este cambio estacional se reflejan, igualmente, en enfermedades como

la arterioesclerosis, la hipertensión o las úlceras de estómago. Las variaciones de presión afectan a las articulaciones y a los gases que se acumulan en algunas partes del cuerpo, particularmente en los intestinos, provocando molestias de distinto tipo.

Está claramente establecido que la mayor parte de las afecciones respiratorias presentan una relación inversa, muy estrecha, con la temperatura, aumentando los casos de asma o bronquitis en los periodos fríos. También aparece una fuerte correlación entre las situaciones de bajas presiones y las alteraciones agudas del sistema circulatorio. De hecho, la formación de coágulos, apoplejías, colapsos y embolias figuran entre las causas de muerte más dependientes de las condiciones atmosféricas.

Una de las *meteoropatologías* más frecuentes asociadas con el cambio de estación es la astenia, ese decaimiento general que empuja a la melancolía y facilita la aparición de algunas dolencias. Los

episodios asténicos se suelen producir en primavera y otoño, y a menudo provocan la aparición de crisis en enfermedades crónicas. Parece ser que, en virtud de un ritmo interior, los nacidos en verano son más propensos a la astenia otoñal y los nacidos en invierno acusan con más intensidad el cambio primaveral.

Aunque todas las personas perciben las alteraciones del tiempo, hay individuos particularmente sensibles para los que un cambio de estación, o una modificación brusca de las condiciones ambientales, pueden convertirse en un verdadero suplicio al aparecer dolores en las articulaciones o en viejas heridas, cefaleas o molestias estomacales, sobre todo úlceras que despiertan de su letargo. Habitualmente se considera que un 25% de la población pertenece a este grupo, un porcentaje elevado que se nutre, en gran medida, de ancianos y niños cuyo sistema de adaptación a los estímulos externos no responde de forma óptima.

Las tormentas tienen su propia patología, que también depende, en gran medida, de la sensibilidad que muestren los distintos individuos. Las modificaciones eléctricas que origina este meteor influyen en el organismo, siguiendo una secuencia de sobra conocida: antes y durante la tormenta es frecuente sentir tensión y desasosiego, mientras que después de la descarga predomina la sensación de calma y relajación. Esto sucede así porque en la primera fase la atmósfera se carga de iones positivos, que son estresantes; iones que se neutralizan durante el desarrollo de la tormenta, siendo sustituidos por iones negativos que se distribuyen en las finísimas gotas de agua que permanecen, tras la tempestad, en la atmósfera. Es el mismo principio que dota de virtudes calmantes a las cascadas o a los frentes litorales en los que rompen las olas. Estos iones negativos mejoran la oxigenación sanguínea y de los tejidos, y desde hace algunos años vienen siendo utilizados con fines terapéuticos en el tratamiento de algunas enfermedades respiratorias, jaquecas o quemaduras.



En invierno se dan más las 'meteoropatologías', que afectan a cardiacos, asmáticos y reumáticos.



Los ritmos cerebral y cardíaco se ven afectados por el viento, además del metabolismo y la resistencia de la piel.

### Cambios en el comportamiento

Incluso la conducta puede verse modificada por la situación meteorológica. Algunos estudios llevados a cabo en Estados Unidos a finales de la década de los setenta del pasado siglo señalaban la influencia que ejercían sobre los ingresos en hospitales psiquiátricos y en la tasa de suicidios los cambios de corta duración de la humedad relativa del aire y la presión atmosférica, propios de las transiciones estacionales. Y en diferentes puntos de España son de sobra conocidos los efectos perturbadores que, en zonas muy concretas, ejercen algunos vientos como el levante, cargado de iones positivos.

Las *meteoropatías* causadas por el viento afectan al ritmo cerebral y cardíaco,

modifican la resistencia de la piel, cambian el metabolismo e incluso alteran la polaridad de la membrana celular. Como señala el meteorólogo Juan Carlos Molina, “el desplazamiento de grandes masas de aire, y sobre todo las variaciones en la polaridad e intensidad de la carga iónica de la atmósfera, constituyen las variables meteorológicas más frecuentemente implicadas en el agravamiento de diversas patologías mentales”. Y esta vinculación no es fruto de la observación científica más moderna porque, ya en el siglo VI antes de Cristo, Hipócrates escribía sobre la íntima relación entre tiempo y salud, haciendo mención a los efectos nocivos de los vientos del Sur. Así, afirmaba que “el viento

austro entorpece los oídos, oscurece la vista, carga la cabeza y deja el cuerpo lánguido y perezoso”.

“Sabemos que el cuerpo humano se comporta como una máquina bioeléctrica polarizada”, explica Molina, “y que por tanto es sensible a toda la actividad electromagnética de su entorno”. Los estudios realizados a partir de principios del siglo XX demuestran, añade, “que cuando el aire tiene una carga excesiva de iones positivos adquiere efectos perturbadores que afectan a la salud y al estado anímico de las personas”. Los episodios asociados al conocido como efecto Foehn, un viento seco y cálido que reúne una curiosas características eléctricas, y los vientos desér-

## Los vientos locos

A juicio del meteorólogo Juan Carlos Molina, y dentro del capítulo de los vientos, el Foehn “es uno de los fenómenos meteorológicos más interesantes de estudio por su relación con las patologías mentales”. Este fenómeno aparece cuando una masa de aire húmeda y fría choca con una cordillera, produciendo precipitaciones en la ladera de barlovento. Posteriormente, cuando esta masa desciende por las laderas de sotavento, se convierte en una masa de aire seco y comprimido, produciendo una fuerte evaporación y disipación de las nubes. Este viento recalentado y deshidratado, desciende hacia el fondo de los valles provocando una elevación brusca de la temperatura de más de 10 °C en pocas horas y de 15 a 25 °C en dos o más días. En las áreas donde sopla Foehn hay abundancia de cargas positivas y casi ausencia completa de ozono, siendo este fenómeno especialmente potente en verano.

Las propiedades eléctricas del viento Foehn se caracterizan por la existencia de los llamados *sferics*, descargas electromagnéticas con un rango de frecuencia entre 1 y 100 KHz y una duración de 1/1.000 segundos, así como una intensa ionización positiva del aire, del orden de 4.000 cu/cm<sup>3</sup>. Numerosos investigadores han insistido en la enorme importancia que los *sferics* tienen por su relación con las alteraciones en la salud mental.

En España, las cordilleras donde es más frecuente el efecto Foehn son las orientadas de Oeste a Este y de Norte a Sur. Así, los vientos del Noroeste y Norte producen al sur del Sistema Central, en La Mancha, un claro efecto Foehn. Los vientos del Suroeste y Sur producen el mismo efecto en la Cornisa Cantábrica y los del Oeste en el Medi-

terráneo Oriental. Los terrales en Andalucía Oriental y los levantes en ambas Castillas y en la cuenca del Guadalquivir, también producen un efecto similar (aumento de la temperatura ambiental, disminución de la presión atmosférica y una alteración del estado eléctrico de la atmósfera).

“Parece evidente, y contrastado por multitud de estudios, que el Foehn, así como los vientos terrales, cálidos y rescos, pueden agravar o aumentar localmente diversos trastornos psicológicos”, advierte Molina. Entre ellos pueden destacarse, por su incidencia, los trastornos depresivos, estados de ansiedad e inquietud, síndrome de agitación psicomotriz, irritabilidad, jaquecas, disminución de la atención, excitación nerviosa y muy especialmente el aumento de la agresividad. Con el aumento brusco de temperaturas y la disminución de la humedad, las glándulas endocrinas se excitan liberando adrenalina, e incluso agotan las cápsulas suprarrenales en situaciones crónicas. El sistema nervioso y endocrino se ve alterado, modificándose los niveles de azúcar en sangre, relación calcio / potasio, así como los niveles de sodio, fosfatos y magnesio.

El fenómeno es de tal importancia que en algunos países, como Suiza, el efecto Foehn se considera atenuante por la legislación penal en el caso de la comisión de determinados delitos. Y esto no es nada nuevo, ya que en la Antigüedad los tribunales de algunos países del Medio Oriente admitían esta circunstancia atenuante en crímenes y agresiones cometidos cuando soplaba el viento sur o Hamsin.

Los llamados “vientos de las brujas” o “vientos locos” soplan en muchos lugares del planeta, produciendo efectos nocivos similares al Foehn, efectos que son de sobra conocidos por las poblaciones locales. ■

ticos que soplan en numerosos puntos del planeta son claros ejemplos de cómo una descompensación en las cargas eléctricas del aire puede traducirse en la aparición o agravamiento de determinadas enfermedades.

El libro *Aspectos humanos y sociales en meteorología y climatología*, editado por el entonces Instituto Nacional de Meteorología, constituye uno de los pocos trabajos en los que se intenta recopilar todos los conocimientos que se poseen sobre la relación entre factores ambientales y salud. Su autor, Manuel Palomares, presta especial atención a los vientos en alguno de los capítulos de la obra.

Con referencia al levante, de sobra conocido en numerosas zonas de Anda-

lucía y al que se achacan no pocos males, se incluyen en esta obra unas curiosas observaciones relacionadas con la carga de iones positivos que suele arrastrar. Cuando sopla este viento, los ganaderos de toros bravos saben que aumenta la agresividad de las reses y que en las corridas lidiadas en estas circunstancias cambia la forma de embestida. Palomares llega incluso a apuntar la posibilidad de que ésta sea la causa de un aumento de las cogidas mortales durante el mes de mayo, aun cuando el número de festejos sea mayor en otros meses. La frecuencia de las situaciones de inestabilidad atmosférica en mayo, y las consiguientes ionizaciones positivas predominantes, señala el autor, “pue-

den afectar desfavorablemente no sólo a los toros sino a los toreros”.

### Factores cósmicos

No todas las alteraciones en la salud o la conducta se deben a factores meteorológicos, también existen los llamados “factores cósmicos”. Por ejemplo, las distintas fases lunares provocan lo que algunos autores han denominado “mareas biológicas”, de manera que los líquidos corporales sufrirían los mismos efectos que mares y océanos. Algunas investigaciones médicas han relacionado los periodos de luna llena con una mayor incidencia de las hemorragias, ya sean producto de una intervención quirúrgica o de alguna lesión.



En España van en aumento las patologías producidas por el calor.

A este respecto, el doctor Juan Ramón Zaragoza, catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Sevilla, precisa que los primeros estudios sobre la influencia de la Luna no partieron de estamentos médicos, “sino de algunas comisarías norteamericanas que observaron cierta relación entre las fases lunares y la comisión de delitos”.

Nuestro satélite provoca perturbaciones electromagnéticas en la atmósfera, responsables de episodios de irritabilidad o nerviosismo similares a los producidos por tormentas o vientos. Epilepsias y crisis maniaco-depresivas parecen agravarse en periodos cercanos a la luna llena y nueva.

Aunque imposibles de observar a simple vista, las alteraciones en la actividad solar también repercuten en los organismos vivos. Los periodos de máxima actividad, que se repiten cíclicamente cada 22 años, o la brusca aparición de protuberancias sobre la superficie solar, provocan en la Tierra tormentas electromagnéticas que, además de interferir en las emisiones de radio y televisión, han sido relacionadas con una mayor frecuencia de enfermedades víricas y cardíacas, accidentes y plagas.

#### **Hasta que el cuerpo aguante**

En algunas zonas de España los veranos son particularmente rigurosos y también llevan asociadas unas determinadas patologías propias de las situaciones meteorológicas en las que son protagonistas las temperaturas elevadas. Los golpes de calor son las manifestaciones más graves dentro de este capítulo, pero, en algunas circunstancias, también necesitan de tratamiento médico otras dolencias, menos graves y achacadas al calor, como dermatitis, síncope, edemas, calambres musculares y agotamiento.

En condiciones normales, el cuerpo es capaz de hacer frente a una elevación de la temperatura, disipando con variados mecanismos el calor sobrante. Los más efectivos son la dilatación de los vasos sanguíneos (aparece el caracterís-

## Climas que curan

La meteorología no sólo interesa a los médicos desde el punto de vista patológico, también hay toda una terapéutica asociada a los beneficios que reportan algunos climas. El clima marítimo suave, característico de muchas zonas del litoral español, está especialmente indicado en casos de excitabilidad y en procesos anémicos, siendo particularmente beneficioso en niños y convalecientes. Los niveles más o menos constantes de temperatura, humedad y presión originan una acción sedante y tónica sobre el organismo.

Los climas de altura, presentes en numerosas zonas serranas, tienen en cambio una función excitante, al incrementar la actividad respiratoria y el metabolismo, provocando un aumento en el número de glóbulos rojos. En este caso, los beneficios se aprecian, entre otros, en obesos e hipertensos.

Por último, el clima de llanura suele ser el más frecuente en las grandes ciudades del interior del país, un medio poco saludable donde la atmósfera habitualmente sufre los efectos de la contaminación. Pero fuera del ámbito urbano, y cuando está asociado a masas forestales, este clima tiene propiedades sedantes debidas, en gran parte, a la ionización negativa que producen las áreas boscosas.

Desde hace algunos años se vienen elaborando mapas meteorotrópicos, en donde las distintas condiciones climatológicas se sitúan geográficamente y se relacionan con el agravamiento o mejoría de determinadas dolencias, de manera que los enfermos puedan elegir las zonas del territorio que les son más propicias. ■



El clima de altura es muy beneficioso. En la imagen, casa en el Pirineo aragonés.

tico enrojecimiento de la piel), la sudoración y el descenso de la actividad muscular.

Tras exposiciones progresivas al calor en el plazo de una semana se produce un proceso natural de aclimatación. Se modifican las frecuencias cardíaca y respiratoria, baja la temperatura corporal, aumenta el volumen de sudoración (hasta tres litros por hora) y se incrementa la eficacia muscular (se genera menos calor). Sin embargo, cuando las condiciones ambientales adversas se prolongan a lo largo de varios días con una temperatura ambiental superior a 35 °C y una humedad por encima del 60%, los mecanismos de adaptación comienzan a fallar y pueden terminar por colapsarse, apareciendo el temido golpe de calor.

Cuando este síndrome no está asociado a un ejercicio físico intenso, es decir, cuando es pasivo, suele aparecer a comienzos del verano, entre el tercer y sexto día de una prolongada ola de calor. Si se ha producido por un trabajo muscular de cierta dureza, puede manifestarse incluso con temperaturas templadas o no muy elevadas, y afectar a personas jóvenes, no aclimatadas, e incluidas en grupos de riesgo como militares, trabajadores manuales o deportistas.

En España la incidencia de patologías por el calor parece ir en aumento, debido a la práctica mucho más frecuente de deportes al aire libre y concentraciones multitudinarias, así como a un mayor envejecimiento de la población y un cierto abuso en el consumo de medicamentos. ■

Aunque lo afirman en sentido figurado, no les falta razón a aquellos que aseguran que el calor los vuelve locos. Además de la salud, también las altas temperaturas pueden alterar la conducta y convertirnos en sujetos irritables, asociales o violentos. Algunos estudios llevados a cabo por psicólogos norteamericanos demuestran que la pericia en la conducción de automóviles disminuye conforme aumenta la temperatura y que, sistemáticamente, solemos calificar peor a desconocidos cuando se sobrepasa en exceso la temperatura de confort, situada en torno a los 20-25 °C. Incluso hubo quien, analizando datos históricos y estadísticos, encontró una correlación entre las olas de calor y el inicio de motines y otros desórdenes. ■

**Es una nómada con pedigrí. Desde hace años, Jane Goodall viaja por el mundo con un mensaje de respeto a la naturaleza y sus criaturas,** educando sobre los retos del desarrollo sostenible a mandatarios, ciudadanos anónimos y, sobre todo, a los más jóvenes, la semilla del futuro. Su misión conservacionista nació en una remota región de Tanzania hace medio siglo. Allí llegó a estudiar a los chimpancés y le dio la vuelta al concepto mismo de humanidad. ■ POR Arantza Prádanos, PERIODISTA.

*Se cumplen cincuenta años de su llegada a la reserva de Gombe (Tanzania), donde sus investigaciones estrecharon el parentesco entre chimpancés y seres humanos*

## JANE GOODALL: BODAS DE ORO ENTRE MONOS

SE HACE DIFÍCIL PISARLE LOS TALONES a Jane Goodall. La célebre primatóloga británica, y hoy activa conservacionista, apenas duerme dos noches seguidas en la misma cama durante todo el año. Su vida es un constante trasiego de país en país, más propio de una estrella del rock que del tranquilo retiro que se le presumiría a una dama de pelo cano. Tiene 76 años, sí, pero vive “*like a rolling stone*”, a decir de sus colaboradores, con una agenda imposible y giras que suman casi trescientos días por los cuatro puntos cardinales.

Eso en años normales, y éste no lo es. A principios de julio pasado, Lady Chimpancé hizo de nuevo la maleta y se embarcó en un *tour* mundial; su continuo apostolado en defensa de la dignidad animal, del respeto al medio natural, del desarrollo sostenible del planeta, amplificado por una efeméride de gala: las bodas de oro de su llegada a Gombe (Tanzania), un diminuto enclave a orillas del lago Tanganika que la hizo famosa y que, de su mano, estrechó el vínculo entre el *Homo sapiens* y su primo más cercano, el chimpancé (*Pan troglodytes*). Medio siglo después de aquel aterrizaje decisivo, Jane Goodall mira satisfecha por el retrovisor, sin perder de vista lo que ahora más le importa, el mañana.

Aferrada siempre a *Míster H*, un mono de peluche, en los últimos meses sólo en España ha pisado Sevilla, Madrid y San Sebastián. En la capital andaluza presentó hace poco un documental sobre su vida y obra (*El viaje de Jane*, de Lorenz Knauer) y bendijo a distancia el arranque de una cátedra de biodiversidad en la Universidad de Alicante que lleva su nombre. En Bruselas, en sede comunitaria,

ululó como un chimpancé ante cientos de niños para ayudarles a digerir sus reflexiones sobre el deber común de preservar la vida en la Tierra. Los jóvenes son su auditorio favorito, el germen del porvenir que con tanto empeño siembra desde 1991 en su programa *Roots and shoots* (*Raíces y retoños*). Y así suma y sigue.

“Sí, a veces resulta agotador, pero lo que está en juego es muy importante. ¿Que



Cartel del filme 'El viaje de Jane', sobre la vida y obra de Jane Goodall.



INSTITUTO JANE GOODALL

Jane Goodall con un grupo de niños del programa 'Roots and shoots'; la primatóloga sostiene en su regazo a su mascota, el mono de peluche 'Mister H'.

de dónde saco la energía? De tanta gente que conozco, que demuestra que la actitud individual, cada uno de nosotros, puede cambiar las cosas, marcar la diferencia”, repite Goodall en cada entrevista, en cada coloquio de las decenas que protagoniza. Gente que no se rinde y cuyas historias cuenta con orgullo, como la de un biólogo empeñado en salvar de la extinción a una especie de ave de la que sólo quedaba una pareja. Hoy hay unos cuatrocientos especímenes. O la del furtivo congolés que colgó el rifle por una granja de pollos y convenció a decenas más para seguir su ejemplo. “Eso me da energía y esperanzas”, señala.

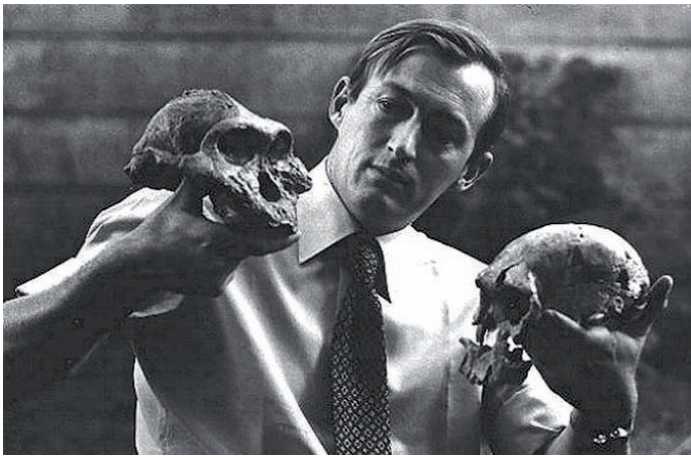
#### Un cuaderno y un lápiz

La misma esperanza, igual tesón, parecen haberla acompañado siempre. También a los veintiséis años, cuando llegó rubia y

delicada a estudiar a los grandes simios en el corazón de África, su sueño de niña enamorada de Tarzán. Gombe era y es un área montañosa, empotrada entre el lago Tanganika, que separa Tanzania de la República Democrática del Congo, a pocos kilómetros de la frontera con Burundi. Allí desembarcó el 14 de julio de 1960 una rosa británica de tez blanca, sin la menor formación científica, por la que nadie daba medio penique. Salvo Louis Leakey, el gran patriarca de la paleontología, que atisbó acero bajo la expresión dulce de Jane. La convirtió en la primera de las *chicas Leakey*, sus embajadoras entre los mayores primates del reino animal. Encargó a Goodall la observación de los chimpancés en libertad. Luego, enviaría a otros lares a Dian Fossey y sus gorilas de montaña, y a Biruté Galdikas, entregada a los orangutanes asiáticos.

“Llegué con un cuaderno y un lápice-ro. No sabía nada de nada”, evoca sobre aquellos primeros días en la antigua colonia británica. Su historia está contada. Las dificultades y los tempranos frutos de sus observaciones. La bisoña Goodall, una secretaria armada con prismáticos y tenacidad a prueba de monos, vio lo que otros no habían captado, quizá porque muchos primatólogos y etólogos titulados habían pasado más tiempo en seminarios o simposios que en el campo. Sus hallazgos en Gombe arrumbaron viejas creencias. No, los chimpancés no son vegetarianos; comen carne de animales que cazan —incluso otros monos— y comparten en comunidad.

Luego descubrió algo más impactante aún para nuestra propia especie. La capacidad del *Pan troglodytes* de fabricar herramientas —ramas escogidas y peladas



El paleontólogo Louis Leakey, maestro de las tres primatólogas que aparecen sobre estas líneas: Biruté Galdikas, Dian Fossey y Jane Goodall.

a propósito para cazar ricas termitas— fue una patada al pedestal humano. Resulta que no somos los únicos seres *habilitis* de la creación, que estamos acompañados en ese viaje evolutivo. Al conocer la noticia, su mentor, Louis Leakey, sentenció: “Ahora tenemos que redefinir *herramienta*, redefinir *hombre*, o aceptar a los chimpancés como humanos”.

A lo largo de casi tres décadas de presencia continua, Goodall constató además la inequívoca personalidad de cada ejemplar, los complejos lazos sociales y familiares, las rivalidades entre distintas comunidades de chimpancés. Comprobó su carácter jerárquico, territorial y violento, con guerras ocasionales de clanes e infanticidio. Y documentó un amplio abanico de conductas y respuestas antes conside-

radas privativas del hombre: el sentido lúdico, el afecto, la compasión, el cuidado, el rencor... “Al principio yo creía que los chimpancés eran mejores que nosotros. Con el tiempo vi que pueden llegar a ser igual de terribles que los seres humanos”, dice la primatóloga. No es de extrañar, al fin y al cabo, entre dos especies que comparten el 99% de su código genético.

Como tantas otras veces, aquí la ciencia escribió derecho con renglones torcidos. Goodall estudió a los inquilinos de Gombe del revés, contraviniendo todos los cánones de la investigación académica. Se acercó a los animales, sostuvo a sus crías, los despiojó como signo de integración en la comunidad, les puso nombres en lugar de fríos códigos numéricos. Se socializó junto a ellos, los *humanizó*. Hoy

los investigadores de campo no pueden acercarse a menos de veinte metros de los simios, también por la propia seguridad de los animales. Se sabe ya que, además de a sus propias enfermedades —una forma específica de sida, entre otras—, nuestros parientes más cercanos son vulnerables a afecciones humanas para las que carecen de inmunidad. Pero los de la joven Goodall eran otros tiempos y ella trabó lazos profundos con algunos ejemplares. Su *Chita* particular fue *David Greybeard* (*David Barbagrís*), el primer chimpancé que la admitió a su lado. Luego se le unió la gran matriarca *Flo* o su hija *Fifi*. Con esta última mantuvo, palabras de la propia Jane, “casi cuarenta años de amistad”. También recibió agresiones de *Frodo*, un mono macarra y violento con sus

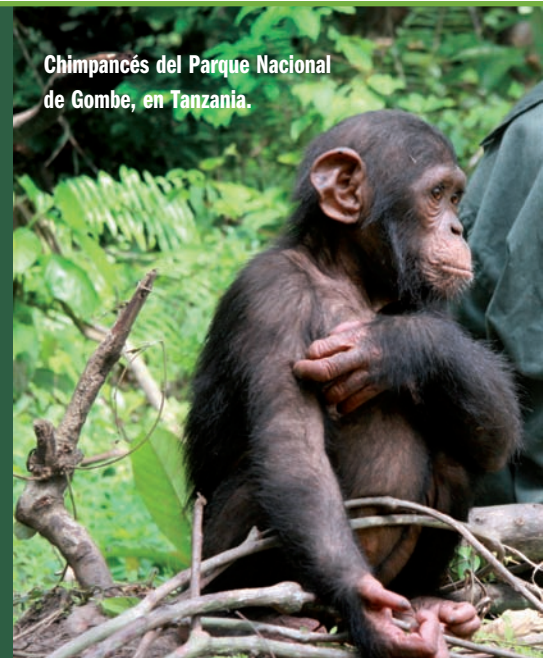
## Los frutos de Gombe

Desde 1960, las investigaciones sobre los chimpancés de Gombe han dado pie a más de 200 publicaciones científicas, 35 tesis doctorales, una treintena larga de libros, de Jane Goodall y otros autores, y nueve documentales.

Pero sobre todo ha dado lugar a numerosos y curiosos descubrimientos; entre otros:

- Los chimpancés cazan otros mamíferos y comen su carne.
- El uso de herramientas.
- Las hembras se aparean con distintos machos.
- Hay jerarquías claras tanto en machos como en hembras.
- La competición entre hembras por el alimento y el territorio incluye a veces el infanticidio de crías ajenas.
- Los chimpancés son territoriales y hay guerras entre comunidades por el control.
- Los machos tienden a permanecer en su clan natal; las hembras se unen a otros, evitando la endogamia.
- Padecen una forma propia de VIH-sida.

Chimpancés del Parque Nacional de Gombe, en Tanzania.





INSTITUTO JANE GOODALL



Localización del Parque Nacional de Gombe.

congéneres, y con un largo historial de ataques al personal investigador.

Ortodoxo o no, el trabajo de Goodall en Gombe marcó hitos y una nueva forma de estudiar a los grandes primates, colectiva e individualmente. Las líneas genealógicas matrilineales establecidas por la británica para la comunidad de Kasekela, que agrupa a la mayoría del centenar de chimpancés de la reserva, siguen vigentes. Los datos atesorados brillan en el acervo científico mundial con letras de oro, incluso con matizaciones de la misma Goodall sobre algunas de sus propias conclusiones. Reconoció que proporcionar comida a los simios para observarlos mejor exacerba los conflictos y la violencia entre ellos. Como sea, la investigación sobre *sus* chimpancés es uno de los estu-

dios sobre animales en libertad más continuados en el tiempo, y a su pionera le han llovido todos los honores académicos posibles, incluido el Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica en 2003.

### Una isla

El Parque Nacional de Gombe se ganó los galones como espacio protegido —apenas 35 kilómetros cuadrados, el menor de los parques tanzanos— en 1968. Sigue siendo un lugar hermoso y también asediado. A principios de los años noventa del siglo XX, Goodall ya había cerrado su etapa como investigadora de campo. En una visita ocasional a la zona, un avistamiento desde una avioneta le abrió los ojos. “Vi que Gombe era un pequeño oasis verde, un islote”, cercado por la deforestación y la devastación. La pobreza de la población y la llegada de refugiados del vecino Congo habían arrasado las zonas circundantes fuera del perímetro de la reserva. Ese aislamiento amenazaba, y aún hoy amenaza, la viabilidad de Gombe y su población de chimpancés. Con ayuda local puso en marcha el proyecto Tacare. Su objetivo: reforestar el área, formar corredores verdes para conectar con otros núcleos de primates e implicar a la población en estrategias de desarrollo sostenible.

Es sólo parte de la actividad frenética que despliega la primatóloga. Fundó el instituto que lleva su nombre en 1977, presente hoy en una treintena de países y desde 2007 en España ([www.janegoodall.es](http://www.janegoodall.es)), y ha creado santuarios para cuidar a chimpancés huérfanos o heridos por fur-

tivos, recuperados de zoos, circos o laboratorios. Su buque insignia es el de Tchimpounga, en Congo, dirigido por la veterinaria gallega Rebeca Atencia. Aunque lo que ahora ocupa más espacio en la cargada agenda de Jane Goodall es *Roots and shoots*. Ahí, en ese llamamiento a los jóvenes de todo el mundo —al que han respondido más de 150.000 de 120 países—, en esa búsqueda de compromiso para preservar el medio natural y a sus criaturas, chimpancés y seres humanos incluidos, ha cuajado la metamorfosis de Jane. La define bien Federico Bogdanowicz, director ejecutivo del Instituto Jane Goodall España. En estos cincuenta años, “Goodall ha recorrido un largo camino (...). Empezó siendo una primatóloga y ha terminado convirtiéndose en una gran activista”. El mensaje que difunde en su nomadeo sin fin es integral: defender los derechos de los animales debe ser compatible con preservar el hábitat en su conjunto y dotar de condiciones dignas de vida a la población de esas zonas.

Por el camino, Goodall, dama del Imperio Británico, mensajera de la paz de la ONU y un sinfín de títulos más, ha pagado un alto precio personal, según admitía en una entrevista reciente a *The New York Times*. Divorciada de su primer marido y viuda del segundo, su único hijo, Hugo, habla en el documental *El viaje de Jane* de la “obsesiva” entrega de su madre a su misión. Cincuenta años después, Jane Goodall es mucho más que la dama blanca de Gombe, pero todavía visita la reserva dos veces al año. “Es allí —dice— donde mi espíritu se regenera”.



Los chimpancés que se muestran en las imágenes pertenecen a un centro de recuperación, por lo que aparecen junto a personal especializado en su cuidado. El IJG se opone al uso de chimpancés como mascotas.

INSTITUTO JANE GOODALL

por  
Manuel Toharia

Salud

### Comer más fruta y verdura protege el corazón

**H**ASTA AHORA HABÍA cierta unanimidad en afirmar que las dietas con mayor proporción de vegetales son mucho más saludables que otras. Por ello, desde el año 2003 la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda ya, de forma generalizada, el consumo diario de medio kilo de frutas y verduras. Pero la ciencia aporta, por fin, una prueba bastante definitiva: en efecto, un régimen más vegetariano y menos carnívoro protege al sistema cardiocirculatorio. Así lo demuestran los datos de un estudio realizado en diez países que acaba de ser publicado en la revista europea del corazón *European Heart Journal*.

Lo cierto es que la ciencia nunca lo tuvo del todo claro. Se daba por hecho que era así por las bondades, entre otras razones, de la famosa dieta mediterránea, rica en vegetales, incluido el

aceite de oliva como grasa básica. Aunque casi todos los estudios apuntaban en la dirección que podríamos llamar correcta, también ofrecían algunos datos contradictorios. Por esa razón, en 1992 se inició un amplio estudio en el que participaron numerosos centros de investigación de diez países europeos, entre ellos muchos españoles. La idea era observar, durante casi diez años, el comportamiento alimenticio de decenas de miles de personas seleccionadas según unos estrictos criterios de representatividad del conjunto de la población, poniendo en relación la dieta de cada uno de ellos con los demás factores de riesgo cardiovascular —sedentarismo, tabaquismo, peso, hipertensión y diabetes, entre otros.

Los resultados que se dan a conocer ahora parecen concluyentes: si la dieta contiene más proporción

de frutas y verduras, disminuyen los fallecimientos por enfermedad cardiovascular. Y tanto más cuanto más vegetal sea la dieta. Es decir, se corrobora lo que sabíamos: somos omnívoros, pero la proporción de alimentos vegetales sobre animales debe ser mucho más alta.

Por países, los del arco mediterráneo (España, Italia y Grecia) fueron los que más fruta consumían. Y en general, algo más del 50% de los participantes tomaba más vegetales de lo recomendado, mientras que algo menos de la mitad de las personas del estudio, en cambio, se alimentaban peor y además fumaban, bebían o no hacían ejercicio. Por cierto, la tensión arterial de los primeros era, equiparando otras condiciones, inferior a la de los segundos.

Al parecer, si en lugar de cinco porciones de frutas o verduras (una porción equivale aproximadamente a cien gramos), se come una más, el riesgo de fallecer por infarto es un 5% menor en los hombres y un 15% menor en las mujeres. Y así sucesivamente hasta doblar la cantidad; a partir de ahí, las cosas ya cambian poco.

Los autores del trabajo son cautelosos en cuanto a las causas; no niegan que puedan ser los antioxidantes, como muchos piensan, pero sin descartar una posible asociación de muchos factores que, tomados aisladamente, quizá no hagan efecto. ■

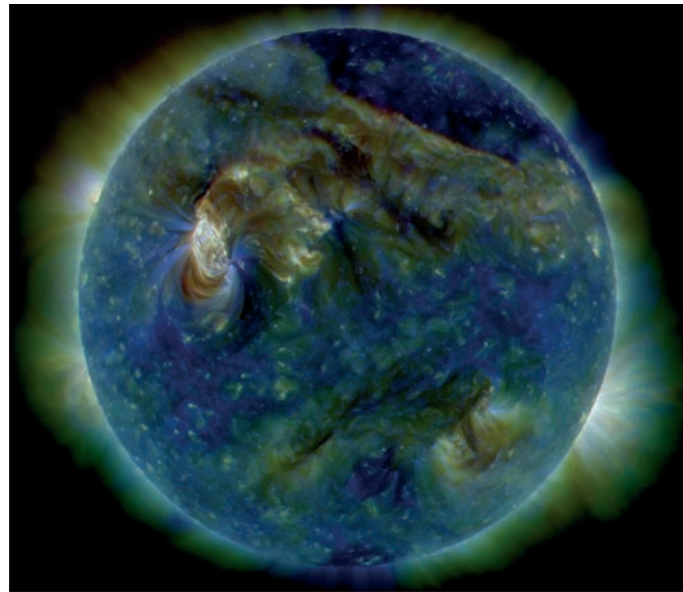


La OMS recomienda consumir diariamente frutas y verduras.

## Descubiertos nuevos ‘agujeros’ en el Sol

EL RECIENTE DESCUBRIMIENTO —del 9 al 12 de enero— de dos agujeros en la corona solar, a ambos lados del ecuador del astro, y el estudio recién publicado de la enorme tormenta solar del pasado 1 de agosto, parecen abonar la hipótesis de que a nuestra estrella le falta poco para “estornudar” violentamente. De ser así, emitiría energía y partículas en una cantidad muy superior a lo normal, pudiendo alterar gravemente nuestra atmósfera. En numerosas webs y artículos periodísticos se ofrecen comentarios que van desde el catastrofismo más delirante a la reflexión científica más sensata, aunque todos aluden a la posibilidad de que lo ocurrido sea un signo precursor de nuevas tormentas solares dañinas por su magnitud.

El Observatorio de Dinámica Solar (cuyas siglas en inglés son SDO) fue el que mejor observó tanto la enorme tormenta de agosto como estos dos nuevos agujeros en la corona, y es la primera misión lanzada por el programa de la NASA *Viviendo con una Estrella* (siglas inglesas LWS). Este programa estudia la generación y la estructura del campo magnético solar y la manera en que esa energía magnética es enviada al espacio y recibida luego por la Tierra en forma de ese famoso *viento solar* de intensidad variable, constituido por partículas muy



La tormenta solar del 1 de agosto de 2010 vista por SDO.

energéticas y radiaciones igualmente penetrantes.

Desde que fue lanzada en febrero de 2010, esta enorme nave —más de tres toneladas, 4,5 metros de largo y 2 metros de ancho— no ha parado de enviar datos. Lo interesante es que sus datos complementan de manera muy eficaz la información remitida por las naves-observatorio gemelas del programa STEREO (siglas en inglés de Observatorio de las Relaciones entre el Sol y la Tierra), lanzadas en 2006, que están situadas de forma que una de ellas precede a la Tierra en su viaje orbital alrededor del astro, y la otra va por detrás.

Ya el pasado 1 de agosto SDO y STEREO detectaron una gigantesca tormenta solar que procedía de prácticamente todo un hemisferio solar, y no sólo de una zona determinada de la estrella, para enorme sorpresa

de los científicos. Cuando en diciembre de 2010 ofrecieron el informe de lo que había ocurrido, los expertos señalaron la enorme ignorancia que se tenía hasta ahora respecto al funcionamiento de la maquinaria solar y, en particular, la forma en que envía su energía y su materia hacia el exterior.

Todo ello ha reavivado en ciertas mentes el temor, un poco supersticioso, a que el Sol esté iniciando una época de máxima actividad, con tormentas similares a la de agosto más frecuentes e intensas que nunca. En realidad, nada hace pensar que esto vaya a ser así. Hace siglos que sabemos que el Sol pasa por periodos de máxima y mínima actividad cada once años, de promedio. Pero el punto mínimo que se registró hace tres o cuatro años aún no ha despegado para alcanzar el próximo máximo, que debería

ocurrir el año 2012 o 2013 y que ya se debería apreciar. Y lo cierto es que, a pesar de la espectacularidad de la erupción del 1 de agosto y de las dos grandes manchas de su corona, el Sol despierta poco de su letargo, para sorpresa de muchos.

Cada vez existen más sospechas acerca de la influencia de la actividad solar sobre los cambios del clima en la Tierra. Ya el científico británico Edward Maunder relacionó a finales del siglo XIX el largo periodo de escasa actividad solar con la Pequeña Edad del Hielo registrada dos siglos antes. De ahí la trascendencia de estos estudios respecto al Sol y su comportamiento.

Normalmente, una erupción solar es canalizada por el campo magnético terrestre y su exceso de energía no afectaría demasiado a lo que ocurre por debajo de la atmósfera. No obstante, las alteraciones inducidas por el Sol en los campos electromagnéticos que circundan nuestro planeta, y que podrían desbordar nuestro escudo protector en caso de que hubiese una energía solar excesiva, podrían afectar a nuestros sistemas de comunicación por radio y satélite, e incluso dañar de algún modo las redes de energía.

Aunque llevamos ya muchos milenios conviviendo con el Sol, nunca tuvimos tanta dependencia del mundo electromagnético como ahora. ■

# S

por  
Manuel Toharia

# R

# B

# I

# E

## ASESINATOS MATEMÁTICOS

UNA COLECCIÓN DE ERRORES  
QUE SERÍAN DIVERTIDOS SI  
NO FUESEN TAN FRECUENTES



Claudi Alsina  
Ariel

### Asesinatos matemáticos Claudi Alsina Ariel, 2010

Claudi Alsina, conocido catedrático de Matemáticas de la Universidad Politécnica de Cataluña por la apasionada y divertida obra divulgadora de su especialidad, se ha empeñado en demostrar que todo el mundo comete errores con los números, errores muchas veces muy simples que suelen conducir a menudo a conductas completamente opuestas a lo que se pretende; algo que les ocurre incluso a los propios matemáticos... Y lo ha conseguido de forma amena, pedagógica casi, pero con un toque de humor casi jocoso que suaviza la amplitud de su denuncia acerca de las burradas que constantemente cometemos, según él dice, los periodistas, los políticos, e incluso reconocidos científicos, ya que los disparates numéricos afectan a todos, pues todos somos usuarios de las matemáticas. Y narra un sinfín de disparates cotidianos en los que todos más o menos acabamos por reconocernos. El libro parece más bien una obra de humor y provoca a

menudo la sonrisa, cuando no la carcajada. Luego viene la reflexión, siempre del estilo: “¡Pero cómo podemos ser tan burros!”. Confiesa quien estas líneas escribe —aficionado también a señalar los mil y un errores matemáticos y científicos que cometemos en el lenguaje de la vida diaria— que se puso a leer el libro con la mirada distante de quien no tiene por qué darse por aludido... ¡Craso error! Seguro que Claudi Alsina ha tomado nota incluso de sus propios errores en el libro, una buena forma de no volver a cometerlos. Al menos, eso habría que suponer. Por cierto, los dibujitos de Anthony Garner son deliciosos; lástima que sean pocos... ■



### Memoria histórica Juan Sisinio Pérez Garzón y Eduardo Manzano Moreno Los Libros de la Catarata Colección Debates Científicos CSIC, 2010

Desde los albores de la humanidad, la historia ha ido acumulando relatos, más o menos selectivos, acerca de los hechos del pasado. Es obvio que en esa selección,

siempre subjetiva, han jugado un papel esencial las componentes ideológicas y culturales, de manera explícita o aunque sea sólo tácitamente, lo cual convierte en la actualidad el relato histórico en una versión nunca definitiva de los hechos, una verdad siempre revisable que a veces incluso conviene reescribir a la luz de nuevas apreciaciones o, más objetivamente, nuevos datos obtenidos por procedimientos más sofisticados. Dos historiadores, Juan Sisinio Pérez, catedrático de Historia Contemporánea en la Universidad de Castilla-La Mancha y anteriormente investigador del CSIC, y Eduardo Manzano, profesor de investigación del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del mismo CSIC, se proponen en este libro demostrar que, a pesar de todo, es falsa la famosa afirmación de George Bernard Shaw según la cual “aprendemos de la historia que no aprendemos nada de la historia”. Tratan diversos temas, ante todo el de la recuperación de la memoria histórica, con una sustanciosa colaboración previa de Natalia Junquera, periodista de *El País* especializada, entre otras, en esa espinosa y no poco dolorosa cuestión. Luego vienen los trabajos de los dos autores, ambos con honrra científica indudable y escritos de forma amena y muy inteligible. El primero, sobre la historia y las memorias, así, en plural, tan condicionadas por los poderes y usos sociales en juego. El segundo, sobre la memoria pero también el olvido y lo que todo ello acaba por

significar a la hora de configurar lo que llamamos historia. Con ejemplos, reflexiones y mucha honradez intelectual, en las historias de la historia que se nos van desgranando. ■



**Armonía fractal de Doñana y Las Marismas**

**Héctor Garrido y Juan Manuel García Ruiz**

**Lunweg Editores, 2009**

No sólo es un libro de imágenes bellísimas, cosa habitual en las ediciones de Lunweg, sino que además encierra una información científica y a la vez descriptiva de primera magnitud. Una bella edición, no excesivamente lujosa y por tanto asequible, en la que el arte y la ciencia se unen para conseguir sacarle al parque nacional quizá más emblemático de Europa todas sus esencias escondidas. Lo interesante de la obra no es esa espectacular combinación de información técnica impecable y de imágenes de belleza increíble, sino el hecho de que todo ese conjunto acaba mostrando una faceta no por inusual menos importante: la geometría fractal que preside ese territorio del que nunca pudo sospecharse que encerrara semejante curiosidad matemática. La impresión última tras la lectura sosegada —necesita mucho

tiempo, porque las páginas no sólo se ven y se leen, sino que se paladean— es que esta obra compendia una especie de reflexión, visual, literaria, biológica y matemática, del eterno conflicto entre el hombre, con su gusto por la geometría angular, quizá euclidiana, y la naturaleza, que propicia con generosidad sus formas geométricas esencialmente fractales cuando no caóticas; en contra de lo que pensaban los griegos, que asumían que la perfección era precisamente la esfera, la circunferencia, los ángulos rectos... No, la naturaleza no se deja fácilmente cuadrificar. ■



**Y tú..., ¿innovas o abdicas?**

**Justo Nieto Nieto**

**Universidad Politécnica de Valencia, 2010**

Segunda edición de un libro enormemente sagaz acerca de la innovación, escrito por un ingeniero, maestro de ingenieros, que fue, durante muchos años, rector de la Politécnica de Valencia, aunque él presume, con razón, de que en su juventud fue ocho años pastor, dos años camionero y cinco años mecánico tornero. Justo Nieto afirma que la innovación

consiste en usar el conocimiento que se pueda conseguir o se estime pertinente por unas u otras razones, para construir un proceso o camino inédito que lleve a la meta de progreso deseada. Eso sí, sabiendo que cada proceso de innovación es específico, y no vale seguramente para otros retos, por parecidos que sean. Así que para construir cada uno de esos caminos, la innovación suele carecer de método. Incluso carece de lógica cuando el camino así construido no hacía falta, en apariencia, anteriormente. Porque es obvio que la innovación no debe imponerse cuando aparecen los achaques, sino sólo con la presión del reto a conseguir. Lo innovador, por ejemplo, es preocuparse por la salud cuando se está sano, no cuando ya hemos enfermado. Además, la innovación carece de pasado, está por hacerse siempre. Y carece de seguridad, porque nunca se sabe qué va a salir. Incluso a menudo carece de mérito porque era inevitable aunque nadie se diera cuenta antes... El libro de Justo Nieto no es un manual teórico para emprendedores sino un libro bastante más divulgativo. Él mismo dice que “para abrir los sentidos”, para convertir el reto de innovar no sólo en una ineludible necesidad empresarial sino, sobre todo, en toda una pasión por el conocimiento que aún no se posee; estimulando miradas divergentes, pensamientos laterales, conductas insólitas, ilusiones renovadas... Por eso el dilema del mundo de hoy es innovar... o abdicar. ■

# SUSCRIPCIÓNestratos

Nombre y apellidos

Domicilio

CP

Población

e-mail

Provincia

De acuerdo con lo dispuesto en la vigente normativa, le informamos de que los datos que usted pueda facilitarnos a través del presente boletín de actualización quedarán incluidos en un fichero del que es responsable ENRESA, donde puede dirigirse para ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, oposición o cancelación de la información obrante en el mismo, bien a través de la dirección de correo electrónico [registro@enresa.es](mailto:registro@enresa.es) o por escrito a la calle Emilio Vargas, 7. 28043 Madrid. Los datos personales que se solicitan al suscriptor son los estrictamente imprescindibles para poder recibir la revista. Estos datos se tratarán únicamente para gestionar la lista de suscriptores y no se comunicarán a ningún tercero.



El glaciar Perito Moreno, en el Parque Nacional Los Glaciares, en Patagonia (Argentina).

## *Perito Moreno*

CON UN AVANCE ESTIMADO DE DOS METROS AL DÍA SOBRE uno de los brazos del Lago Argentino, el glaciar Perito Moreno es uno de los pocos del mundo que no retrocede ante el calentamiento global. Con una longitud de 30 kilómetros, un frente de 5 kilómetros de ancho y 60 metros de altura, su viaje por el lago acaba en un extremo de la Península de Magallanes (a la derecha de la imagen). Allí, además de pulir sus

antiguas capas de sedimentos, se ancla para formar una barrera de hielo que eleva el nivel del agua de este lado de la imagen, hasta unos 20 metros sobre el resto del Lago Argentino. La presión que se acumula en la barrera hace que se acabe rompiendo de manera brusca e impredecible cada tres o cuatro años —la última, el 9 de julio de 2008—, originando uno de los espectáculos más ruidosos y soberbios de la naturaleza. ■

# Westinghouse AP1000

## On schedule for 2013

*Placement of the containment vessel  
bottom head at Sanmen, Unit 1.*



WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC

The Westinghouse AP1000™ nuclear power plant is the technology of choice for active and emerging new plant markets across the globe.

In China, four new AP1000s are currently under construction and they are being built in an on-time and on-budget manner, with the first scheduled to come online as planned in 2013.

In the United States, the AP1000 has been selected as the technology of choice for more than half of the new plants announced, including the only six for which engineering, procurement and construction contracts have been signed.

Westinghouse nuclear technology will help provide future generations with safe, clean and reliable electricity.

Check us out at [www.westinghousenuclear.com](http://www.westinghousenuclear.com)



A Toshiba Group Company

You can be sure...  
If it's Westinghouse



# EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

- ▶ Consultoría
- ▶ Gestión de Proyectos
- ▶ Ingeniería y Diseño
- ▶ Seguridad Nuclear y Licenciamiento
- ▶ Protección Radiológica
- ▶ Adquisición de Equipos
- ▶ Supervisión de Construcción
- ▶ Pruebas y Puesta en Marcha
- ▶ Garantía de Calidad
- ▶ Apoyo a la Operación y Mantenimiento
- ▶ Evaluaciones de Seguridad
- ▶ Análisis Probabilista de Seguridad
- ▶ Proyecto e Implantación de Modificaciones
- ▶ Gestión de la Configuración
- ▶ Gestión de Residuos Radiactivos de Baja Actividad
- ▶ Proyectos de Instalaciones para Almacenamiento de Combustible Gastado
- ▶ Programas de Alargamiento de Vida
- ▶ Descontaminación y Desmantelamiento

■ **Tecnología**

■ **Experiencia**

■ **Dedicación** ■



**EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E.** Magallanes, 3 • 28015 Madrid, España • Teléfono (34) 91 309 80 00 - Fax (34) 91 591 26 55  
[www.empre.es](http://www.empre.es)

EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. es una Agrupación de Interés Económico (Ley 12/1991 de 29 de Abril) constituida por GHESA, TRSA, IBERINCO, SOLUZIONA INGENIERÍA y TRPI.

EMPRESARIOS AGRUPADOS INTERNACIONAL, S.A. es una Sociedad Anónima promovida por los mismos socios.