



Cayetano López,
director general
del Ciemat: "En el
futuro no sobrar 
ninguna fuente de
energía conocida"



Se cumplen
cincuenta años del
inicio de las obras
de la presa de Asuán,
icono de la ingeniería
contemporánea



Todo a punto para
producir este año
la primera reacción
de fusión nuclear
con láser en
Estados Unidos

estratos

Empresa
Nacional
de Residuos
Radiactivos
N.  94
Primavera 2010



Enresa lanza su sexto Plan de I+D

•••• Una apuesta segura
en ingeniería nuclear.



www.iberdrolaingenieria.com

División de Generación Nuclear

Telf.: +34 91 383 31 80

Fax: +34 91 767 53 89



IBERDROLA

Ingeniería y Construcción

Dos grandes retos para Enresa



ENTRE LAS MISIONES ENCARGADAS a Enresa en su Real Decreto de constitución destacan dos importantes servicios públicos: la gestión de los residuos radiactivos y el desmantelamiento de centrales nucleares. Ambas realidades están hoy de actualidad a través de sendos proyectos que suponen para la empresa otros tantos retos de futuro: el Al-

macén Temporal Centralizado (ATC) para gestionar los residuos radiactivos de alta actividad, y el desmantelamiento integral de la central nuclear de José Cabrera, en Guadalajara.

Para la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad (que fundamentalmente se corresponden con el combustible gastado de las centrales nucleares), el Parlamento español, a través de la Comisión de Industria, instó al Gobierno en 2004 a desarrollar un almacenamiento centralizado siguiendo el modelo largamente probado de muchos países de nuestro entorno. A finales del pasado año, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio realizó una convocatoria pública al conjunto de corporaciones municipales españolas para que optasen a albergar esta instalación de almacenamiento. Previamente, en 2006, el Gobierno había puesto en marcha un proceso de información pública. Esta convocatoria ha dado como resultado la selección de nueve municipios candidatos de cinco comunidades autónomas. Tras el proceso de evaluación, análisis y selección de los candidatos por una Comisión Interministerial, y a la vista de la recomendación de este órgano asesor, será el Gobierno quien seleccione el emplazamiento más idóneo para el ATC. A partir de ese momento, Enresa acometerá la realización de una instalación que permitirá solucionar la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad, al igual que en su día hizo con los de baja y media actividad.

Por otro lado, Enresa, tras asumir la titularidad de la central nuclear José Cabrera, la primera que funcionó en

España, se dispone a iniciar los trabajos para su desmantelamiento. Desde el pasado 11 de febrero, Enresa tiene un nuevo centro de trabajo en la central alcarreña, que se suma al almacén centralizado de El Cabril, al centro tecnológico Mestral en Tarragona y a la sede social en Madrid.

Como es sabido, no es el primer proyecto de desmantelamiento que Enresa lleva a cabo. El precedente de la central tarraconense de Vandellós I, que esta empresa realizó entre 1998 y 2003, puso de manifiesto la capacidad tecnológica que nuestro país tiene para desarrollar trabajos de esta complejidad, y que han servido de referente internacional. En el caso de la central alcarreña, hay que destacar que va a ser el primer desmantelamiento completo que se realizará en España: es decir, en un plazo aproximado de seis años, el emplazamiento de la central quedará limpio desde el punto de vista radiológico y completamente disponible para cualquier uso que su propietario quiera darle.

Ambos proyectos, el ATC y el desmantelamiento de José Cabrera, son los nuevos retos que aguardan a los técnicos de Enresa. La experiencia y capacidades adquiridas durante los dieciocho años que lleva en operación el almacén centralizado de El Cabril, constituyen un referente y una guía para estas nuevas actividades. ■

José Alejandro Pina
Presidente de ENRESA

estratos

N^o 94 PRIMAVERA 2010

25

Lo que Darwin nunca supo... ni pudo saber

Manuel Toharia



38

La resurrección del carbón

Inmaculada G. Mardones

52

Guerra a los residuos militares

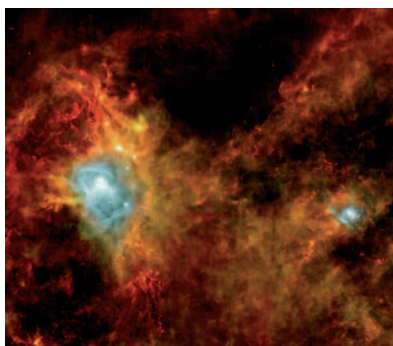
Julián Pérez



42

'Herschel' y 'Planck', dos telescopios para retroceder hasta el origen

Mónica Salomone



30

Espanoles en el OIEA

Jorge Fernández

34

Asuán, la presa más controvertida

Pablo Francescutti



56

Caracoles: amenazados por la cazuela

José María Montero

4 Actualidad

60 Noticias de ciencia y tecnología

62 Libros

64 Una imagen, cien palabras

47

El legado de la 'conquista' del Amazonas

Gustavo Catalán

Cubos (istockphoto).



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

Seguimiento: Teresa Palacio.
Redactores y colaboradores: Julio Astudillo, Concha Barrigós, Ignacio F. Bayo, 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, Jesús Vicenti.

10

Enresa presenta su sexto Plan de I+D

El sexto Plan de I+D de Enresa apuesta por desarrollos de aplicación directa a la gestión de residuos radiactivos. Canalizará inversiones por valor de 26 millones de euros hasta 2013.

The Enresa 6th R&D Plan backs developments directly applicable to radioactive waste management (page 12).

Texto: Julio Astudillo



16

Entrevista a Cayetano López, director general del Ciemat

Cayetano López es desde enero el nuevo responsable del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), un cargo que desempeña “muy ilusionado”, porque todo lo que hace este organismo, asegura, es “interesante y útil para la sociedad”. Catedrático de Física Teórica, ha sido rector de la Universidad Autónoma de Madrid y vicepresidente del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN).

Texto: Concha Barrigós

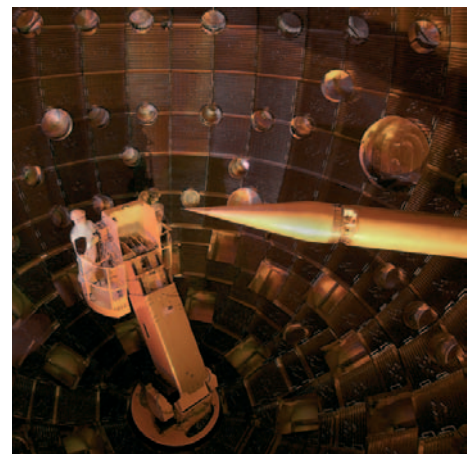


20

La fuerza de la luz

La fusión nuclear es el mito energético por excelencia. El camino para conseguirla se centra en el reactor internacional ITER, que se está construyendo en Francia y emplea un sistema de confinamiento magnético. Pero existen alternativas: en EE.UU. investigan la concentración de potentes haces de luz láser en un punto para provocar, con su energía, la unión de núcleos de deuterio y tritio. La instalación NIF pretende alcanzar este objetivo antes de terminar el año.

Texto: Ignacio F. Bayo



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, Miguel Fleita, 5. 28037 Madrid. 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 Cabril, punto de encuentro internacional

Una treintena de técnicos de comunicación de SKB —la agencia de gestión de residuos radiactivos sueca— y un grupo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) visitaron recientemente el almacén centralizado de El Cabril, situado en la Sierra Albarrana cordobesa.



Técnicos del OIEA, en las instalaciones de El Cabril.

La delegación sueca asistió el día 10 de marzo a una ronda de presentaciones de Enresa sobre los aspectos más importantes de la empresa en la sede corporativa de Madrid. Al día siguiente viajó a El Cabril para conocer el sistema de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad que se utiliza en España.

Por otro lado, expertos del OIEA se desplazaron el

Enresa asume la titularidad de la central nuclear

José Cabrera para comenzar su desmantelamiento

Enresa asumió, el pasado 11 de febrero, la titularidad de la central nuclear José Cabrera, de manos de Gas Natural-Unión Fenosa para comenzar su desmantelamiento. La transferencia se registró a las 13.00 horas en el libro de operaciones de la sala de control de la central, tras la firma previa ante notario del presidente de Enresa, José Alejandro Pina, y del director general de Generación de Gas Natural-Unión Fenosa, José Javier Fernández.

El director del desmantelamiento, Manuel Rodríguez, explicó en una rueda de prensa que se trata del primer desmantelamiento “integral” que se realiza en España. Esto supone que, en un plazo aproximado de seis años, el emplazamiento de la central quedará limpio desde el punto de vista radiológico.

La caracterización de los distintos materiales, las tareas de desmontaje, las demoliciones y la restauración de los terrenos son algunas de las actividades de este proceso en el que se generarán un total de 104.000 toneladas de



José Alejandro Pina y José Javier Fernández, en la central José Cabrera.

materiales: 95.300 corresponderán a escombros y hormigón tradicionales; 4.700, a chatarras convencionales; y sólo un 4%, es decir, 4.000, serán resi-

duos radiactivos de baja y media actividad. Por su parte, 218 toneladas corresponden al combustible gastado y a los componentes del reactor que permanecen en el almacén temporal individualizado con el que cuenta la central.

Manuel Rodríguez destacó que durante el proyecto, más del 90% del personal con el que contaba la planta continuará trabajando en el proceso de desmantelamiento. Según comentó, Enresa ha subcontratado servicios con 18 empresas que ya dan trabajo a 140 personas, esperándose picos de 250 trabajadores.

El presupuesto de las obras de desmantelamiento, de acuerdo con el plan aprobado en 2003, es de 135 millones de euros. Para Manuel Rodríguez, la transparencia y el empleo constituyen elementos fundamentales del proyecto, sin olvidar la seguridad, que está fundamentada en la planificación de los trabajos, la formación continua de los trabajadores y la supervisión permanente en la obra.

24 de marzo a la sierra cordobesa para visitar El Cabril. El grupo, formado por quince profesionales procedentes de diversos países iberoamericanos —Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Cuba, México y Uruguay—, recorrió las distintas instalaciones del centro de almacenamiento de Enresa. Esta visita se enmarca dentro de las actividades del Programa IAEA Disponet denominado “Desarrollo de un Almacenamiento en Superficie de Residuos Radiactivos RBMA”, que celebró unas jornadas en Córdoba del 22 al 26 de marzo. ■

[continúa en la página 6]

El director de Operaciones de Enresa, Alejandro Rodríguez, recordó que el desmantelamiento en España es una actividad industrial consolidada, cuyos métodos y tecnología constituyen un referente internacional. Enresa ha acometido ya desmantelamientos como el de la central nuclear de Vandellós I (Tarragona), actualmente en periodo de latencia; la Fábrica de Uranio de Andújar (Jaén); las instalaciones obsoletas del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Madrid), y el proceso de restauración ambiental de antiguas minas de uranio repartidas por el territorio nacional.

La transferencia de titularidad, explicó Alejandro Rodríguez, supone el “comienzo oficial” de un proyecto en el que Enresa lleva trabajando desde el año 2002. ■

Nueve municipios optan a albergar el Almacén Temporal Centralizado

Un total de nueve municipios de cinco comunidades autónomas buscan ser elegidos para albergar el Almacén Temporal Centralizado (ATC) de residuos radiactivos de alta actividad, según la lista definitiva hecha pública el 22 de febrero por la Comisión Interministerial para la selección del emplazamiento del almacén nuclear. En dicha lista figura también la localidad de Torrubia de Soria, cuyos vecinos revocaron con posterioridad, el 31 de marzo, el acuerdo por el que habían decidido optar al ATC.

Los municipios que aparecen en la relación de la Comisión Interministerial son los de Albalá (Cáceres), Ascó (Tarragona), Melgar de Arriba (Valladolid), Santervás de Campos (Valladolid), Yebra (Guadalajara), Villar de Cañas (Cuenca), Zarra (Valencia) y Congosto de Valdavia (Palencia), además del ya citado de Torrubia de Soria (Soria).

Estos municipios buscarán el mayor consenso social, territorial e institucional a nivel autonómico y local, tal y como instó el pleno del Congreso de los Diputados en dos enmiendas aprobadas el pasado 23 de febrero. ■

plan | Agro



el fruto de Jaén,
el alma de nuestras vidas

CAJA DE JAÉN
con el sector del olivar

Una apuesta firme para que nuestros pueblos
y su gente sigan siendo el alma de Jaén.

 CAJA DE JAÉN

www.cajaen.es

Juan Antonio Rubio, un gran hombre

Nuestro compañero y amigo Juan Antonio Rubio, director general del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), nos dejó el pasado 17 de enero, tras una larga enfermedad contra la que luchó hasta el último momento con el espíritu y entereza que caracterizó toda su vida, y que puede resumirse muy bien en una de sus citas favoritas del Quijote: “Podrán los encantadores quitarme la ventura; pero el esfuerzo y el ánimo, será imposible”.

Con su muerte hemos perdido a una de las personas más notables del mundo de la ciencia, con una enorme vocación y capacidad para construir el futuro. Toda su vida estuvo dedicada al progreso científico, a situar a España entre los países destacados, tratando de sacarla del aislamiento en que estuvo durante varias décadas. Su ilusión para concebir grandes metas, su minucioso análisis para definir los caminos y su firme determinación para llegar al resultado fue en él una cualidad innata y, ade-

más, potenciada continuamente; los que lo conocimos en el día a día sabemos que era un trabajador infatigable, que preparaba minuciosamente los temas y que no dejaba ningún detalle a la improvisación.

Comenzó su vida profesional en la Junta de Energía Nuclear (JEN) a mediados de los años sesenta, tras participar en uno de los excepcionales cursos de postgrado que impartió esta institución y que fueron el germen de una fructífera promoción de físicos de altas energías que ha liderado el desarrollo de esta especialidad en España. Pronto se desplazó a la Organización Europea de Investigación Nuclear (CERN) para completar su formación y obtener el doctorado. Allí nació su inquietud porque España reingresara en esta institución única en el mundo. Efectivamente fue el autor y principal impulsor del Plan Movilizador de la Física de Altas Energías, cuyos frutos pueden verse hoy en las principales universidades españolas y en el potente grupo del Ciemat; a este plan le acompañó otro de desarrollo tecnológico

para promover la participación de la industria nacional en los grandes proyectos del CERN y en otras grandes infraestructuras científicas europeas. El reingreso de España en el CERN en 1983 (después de catorce años de ausencia) se debió en gran parte a su iniciativa, tesón y liderazgo.

En aquella época, siendo director científico de la JEN, definió y lideró el Plan de Fusión, hoy una flamante realidad en el Ciemat y en el mundo universitario en torno a la instalación TJ-II. Lanzó entonces el Plan Informático de la JEN, base de la fructífera realidad del cálculo científico del Ciemat. Ocupó después varios puestos de responsabilidad en el CERN, poniendo en marcha y liderando la transferencia de tecnología de esta institución. Durante este periodo trabajó intensamente para traer a España la *tau factory*, con la ilusión de dotar al país de una instalación científica de alto nivel; aunque este proyecto no pudo llegar a buen fin, fue el germen que posibilitó después la actual realidad del sincrotrón ALBA de Barcelona.

[viene de la página 5]

La tasa para gestionar los residuos radiactivos se recaudará vía Tesoro Público

El Tesoro Público recauda desde este año una tasa que tiene carácter finalista y que se destina a gestionar los residuos radiactivos. El 1 de enero de 2010 entró en vigor la Ley 11/2009 de 26 de octubre que regula el funcionamiento de la gestión de residuos, y donde se introducen varias modificaciones, al declarar la gestión de residuos radiactivos co-

mo un “servicio público esencial” que realiza el Estado a través de Enresa, bajo la tutela del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Con esta ley se modifica el sistema de financiación con precios públicos a través de tasas, lo que supone un nuevo concepto de internalización de los costes con cargo a los productores.

El estatus legal de Enresa, que es una sociedad anónima mercantil, le impide cobrar directamente una tasa. Por ello es el Tesoro el que la recauda y se la asigna.

La tasa es abonada por las empresas que generan residuos radiactivos, entre ellas las titulares de las centrales nucleares y las cerca de 1.300 instalaciones radiactivas de naturaleza médica, industrial o de investigación que hay en España y que producen este tipo de residuos. ■

La Asociación de la Prensa de Guadalajara y Enresa organizaron unas jornadas formativas sobre desmantelamiento

Más de una veintena de periodistas de la Asociación de

la Prensa de Guadalajara participaron, los días 23 y 24 de marzo, en unas jornadas formativas sobre el desmantelamiento de las centrales nucleares, organizadas con la colaboración de Enresa. El objetivo de este encuentro era conocer en profundidad qué implica un proceso de este tipo y, en concreto, qué pasos se darán hasta que el lugar donde funcionó la central nuclear José Cabrera (Zorita) —la primera de su naturaleza que operó en España— quede limpio desde el punto de vista radiológico y de estructuras.

También fue un artífice destacado del proyecto de transmutación ADS (Accelerator Driven System), liderado por el premio Nobel Carlo Rubbia, precursor del importante programa europeo actual sobre transmutación de residuos radiactivos.

En 2004 volvió al Ciemat como director general, con una visión lúcida sobre la energía, la tecnología y el medio ambiente en la que ha trabajado hasta su muerte con importantes iniciativas en el campo de las energías renovables, particularmente en la energía solar termoeléctrica, la nueva energía nuclear sostenible y las nuevas tecnologías de cálculo distribuido, aceleradores de partículas, imagen médica, etcétera.

Como vicepresidente del Consejo de Administración de Enresa tuvo una estrecha relación con la empresa, a la que también transmitió su ilusión e inquietud por el desarrollo tecnológico, ayudando en todo cuanto pudo a resolver cualquiera de sus problemas.



Juan Antonio Rubio.

Manifestó asimismo, en numerosas ocasiones, su agradecimiento y admiración a Enresa por su excelente labor en la gestión de los residuos radiac-

tivos del país y en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, particularmente en el Proyecto PIMIC, tan importante para el Ciemat.

Los que lo conocimos y tuvimos el privilegio de trabajar con él, sabemos que, con todo, fue su dimensión humana su principal cualidad. Su fidelidad a los amigos y su generosidad con cualquier persona que tuviera alguna necesidad fueron una constante en su vida.

La coherencia con la que afrontó sus últimos días fue un ejemplo para todos los que tuvimos la suerte de contar con su amistad. Nunca se rindió y trabajó intensamente hasta el último día. Tardaremos en recuperarnos de su pérdida y lo recordaremos para tratar de imitarlo y llevar adelante los proyectos ilusio-

nantes que nos legó. ■

Ramón Gavela, director general adjunto y director del Departamento de Energía del Ciemat.



El grupo de periodistas alcarreños durante su visita a la central.

La primera jornada tuvo lugar en el centro de prensa alcarreño. En este inicio, con un contenido más teórico, los principales responsables del proyecto explicaron tanto la

experiencia de Enresa en desmantelamiento como una disciplina menos conocida pero que rige todos los momentos del proceso: la protección radiológica.

Al día siguiente, ese conocimiento teórico se trasladó a la actividad que desde el pasado 11 de febrero Enresa realiza en José Cabrera. La central fue el escenario de una visita guiada por los responsables del desmantelamiento en la que se detalló cómo se iba a gestionar cada componente de la planta. ■

Acuerdo de colaboración entre ANSTO y Enresa

El Gobierno australiano ha confiado a la Australian Nuclear Science and Technology Organization

(ANSTO) la misión de desarrollar una instalación centralizada para gestionar los inventarios de residuos radiactivos producidos por el programa australiano, así como los resultantes del reprocesado en el extranjero del combustible gastado de los reactores de investigación del país. La instalación constará de un área para el almacenamiento definitivo de residuos de baja y media actividad e infraestructuras para el almacenamiento temporal de residuos de media actividad.

ENRESA

Enresa y la Junta de Andalucía colaborarán en la lucha contra incendios forestales y la protección de las aves esteparias

El consejero de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, José Juan Díaz Trillo, y el presidente de Enresa, José Alejandro Pina, firmaron el pasado 5 de abril dos convenios para colaborar de 2010 a 2014 en la defensa contra los incendios forestales y para que la empresa pública se convierta en patrocinadora del Proyecto Life+Naturaleza, destinado a la conservación y gestión en zonas de especial protección para las aves esteparias de Andalucía.

Gracias al acuerdo alcanzado, Enresa continuará ayudando a la Junta de Andalucía en la lucha contra incendios forestales y pondrá a disposición de la Consejería un helicóptero en cada campaña del Infoca. Además, facilitará espacio para el aterrizaje y despegue de la aeronave en el almacén centralizado de El Cabril, en la Sierra Albarrana cordobesa. Los retenes de especialistas del Infoca dispondrán, también en El Cabril, del espacio y las instalaciones necesarias para su actividad.

Por su parte, la Consejería aportará los medios humanos y equipamientos necesarios para mantener un retén de especialistas en el almacén centralizado de residuos, que dará prioridad al uso del helicóptero que

facilitará Enresa para la prevención y extinción de los incendios forestales en la Sierra Albarrana y en otros puntos de la comunidad andaluza.

Respecto al Proyecto Life+Naturaleza, la Fundación Enresa se suma como cofinanciadora de esta iniciativa mediante la aportación de 80.000 euros en cuatro años. El objetivo de este programa es la protección de especies esteparias recogidas en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas, como la avutarda común, el sisón común, el cernícalo primilla, el aguilucho ceniza y la ganga ortega.

Estas especies habitan en zonas como el Alto Guadiato, las Campiñas de Sevilla, Fuente de Piedra y las Lagunas de Campillos, designadas como de especial protección de las aves, y cuya gestión y conservación es el eje de este proyecto.

Ambos convenios dan respuesta a la constante preocupación de Enresa por el entorno de su instalación cordobesa. La Consejería de Medio Ambiente y Enresa llevan ya más de 18 años de colaboración activa en la lucha contra incendios y, a partir de ahora, inician una nueva colaboración con el proyecto Life+Naturaleza. ■

En este marco, ANSTO y Enresa han firmado un acuerdo de colaboración para el intercambio de información con el fin de apoyar el desarrollo del proyecto australiano que, actualmente, se encuentra en la fase de selección de emplazamiento entre una serie de candidatos voluntarios. ■

Consulta pública de la Comisión Europea sobre la gestión de residuos radiactivos y combustible gastado

La Comisión Europea tiene la intención de relanzar el proceso para promulgar una legislación específica sobre gestión de residuos radiactivos y combustible gastado. Actualmente, el Tratado Euratom, la legislación comunitaria en vigor sobre combustible gastado y residuos radiactivos, sólo cubre una pequeña parte de los aspectos relacionados con su gestión, tales como la vigilancia y el control de los traslados, así como la seguridad nuclear de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado y los residuos radiactivos.

Para llenar este vacío, la Comisión propuso, en 2003, una Directiva sobre la gestión del combustible nuclear y residuos radiactivos y, en 2004, volvió a presentar al Consejo una propuesta modificada (COM (2004) 525 final). Después de largas negociaciones, el Consejo abogó en sus conclusiones de junio de 2004 por una "consulta amplia" con las partes interesadas antes de que se desarrollara cualquier instrumento en el ám-



Juan José Trillo y José Alejandro Pina, en la firma de los convenios.

bito del Tratado Euratom (Conclusiones del Consejo sobre la seguridad nuclear y gestión segura del combustible gastado y los residuos radiactivos, 10823/04).

Desde entonces, la Comisión ha abordado estas cuestiones a través de diferentes iniciativas a nivel comunitario, como el Grupo de Trabajo del Consejo sobre Seguridad Nuclear (WPNS), el Comité de Alto Nivel del Grupo de Seguridad Nuclear y Gestión de Residuos (ENSREG), el Foro Europeo de Energía Nuclear (ENEF) y la Plataforma Tecnológica sobre Energía Nuclear Sostenible (SNE-TP), con el objetivo de lograr una postura común y unas normas comunitarias destinadas a

mejorar la situación de la gestión de residuos radiactivos y del combustible gastado.

Actualmente, la Dirección General de Energía de la Comisión Europea está llevando a cabo un estudio del impacto (Impact assessment) para analizar las diversas opciones y determinar las potenciales consecuencias económicas, sociales y en el medio ambiente. En este contexto, y a fin de facilitar la participación amplia de los interesados, la Comisión acaba de lanzar una consulta pública, mediante el uso de un cuestionario *online* que permanecerá abierta hasta el 31 de mayo de 2010. El cuestionario se puede encontrar en la dirección de Internet: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/consultations/2010_05_31_fuel_waste_en.htm ■

europa.eu/energy/nuclear/consultations/2010_05_31_fuel_waste_en.htm ■

Italia pone en marcha un proyecto para construir un almacén de residuos de baja y media actividad

La adopción de la Ley 99/2009 por parte del Gobierno italiano para retomar el uso de la energía nuclear considera, entre sus elementos, la necesidad de establecer una estrategia para la gestión de los residuos radiactivos y, también, para el desmantelamiento de las instalaciones existentes en los emplazamientos de Trino, Latina, Caorso y Garigliano, en desuso desde el referéndum de 1987 por el que el país abandonó la energía nuclear. La empresa

SOGIN será la encargada de diseñar, construir y operar una instalación centralizada para el almacenamiento de los residuos radiactivos de baja y media actividad, en cuyo emplazamiento se establecerá, también, un almacenamiento temporal de residuos de alta actividad y combustible gastado. La ley ratifica además la responsabilidad de SOGIN para acelerar y completar las actividades de desmantelamiento en curso, fijándose para este propósito un método de financiación que, mediante un sistema de tarifas aprobadas por la Autoridad de la Electricidad y el Gas (AEEG), establece las aportaciones de los productores al nuevo fondo de desmantelamiento. ■

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.



CM CAJAMURCIA

Enresa ha presentado un nuevo Plan de I+D, el sexto de la empresa, que resume las principales actividades de investigación para el quinquenio 2009-2013. El apoyo al Almacén Temporal Centralizado (ATC), la optimización de procesos de desmantelamiento y el desarrollo de mejoras tecnológicas en gestión de residuos de baja y media actividad son los ejes de un plan que supone un cambio de ciclo para la empresa. En los próximos años, de la mano de nuevas generaciones de investigadores, se potenciará el desarrollo de tecnología propia y estas investigaciones se canalizarán de forma novedosa a través de los centros tecnológicos: el Mestral (Tarragona) para asuntos relacionados con el desmantelamiento; el anexo al ATC, para combustible gastado y residuos de alta actividad, y un tercer centro, en el entorno de El Cabril, que asegurará el desarrollo en gestión de residuos radiactivos de baja y media actividad. ■ POR **Julio Astudillo**, ENRESA.

Canalizará inversiones por valor de 26 millones de euros hasta 2013

El sexto Plan de I+D de Enresa apuesta por desarrollos de aplicación directa a la gestión de residuos radiactivos

Las especiales características de la gestión de residuos radiactivos, así como los largos horizontes de tiempo para los que es necesario demostrar la seguridad de las opciones planteadas, hacen que la I+D deba complementar las herramientas, las tecnologías y los conocimientos que la industria suministra para la gestión de estos materiales. Por esta razón, Enresa ha apostado por la investigación desde el inicio de sus actividades, y recientemente ha presentado su Sexto Plan de I+D.

El papel que se atribuye a la I+D en la gestión de residuos radiactivos está relacionado con el suministro de capacidades y conocimientos necesarios para contribuir al desarrollo e implantación de opciones de gestión seguras, viables y aceptables para la sociedad. Este sumi-

nistro es más relevante, si cabe, cuando dichas opciones no están desarrolladas industrialmente de forma completa. La I+D busca, por tanto, asegurar que los progresos en el conocimiento y en la tecnología que se producirán, debido a los largos horizontes operacionales de las instalaciones de gestión, se trasladen a la gestión, optimizándola.

El contenido de los planes de I+D de Enresa se rige por las directrices marcadas para estas actividades en el Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR). Además hay que considerar el estado del conocimiento y la evolución tecnológica a nivel internacional, así como las capacidades e infraestructuras propias disponibles (figura 1).

Con este nuevo plan de I+D, Enresa busca reforzar las capacidades propias

y la creación de infraestructura frente a la adquisición de tecnologías “llave en mano”. Además, se apuesta porque este desarrollo se lleve a cabo por parte de organizaciones españolas (universidades, centros de interés, empresas, fundaciones, etcétera), complementadas por los apoyos externos que sean necesarios. Los programas de investigación son, además, de desarrollo flexible, de modo que permiten su adaptación a las estrategias fijadas en el PGRR.

Las directrices del actual PGRR para la I+D están focalizadas en dar apoyo al Almacén Temporal Centralizado (ATC) y a las instalaciones operativas de Enresa, incluyendo las instalaciones a desmantelar; en desarrollar capacidades en separación y transmutación, así como en proporcionar sopor-

te para los proyectos básicos genéricos de almacenamiento a largo plazo.

Nuevas connotaciones

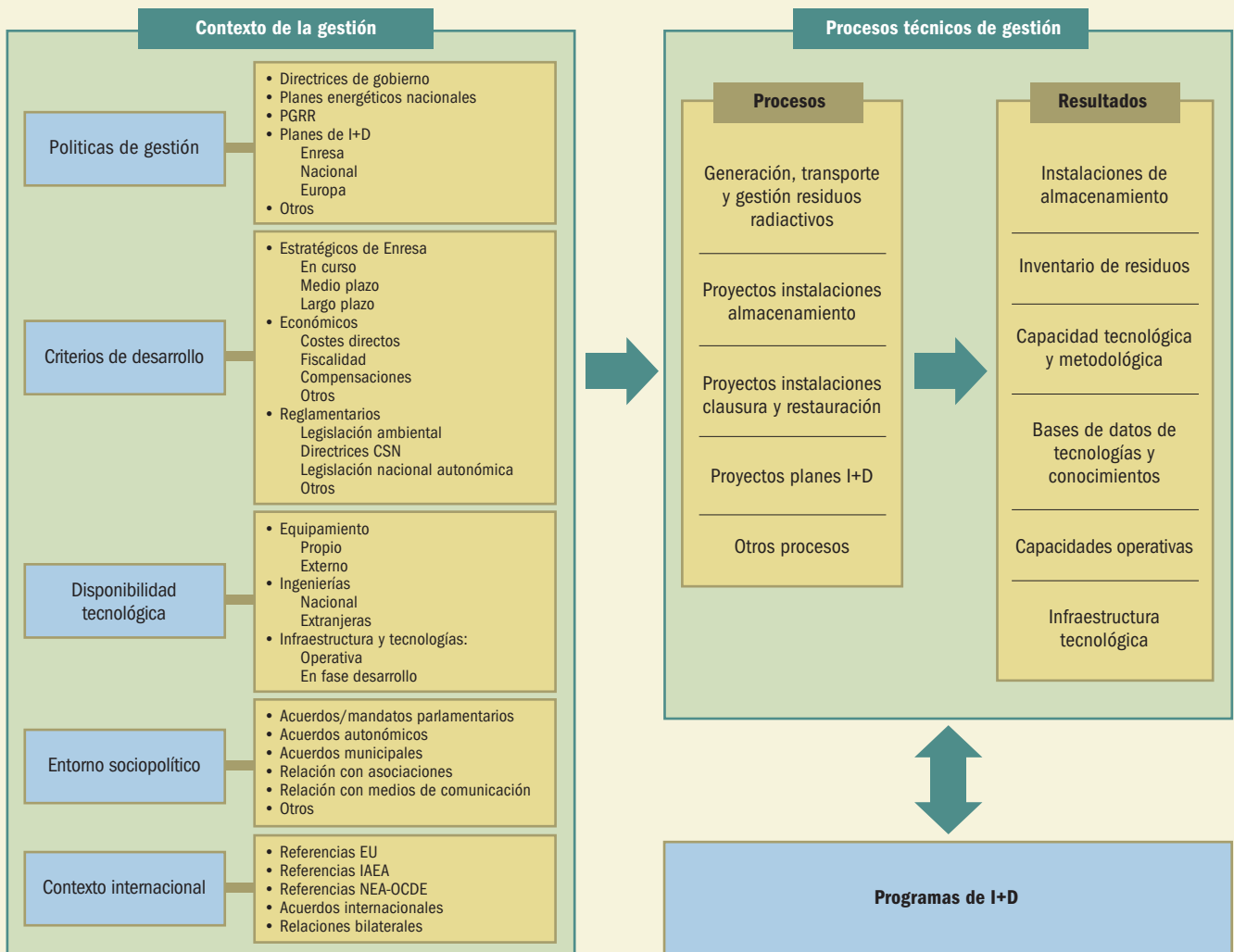
Como consecuencia de los sucesivos planes de I+D desarrollados hasta la fecha, Enresa cuenta con capacidades tecnológicas, operativas y de conocimiento suficientes para dar apoyo a las opciones de gestión que plantee. Por tanto, aunque el nivel tecnológico de partida es alto, existen otras connotaciones que han condicionado la estructura y características del plan para el periodo 2009-2013.

Entre dichas connotaciones hay que resaltar que la gestión de residuos radiactivos de baja y media actividad (RBMA) está totalmente operativa y no necesitará grandes desarrollos de I+D, pero a medio plazo se acometerá la construc-



Una delegación del OIEA visita las instalaciones del centro tecnológico Mestral, en Vandellòs.

Figura 1: Contexto y procesos técnicos considerados en la elaboración del Sexto Plan de I+D de Enresa



ción de nuevas celdas para residuos radiactivos de muy baja actividad.

En cuanto a los residuos de alta actividad, el almacenamiento temporal estará asegurado de acuerdo con la vida útil de diseño de las centrales nucleares (40 o 50 años). No requerirán desarrollos de I+D de gran magnitud, aunque sí proyectos tecnológicos importantes, que la industria puede suministrar.

Respecto al desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera, el proyecto se acometerá con la experiencia del desmantelamiento de la central nuclear Vandellós I y servirá de referente para los próximos desmantelamientos. Las necesidades tecnológicas están más en el ámbito industrial que en el de la I+D.

En la gestión a largo plazo han concluido las actividades previstas en el Plan General de Residuos Radiactivos, focalizadas en evaluaciones de seguridad y tecnología asociada. No existe una estrategia formal de gestión a largo plazo y no son previsibles decisiones relevantes en 15 o 20 años.

Bajo estas premisas hay que indicar que el plan que aquí se presenta supone un cambio de ciclo en la I+D que Enresa viene desarrollando, dado que:

— Existe una reorientación estratégica en el planteamiento de la I+D, pasándose de la “puesta a punto de opciones” a la “optimización de opciones existentes”. El apoyo a instalaciones se configura como la línea conductora del plan.

— Existe una variación sustancial en los horizontes de aplicación de los resultados de la I+D: del largo plazo a la transferencia casi inmediata a la gestión.

A esto hay que añadir que el nuevo plan plantea para su ejecución y desarrollo un mayor protagonismo de los denominados “centros tecnológicos virtuales”. Así, al centro tecnológico Mestral, ya existente, y orientado al desmantelamiento, se unirán un centro tecnológico en el entorno de El Cabril para las actividades de I+D asociadas a la gestión de los residuos de baja, muy baja y media actividad, así como el centro tecnológico asociado al futuro ATC para lo referente a la I+D del combustible irradiado y los residuos de alta actividad.

Este nuevo plan también va a suponer un relevo generacional, dado que responsables de la gestión de proyectos de I+D e investigadores que han participado activamente en estos programas irán trasladando sus responsabilidades a los nuevos equipos.

Objetivos y proyectos

De manera genérica, el nuevo plan de I+D de Enresa tiene como objetivo mejorar todas las técnicas de caracterización de los residuos radiactivos a gestionar y de los distintos tipos de materiales que constituyen la base de los sistemas de aislamiento y confinamiento de dichos residuos

Así, el plan profundizará en el conocimiento de los procesos que controlan la seguridad de las instalaciones de gestión, tanto a nivel de componentes como de los emplazamientos donde se ubican dichas instalaciones, y dará apoyo a la mejora y optimización de los procesos operativos en las instalaciones de Enresa.

El plan pretende también mejorar el análisis de los resultados de I+D obtenidos y su transferencia a las unidades operativas demandantes de la I+D a través de la realización de síntesis de resultados, organización de bases de datos y catálogos tecnológicos y metodológicos, revisión de resultados e integración y, en definitiva, mejora de la accesibilidad.

Para el desarrollo de estas actividades se prevé la utilización de las instalaciones operativas de Enresa para el desarrollo de proyectos de I+D (El Cabril, Vandellós, José Cabrera, etcétera), así como la participación en la plataforma nacional

The Plan will channel investments amounting to 26 million euros from now until 2013

The Enresa 6th R&D Plan backs developments directly applicable to radioactive waste management

Enresa recently presented a new R&D Plan, the company's sixth, which summarises the main research activities for the five-year period 2009-2013. Support for the Centralised Temporary Storage (CTS) facility, the optimisation of dismantling processes and the development of technology enhancements in low and intermediate level radioactive waste management are the pillars of a plan that implies a change of cycle for the company. In the coming years, the development of in-house technology

The special characteristics of radioactive waste management, along with long time periods for which it is necessary to demonstrate the safety of the options open, mean that R&D should be used to complement the tools, technologies and know-how provided by the industry for the management of these materials. For this reason, Enresa has backed research since the very beginning of its activities and has recently presented its Sixth R&D Plan.

The role attributed to R&D in the management of radioactive waste is relat-

ed to the supply of the capacities and know-how required to contribute to the development and implementation of management options that are safe, feasible and acceptable to society. This supply becomes even more relevant when these options have not been completely developed industrially. Consequently, R&D seeks to ensure that, in view of the lengthy operational timeframes of management installations, the progress made in know-how and technology is transferred to management and optimises it.

■ BY Julio Astudillo, ENRESA.

ed to the supply of the capacities and know-how required to contribute to the development and implementation of management options that are safe, feasible and acceptable to society. This supply becomes even more relevant when these options have not been completely developed industrially. Consequently, R&D seeks to ensure that, in view of the lengthy operational timeframes of management installations, the progress made in know-how and technology is transferred to management and optimises it.

Figura 2: Áreas y procesos de gestión analizados para elaborar el Sexto Plan de I+D de Enresa



CEIDEN donde se ubica la I+D del sector nuclear.

Además del uso de instalaciones propias, se fomentará la colaboración internacional a través de la Unión Europea, mediante acuerdos bilaterales y a través de las plataformas tecnológicas SNE (Sustainable Nuclear Energy) e IGD

(Implementing Geological Disposal) para el mantenimiento de las capacidades desarrolladas para la gestión a largo plazo del combustible irradiado y los residuos de alta actividad.

El nuevo plan establece objetivos específicos en todas las áreas de gestión del combustible gastado y los residuos de

alta actividad, para los de muy baja, baja y media actividad, la operación de instalaciones, el desmantelamiento de instalaciones, así como para el retorno de experiencia y para la gestión de activos.

Estos objetivos se traducirán en proyectos concretos, como el estudio del comportamiento del combustible irra-

The content of the Enresa R&D plans is governed by the directives mapped out for these activities in the General Radioactive Waste Plan (GRWP). In addition, it is necessary to consider the situation of understanding in the field and the evolution of technology at international level, as well as the available in-house capacities and infrastructures (figure 1).

With this new R&D plan, Enresa seeks to strengthen its own capacities and the creation of infrastructures as opposed to acquiring "turnkey" technologies. Furthermore, the aim is for these developments to be carried out by Spanish organisations (universities, stakeholder centres, companies, foundations, etc.), complemented by whatever overseas support might be necessary. Also, the research programmes are flexible in their approach, allowing for adaptation to the strategies mapped out in the GRWP.

The directives of the current GRWP for R&D are focussed on providing support for the Centralised Temporary Storage (CTS) facility and Enresa's operating installations, including those that are to be dismantled, on developing separation and transmutation capacities and on providing support for basic generic long-term storage projects.

New connotations

As a result of the successive R&D plans performed to date, Enresa possesses sufficient technological and operative capacities and know-how to support the management options set out. Consequently, the initial level of technology is high; however, there are other connotations that have conditioned the structure and characteristics of the plan for the period 2009-2013.

As regards these connotations, mention should be made of the fact that the management of low and intermediate level waste (LILW) is completely operative and will not require major R&D developments, although in the medium term new cells will be constructed for very low level radioactive wastes.

As regards the management of high activity radioactive wastes, either through a CTS or through Individual Temporary Storage (ITS) facilities, temporary storage will be ensured in keeping with the design lifetime of the nuclear power plants (40 or 50 years). No large-scope R&D developments will be required, but there will be a need for important technology projects that the industry is in a position to perform.

In relation to the dismantling of the José Cabrera nuclear power plant, the project will be carried out on the basis of the experience acquired in dismantling the Vandellós I plant, and will serve as experience for future dismantling projects. The technology needs relate more to the industrial field than to the area of R&D.

In long-term management, the activities foreseen in the General Radioactive Waste Plan, focussing on safety assessment and the associated technology, have now come to an end. There is no formal long-term management strategy and no relevant decisions are expected in this area for the next 12 or 20 years.

In view of these premises, it should be pointed out that the plan presented here marks a change in the R&D cycle developed thus far by Enresa, since:

Áreas y líneas del Sexto Plan de I+D de Enresa

Área 1: Tecnología del residuo

- 1.1. Combustible y residuos de alta actividad.
- 1.2. Residuos de baja y media y de muy baja actividad.
- 1.3. Propiedades básicas de los radionucleidos.

Área 2: Tecnología y procesos de tratamiento, acondicionamiento y desmantelamiento

- 2.1. Separación de actínidos y productos de fisión.
- 2.2. Reducción de la radiotoxicidad mediante la transmutación.
- 2.3. Descontaminación.
- 2.4. Desmantelamiento.
- 2.5. Inmovilización.
- 2.6. Reciclado de materiales.
- 2.7. Separación.
- 2.8. Transmutación.

Área 3: Materiales y sistemas de confinamiento

- 3.1. Caracterización y comportamiento de materiales.
- 3.2. Comportamiento de sistemas de confinamiento.
- 3.3. Tecnologías y sistemas de almacenamiento.
- 3.4. Monitorización de materiales y sistemas de confinamiento.

Área 4: Evaluación del comportamiento, protección radiológica y modelación

- 4.1. Métodos y modelos de evaluación.
- 4.2. Modelación de procesos y sistemas.
- 4.3. Restauración ambiental.
- 4.4. Protección Radiológica.
- 4.5. Clima y suelos.

Área 5: Infraestructura y coordinación

- 5.1. Infraestructura de apoyo (Centros tecnológicos).
- 5.2. Coordinación.
- 5.3. Gestión de activos, retorno experiencia y transferencia de resultados.

diado durante su almacenamiento en seco, el análisis del comportamiento a largo plazo del combustible, la separación de actínidos y radionucleidos de vida larga y el tratamiento de residuos y su implicación en la gestión.

En cuanto a desmantelamiento se prevén proyectos sobre la mejora de las técnicas de caracterización del inventariado de todos los residuos, la reducción de volumen por distintas tecnologías; la desclasificación (métodos de medidas y verificación del inventario), y nuevos materiales para inmovilización y acondicionamiento.

El nuevo plan también prevé proyectos relacionados de forma directa con la gestión de residuos de baja y media actividad, como el estudio de capas de cobertura para El Cabril; el comportamiento de materiales de barreras con base de hormigón, metálica y arcillosa; o la monitorización de emplazamientos y de estructuras y sistemas de confinamiento.

Otros proyectos generales que completan las actividades a desarrollar hasta 2013 son la evaluación de criterios de mejora de la protección radiológica; profundizar en nuevas tecnologías de restauración ambiental y de descontaminación; mejorar las medidas de parámetros ambientales de la biosfera, así como opti-

► — There is a strategic reorientation in the approach to R&D, a change from the “development of options” to the “optimisation of existing options”. Support for the facilities emerges as the core issue driving the plan.

— There is a substantial variation in the timeframe for application of the results of R&D: from the long term to almost immediate transfer to management.

To this should be added the fact that, as regards performance and development, the new plan contemplates a more salient role for the so-called “virtual technology centres”. In this respect, the already existing Mestral technology centre, oriented towards dismantling, will be joined by a technology centre in the vicinity of the El Cabril facility, for R&D activities associated with the management of low, very low and intermediate level wastes, and by the technology centre associated with the future CTS facility, for R&D relating to irradiated fuel and high level wastes.

This new plan will also mean a generational change, since those research workers and R&D project managers who have participated actively in these programmes will be handing over their responsibilities to new teams.

Objectives and projects

Generically speaking, the objective of the new Enresa R&D plan is to improve all the techniques for the characterisation of the radioactive wastes to be managed and of the different types of materials that constitute the basis of the systems for the isolation and confinement of these wastes.

Thus, the plan will seek to gain further insight into the processes controlling the safety of the management facilities, at both the components level and as regards the sites housing these installations, and will provide support for the improvement and optimisation of the operating processes at Enresa's facilities.

The plan also aims to improve the analysis of the research and development results obtained and their transfer to the operating units demanding the R&D, through synthesis of the results, the organisation of technological and methodological databases and catalogues, the revision and integration of the results and, in short, enhanced accessibility.

The use of the Enresa operating installations for the performance of R&D projects is foreseen for these activities (El Cabril, Vandellós, José Cabrera, etc.), along with active participation in the CEIDEN national platform for R&D in the nuclear sector.

In addition to using in-house resources, international collaboration will be promoted through the European Union, bilateral agreements and the technology platforms SNE (Sustainable Nuclear Energy) and IGD (Implementing Geological Disposal) for maintenance of the capabilities developed for the long-term management of irradiated nuclear fuel and high level radioactive waste.

The new plan establishes specific objectives in all areas of management of spent fuel and high level wastes, for low and intermediate level and very



El nuevo plan supone un cambio de ciclo en la I+D que desarrolla Enresa.

mizar las medidas y el modelo hidrogeológico de instalaciones de Enresa.

En este Sexto Plan de I+D se continúa con la participación en el Programa Marco Europeo en concordancia con los objetivos de gestión a largo plazo.

Para desarrollar estos objetivos se han analizado áreas y procesos de gestión (ver figura 2 en la página 13), resultando la estructura de áreas y líneas indicada en la tabla de la página 14 que agrupa actividades de I+D en cinco grandes áreas: tecnología del residuo; tecnología y procesos de tratamiento, acondicionamiento y desmantelamiento; materiales y sistemas de confinamiento; evaluación del

comportamiento, protección radiológica y modelación; e infraestructura y coordinación.

Financiación

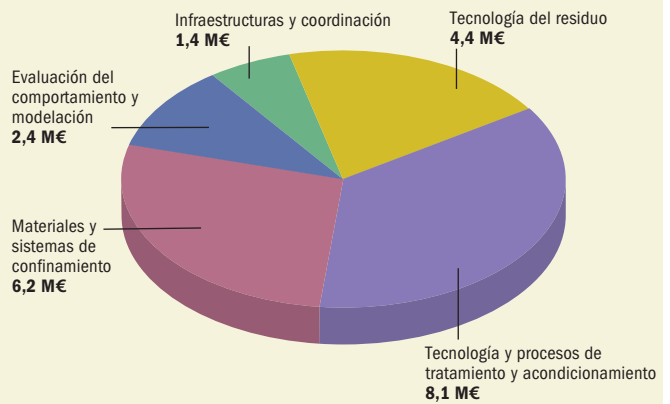
El nuevo plan mantiene las inversiones de Enresa en esta área. Eso significa que los presupuestos están en el entorno de los 6 millones de euros por año, con una distribución aproximada de 1,6 millones de euros para cada una de las áreas de tecnología de residuo, tratamiento y acondicionamiento de materiales y sistemas de confinamiento. El área de evaluación de comportamiento, protección radiológica y modelación tiene un presupuesto

de 750.000 euros anuales y la de coordinación, de 350.000 (la figura 3 indica la distribución por áreas para el total del plan).

La inversión total en I+D prevista para el periodo 2009-2013 asciende a 26 millones de euros, de los que 3,5 millones corresponden a la finalización del Quinto Plan de I+D 2004-2009 y el resto (22,5 millones) al plan que aquí se presenta.

En estas asignaciones presupuestarias no están incluidos los retornos comunitarios que han constituido una fuente de financiación adicional de la I+D de Enresa. ■

Figura 3: Presupuesto por áreas del Sexto Plan de I+D de Enresa* (millones de euros).



* No incluye la asignación para concluir proyectos del Quinto Plan de I+D.

low level wastes, the operation and dismantling of facilities and the feedback of experience and management of assets.

These objectives will translate into specific projects such as study of the behaviour of irradiated fuel during dry storage, analysis of the long-term behaviour of fuel, the separation of long-lived radionuclides and actinides and the treatment of wastes and its implication in management.

As regards dismantling, projects are foreseen on the improvement of techniques for the characterisation of the inventory of all wastes, volume reduction using different technologies, clearance (methods for measurement and verification of the inventory) and new materials for immobilisation and conditioning.

The new plan also contemplates projects relating directly to the management of low and intermediate level wastes, such as the study of covering layers for El Cabril; the performance of concrete, metallic and clay-based materials for barriers or the monitoring of sites and structures and confinement systems.

Other general projects completing the activities to be carried out from now until the year 2013 are the assessment of criteria to improve radiological protection, further insight into new environmental restoration and decontamination technologies, improvement of the measurement of environmental parameters of the biosphere, and optimisation of the measures and hydrogeological model of the Enresa installations.

Within this Sixth R&D Plan, participation continues in the European Framework Programme, in keeping with the long-term management objectives.

For the development of these objectives, different management areas and processes have been analysed (figure 2), resulting in the structure of areas and courses of action indicated in the attached table, which groups R&D activities in five major areas: waste technology; treatment, conditioning and dismantling technology and processes; confinement materials and systems; behavioural assessment, radiological protection and modelling; and infrastructures and coordination.

Financing

The new plan maintains Enresa investments in this area. This means that the budgets amount to around 6 million euros a year, with a tentative distribution of approximately 1.6 million euros for each of the areas of waste technology, treatment and conditioning of materials and confinement systems. The area of behavioural assessment, radiological protection and modelling has a budget of 750,000 euros a year, and coordination a budget of 350,000 (figure 3 shows the distribution by areas for the overall plan).

The total investment in R&D for the period 2009-2013 amounts to 26 million euros, of which 3.5 million correspond to completion of the Fifth R&D Plan for 2004-2009 and the remainder (22.5 million) to the plan presented herein.

These budget items do not include the community returns that have constituted an additional source of financing for Enresa R&D. ■

El físico Cayetano López Martínez (Madrid, 1946) podría ser hoy “uno de los más veteranos” del Ciemat porque tuvo su primer contacto con la institución (entonces Junta de Energía Nuclear) en 1968, recién licenciado; pero le “marcharon” por “cuestiones ideológicas” tras menos de un mes de estancia efectiva. Se reincorporó como responsable de su Departamento de Energía y director adjunto hace cinco años, después de haber sido rector de la Universidad Autónoma de Madrid y vicepresidente del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN). Ahora es, tras la muerte de Juan Antonio Rubio el pasado mes de enero, su director general, un cargo que desempeña “muy ilusionado”, porque todo lo que hace este organismo, asegura, es “interesante y útil para la sociedad”. ■ POR **Concha Barrigós**, PERIODISTA.

*Cayetano López Martínez,
director general del Centro
de Investigaciones
Energéticas, Tecnológicas y
Medioambientales (Ciemat)*

“Estamos en una situación en la que todas las fuentes energéticas tendrán que contribuir”

— *Catedrático de Física Teórica, autor de numerosos artículos en revistas científicas sobre física de altas energías, partículas elementales, supersimetría y uso de aceleradores de partículas para transmutación nuclear... ¿Qué querría hacer en el Ciemat alguien con su formación y carrera profesional?*

— Si tuviera más recursos, sin duda crearía algunos grupos nuevos. Por ejemplo, exploraría en algunas renovables en las que todavía no tenemos nada, como las marinas. Crearía el grupo que queremos tener sobre el coche eléctrico, tanto en las redes inteligentes como en baterías y, quizá, trabajaría con más intensidad en todos los asuntos que tienen que ver con almacenamiento de electricidad y de energía térmica. Profundizaría en algunos de estos temas en los que no tenemos todavía una masa crítica importante. El Ciemat debe ser un centro esencial en todo

lo que se refiere a la energía y ninguna sobraré en el futuro.

— *¿Cuál es la energía del futuro?*

— Yo no creo que haya ninguna que sea el futuro absoluto. Es más, pienso que estamos en una situación en la que todas las fuentes de energía conocidas van a tener que contribuir. La situación, en pocas palabras, es la siguiente: la demanda de energía va a seguir aumentando globalmente en el mundo, sólo podría disminuir algo en los países ricos, donde ya hay un consumo muy grande; actualmente ese suministro está cubierto por energía primaria en un 88% a partir de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), una fuente con muchos problemas que hace que ese suministro no sea sostenible por su escasez intrínseca, la dependencia de los países productores y sus efectos medioambientales. No podemos pensar en el futuro apoyando-

nos sólo en los combustibles fósiles. Si tuviera que repetir cada mañana un mantra sería: “Disminuir el consumo de combustibles fósiles”. Y eso implica aumentar el consumo de otras fuentes energía; y ¿qué otras hay aparte de las fósiles? Pues las renovables y la nuclear; no conocemos más. Tenemos que trabajar en todas ellas. Entre las renovables, unas poseen más potencial que otras, pero todas tienen su nicho. Esto hace que piense que en el futuro no nos sobraré ninguna fuente de energía. Otra cosa son los problemas de costes.

— *¿Y no sería más sensato que no hubiera tanta energía disponible para gastar?*

— Eso se llama ahorro energético y es la fuente más limpia, barata y abundante, sin duda, pero creo que sólo es posible en los países ricos. Creo que la demanda o el consumo disminuirán en los países ricos donde el consumo de energía per cápita es



El Ciemat, la cabeza de la energía española

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) tiene sus orígenes en la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN), creada en Madrid en 1951 con el fin de desarrollar la energía nuclear para usos pacíficos y aplicaciones médicas.

El Ciemat —en el que trabajan 1.438 personas, de las que 593 son científicos, con una edad media de 44 años— tiene como núcleo de su actividad la investigación en energía y en sus tecnologías. Es, subraya Cayetano López, “el departamento central”, la punta de lanza, de la energía en España. Posee un departamento de medio ambiente, relacionado con energía o con los efectos de su producción; otro de tecnología aplicada; otro de investigación básica —en partículas elementales, en relación con el CERN— y uno de biología molecular y celular, inscritos ambos en el Ciemat “por razones históricas”. A ellos se suma el Laboratorio Nacional de Fusión, cuyo obje-

to es una tecnología que tendrá aplicaciones energéticas, “pero dentro de bastante tiempo”, subraya su director.

En este centro se trabaja en desarrollos de casi todas las tecnologías energéticas, esencialmente en las renovables, excepto en las marinas; en fisión nuclear, y en procesos que tienen que ver con combustibles fósiles, pero relacionados con valorización de combustibles y residuos, y también de gasificación y captura y secuestro de CO₂.

Su sede de Madrid, en la Ciudad Universitaria, es la central, pero poseen otra en Almería, donde se encuentra la Plataforma Solar, dedicada a la energía solar de concentración; otra en Soria, centrada en biomasa, combustión e instalaciones de pequeños aerogeneradores; una más en Extremadura, que se ocupa de las tecnologías de la información y las comunicaciones, y un pequeño grupo en Barcelona que trabaja en estudios sociológicos y técnicos. ■

enorme. En Estados Unidos, el consumo per cápita es el doble que en Europa occidental y, sin embargo, el nivel de vida no es el doble. La mayoría de la población, empezando por China, India, África o América del Sur, tiene escasez de energía, y para mejorar su bienestar tendrá que aumentar su consumo. Globalmente seguirá aumentando, aunque habrá países que tengan que apostar por el ahorro.

— *¿Ahorro para tener energía durante más tiempo o para que se consuma en otra parte del mundo?*

— No, para gastar menos per cápita, que es el factor importante. La energía eléctrica no se puede almacenar. Todo lo que se transforma en electricidad, que será el vector energético más sencillo y universal, debe consumirse, excepto las cantidades —en general pequeñas— que podamos almacenar en embalses de bombeo. Si hay menos consumo de petróleo en los países ricos habrá para más tiempo, es posible que baje el precio, e incluso que los países pobres accedan a él.

— *¿Es lógico, en esta situación que dibuja, que haya fuentes como la nuclear con una carga ideológica asociada?*

— La nuclear es una parte esencial del presente y del futuro de nuestro suministro energético. Actualmente, en

Europa, el 30% de la electricidad es de origen nuclear. En España, entre el 18% y el 20%, dependiendo de los años. No veo un futuro en el que se disminuya el consumo de combustibles fósiles y, al mismo tiempo, el de energía nuclear. En el futuro, la energía nuclear será esencial, pero es cierto que todo lo que tiene que ver con ella posee un componente muy pasional, muy emotivo, completamente distinto de lo que ocurre con otras fuentes. La pervivencia y extensión de la nuclear tiene más dificultades que cualquier otra energía. Vivimos en sociedades que no aceptan el menor riesgo. Lo de la nuclear es exagerado y tiene que ver con una sociedad temerosa, que se ha acostumbrado a que no haya ningún riesgo y a que se lo certifiquen por escrito. Eso se aplica a muchas otras cosas relacionadas con la energía: centrales de ciclo combinado, embalses, líneas de alta tensión, centros de transformación, etcétera; pero en el caso de la nuclear ese sentimiento de temor está llevado al límite.

— *¿Ve posible modificar ese sentimiento?*

— No se me ocurre ninguna forma, como no sea traumática, que sea rápida. Si el precio de la electricidad empieza a

umentar y la nuclear logra proporcionarla a precios competitivos, se compararán los pros y los contras. Pero el hecho es que ahora hay otras fuentes alternativas que no parecen tener los mismos problemas y al consumidor le da la impresión de que cuestan lo mismo que la nuclear, aunque en algunos casos no es así. Si alguna vez la gente empieza a interiorizar la importancia de la energía, a lo mejor desaparecen esos sentimientos, muchas veces viscerales, contra lo nuclear.

— *¿Tardará ese cambio de mentalidad tanto tiempo como la energía de fusión?*

— Espero que tarde menos. Creo que antes de la fusión llegarán los reactores de cuarta generación. Desde luego, pienso que será imposible que haya en el mundo un despliegue de reactores de cuarta generación, que creo que tienen muchas ventajas y son el futuro de la energía nuclear, si no se produce antes o simultáneamente ese cambio de mentalidad.

— *Una de las áreas en la que más está trabajando el Ciemat es la termosolar, un tipo de energía que se estima que en tres años pasará de los 400 MW que había en 2008 hasta los 7.000 MW. ¿De qué pueden presumir?*

— La termosolar es una energía renovable en la que, durante años, muy



poca gente ha creído. Ha estado bloqueada, sin avances, mientras que la eólica y la fotovoltaica crecían. Afortunadamente en España tenemos la Plataforma Solar de Almería, donde se ha seguido trabajando de forma muy perseverante a pesar de que muchos pensaban que no tenía futuro. De repente sí lo tiene, resulta que es competitiva, puede producir electricidad abundante, puede almacenarse en forma de energía térmica y tiene por delante un campo de mejora —esencialmente disminución de costes— muy considerable. En la Plataforma trabajamos en todas las tecnologías termosolares que existen —colectores cilindro-parabólicos, de torre, linear Fresnel o discos—, y en todas hay un campo de mejora importante. Todavía es cara, como todas las renovables. Desde luego es más cara que la eólica, pero creo que irá bajando de precio con el tiempo. Lo importante es que haya un mercado global, que empiece a haberlo. ¿De qué podría presumir la Plataforma? Pues de que ha sido el elemento esencial, el básico, para que España esté considerada hoy en todo el mundo como el país líder en energía termoeléctrica. ¿Por qué? Porque allí se han desarrollado esas ener-

gías que se habían abandonado en todo el mundo, porque allí han ido la mayoría de las empresas españolas que están en estos desarrollos a hacer sus ensayos, a aprender, y ahora son las que están ocupando un papel relevante en el despliegue de la termosolar en el mundo.

— *El Ciemat ha dedicado y dedica muchos esfuerzos y recursos a un proyecto que no es de investigación: el Plan Integral de Mejora de Instalaciones (PIMIC) para desmantelar y rehabilitar los terrenos e instalaciones en los que hubo fuentes nucleares y radiactivas entre los años sesenta y setenta. ¿Cómo evoluciona?*

— El PIMIC, puesto en marcha en 2000, tiene varias fases y la más importante, la del desmantelamiento de las instalaciones, de cuando el Ciemat, allá por los años sesenta y setenta, era un centro de investigación nuclear, concluirá, probablemente, a finales de este año. Se trata de acabar con los restos de las actividades desarrolladas en aquellos años —llegó a contar con sesenta instalaciones nucleares y radiactivas— y limpiar los residuos que quedan en suelos y conducciones. Luego queda una fase de rehabilitación en los terrenos y edificios donde se han desmantelado los componentes nucleares, y prepararlos para otro tipo de

actividades, algo que se prolongará aún durante un tiempo. Hay mucho trabajo y dinero invertido en ello. Nos ayuda Enresa, que pone mucho de su parte, y se hace todo bajo la supervisión del Consejo de Seguridad Nuclear.

— *El Ciemat es el accionista mayoritario —un 80%— de Enresa. ¿Está satisfecho con su trabajo?*

— Enresa lo está haciendo muy bien en lo del PIMIC. Y en lo demás, también. El Cabril me parece una instalación ejemplar y están llevando bien y con inteligencia el proyecto del Almacén Temporal Centralizado (ATC). Al final tendremos un almacén para los residuos radiactivos de alta actividad —procedentes de las nucleares—, como ya era necesario que tuviéramos.

— *¿Tiene claro que el ATC saldrá adelante?*

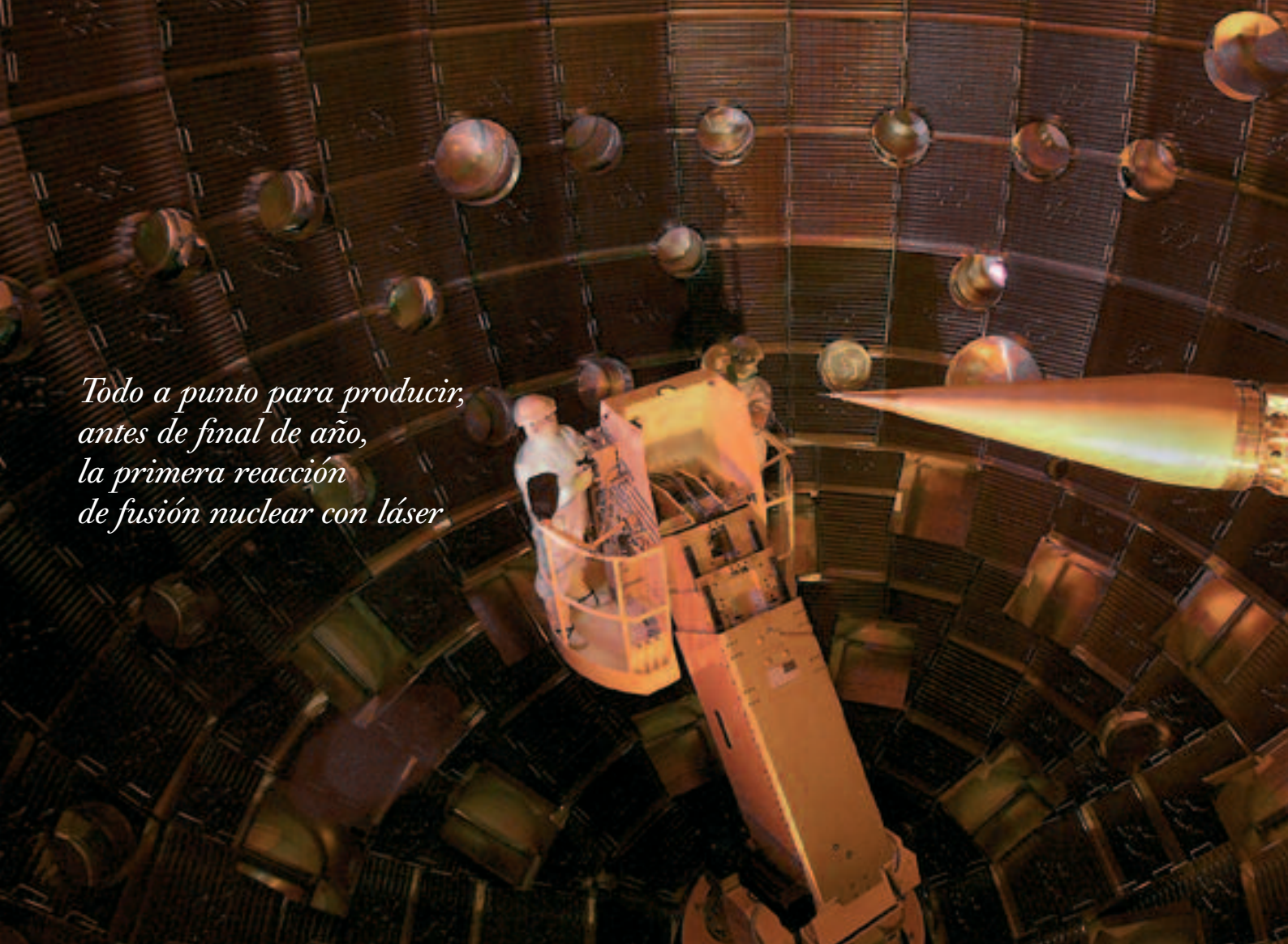
— Sí, creo que lo tendremos; lo que no sé es dónde. Mi idea es que se están cumpliendo todos los plazos previstos y que hay una voluntad clara de tomar la decisión cuanto antes, aunque no será fácil porque intervienen muchos factores en esa decisión.

— *¿Encuentra mucha diferencia de actitud hacia la ciencia desde cuando usted era rector de la Universidad Autónoma de Madrid a ahora?*

— La diferencia quizá es que en mi época había libros y ningún videojuego y la gente quizá leía más, no sólo de ciencia. Ahora cuesta un poco más de trabajo porque hay cosas más sencillas que leerse un libro técnico, pero siempre hay un puñado de gente que es vocacionalmente científica y quiere aprender.

— *Se hizo cargo del Ciemat tras la muerte, el pasado enero, de Juan Antonio Rubio. ¿Cómo era su relación?*

— Éramos amigos desde 1967 y confiábamos plenamente el uno en el otro. Nunca sería director general si no me sintiera comprometido con su legado, con su proyecto. Estoy aquí porque él no ha podido finalizar su tarea de forma natural, ha muerto antes de tiempo y me he sentido con un compromiso hacia el Ciemat y hacia su legado. Creo que, de no ser por esto, nunca habría sido director general. ■



*Todo a punto para producir,
antes de final de año,
la primera reacción
de fusión nuclear con láser*

La fuerza de la luz

La fusión nuclear es el mito energético por excelencia. Un sistema que permitirá obtener grandes cantidades de energía a partir de un combustible barato y abundante, imitando el proceso por el que las estrellas generan su energía. El problema es que controlar la reacción es tan complejo que nadie apuesta por que se convierta en realidad antes de 30 o 40 años. El camino para conseguirlo se centra actualmente en el reactor internacional ITER, que se está construyendo en Francia y emplea un sistema de confinamiento por campos magnéticos, pero existen alternativas. Hace ya tiempo que se investiga en el uso de potentes haces de luz láser que se concentren en un punto y descarguen su energía en él para provocar la unión de los núcleos de deuterio y tritio. En Estados Unidos se puso en marcha el año pasado NIF, una instalación que pretende alcanzar su objetivo antes de terminar este año. Mientras, Europa prepara el siguiente paso: HiPER. ■ POR Ignacio F. Bayo, DIVULGA.

La cámara de ignición de la instalación NIF está cubierta de un aluminio especial que recibe el impacto de la explosión generada por la reacción de fusión.



El disparo láser inicial se produce en el oscilador madre. Desde ese momento, la energía se irá amplificando.

munidad científica que espera que algún día la fusión nuclear resuelva las necesidades energéticas de la humanidad.

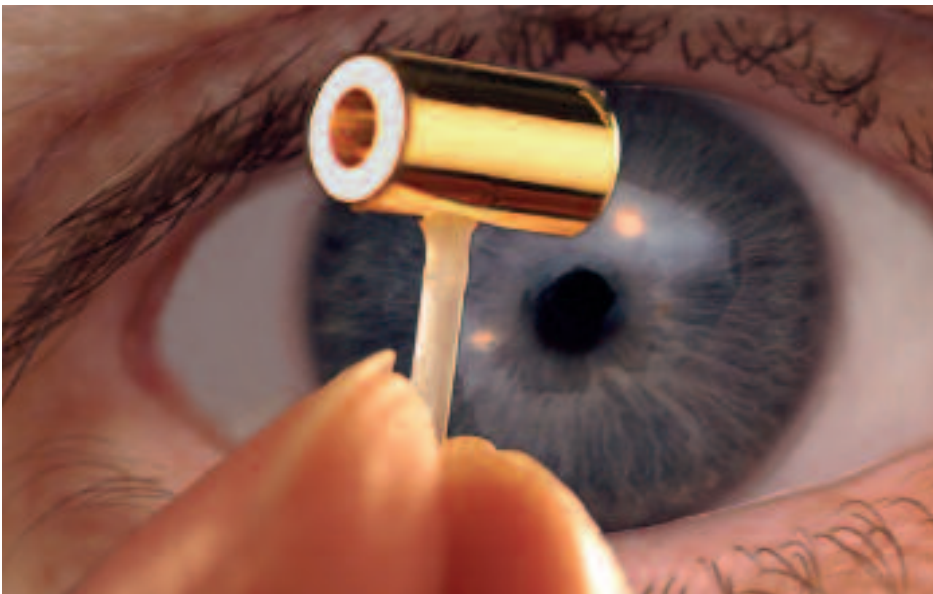
El escenario es la National Ignition Facility (NIF, en California), que dispone del mayor y más potente equipo de láser del mundo ubicado en un edificio rectangular de unos 200 metros de longitud, que ocupa la superficie de tres campos de fútbol americano y tiene la altura de un edificio de diez plantas. En su interior, prácticamente diáfano, se encuentra, en el centro, la cámara de ignición, una esfera de 10 metros de diámetro, hecha de hormigón y recubierta internamente de un aluminio especial. Esta pared es la que recibe el impacto de la explosión y la radiación generada por la reacción de fusión y tiene 192 pequeños orificios por los que penetran los correspondientes rayos láser que provocan la reacción. Además, alberga los sistemas de medición necesarios para estudiar las reacciones nucleares a partir de sus efectos.

A ambos lados de la cámara se encuentran dos naves, idénticas entre sí, donde se generan, se multiplican y se amplifican los haces de láser. En cada una hay un oscilador madre; una barra de neodimio de color violeta, rodeada de una carcasa con lámparas de destello, que generan fogonazos de rayos X que excitan los átomos de neodimio para producir el rayo láser primigenio, que apenas posee una energía del orden de la millonésima de julio. De ahí hasta los 1,8 megajulios, que recibe la cápsula donde

se aloja el combustible, hay cerca de quince órdenes de magnitud; es decir, que esa energía debe amplificarse mil billones de veces, además de dividirse en 96 haces (cada uno de los dos sistemas). Para ello los rayos realizan un complejo recorrido de ida y vuelta, atravesando sistemas ópticos de lentes y de espejos que les obligan a dividirse y los dirigen hacia otras barras de neodimio donde un proceso semejante al original les permite amplificar su energía. En total, NIF dispone de 7.000 equipos ópticos grandes y 30.000 pequeños. Algunos de estos cristales miden casi un metro y deben construirse capa a capa para evitar impurezas que distorsionarían la luz. Todo el proceso debe hacerse sin que los rayos pierdan la coherencia espacial y temporal. Finalmente, tras recorrer unos 1.500 metros de longitud, los 192 haces láser confluyen en la cámara de ignición; cada uno de ellos atraviesa la pared por su correspondiente agujero e impacta en el blanco descargando sus 10 kilojulios de energía.

El combustible está formado por deuterio y tritio, dos isótopos del hidrógeno. El primero es muy abundante en el agua marina, mientras que el segundo puede producirse fácilmente a partir del litio. Un miligramo de ese combustible se coloca dentro de una esfera de 1 milímetro de radio. “Se trata de una cápsula hueca de plástico, cuyo espesor es de unas 200 micras, donde se inyecta el deuterio y el tritio en forma de gas. Luego,

Edward Moses lleva más de un decenio esperando el momento de apretar simbólicamente el botón y desencadenar una coreografía luminosa aunque invisible, porque dura apenas una milésima de segundo. En ese parpadeo dos haces de luz láser recorrerán un laberinto de kilómetro y medio de longitud y se dividirán en 192 rayos independientes que confluirán al mismo tiempo en un minúsculo punto. El centro se calentará hasta 100 millones de grados centígrados y sufrirá una presión brutal, convirtiéndose durante unos microsegundos en una estrella. Moses, que hizo su tesis doctoral sobre la física del láser hace 33 años y que desde 1999 dirige el teatro en el que se representará este peculiar ballet, verá cumplido su sueño, compartido por una co-



Este pequeño cilindro contiene la cápsula de combustible formado por deuterio y tritio.

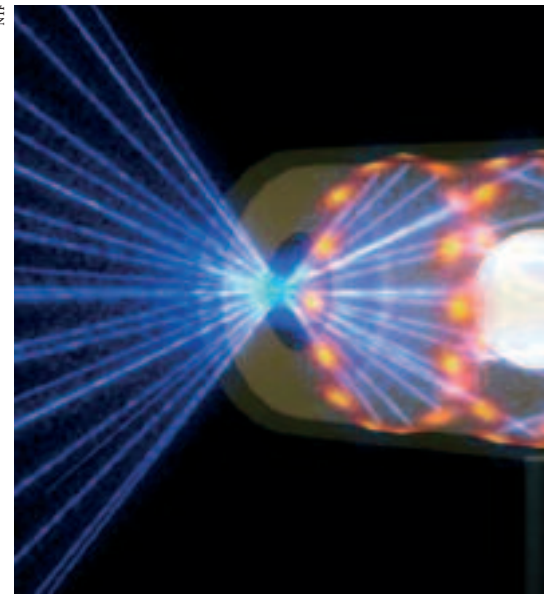
se enfría mediante helio líquido hasta una temperatura de 4 °K para que el combustible se solidifique y se pegue a la cara interna del plástico —dice Manuel Perlado, director del Instituto de Fusión Nuclear español e investigador invitado de NIF—. Hasta el momento de la reacción, la cápsula deberá mantenerse siempre a esa temperatura porque en ese estado la eficiencia energética es mayor”. Su traslado y colocación se realizará mediante un brazo robotizado que mantiene dicha temperatura bajo control, porque su interior está recorrido por circuitos de helio líquido. Según Perlado, “la razón es puramente mecánica, ya que si tienes un sólido densificado, al producirse la implosión vuela unas micras a una enorme velocidad y choca en el centro, con lo que aumenta la conversión de energía cinética en térmica y multiplica la eficiencia por 10, 20, 30, quizá 50 veces”.

Precisión a elevadas temperaturas

Para conseguir una iluminación perfectamente homogénea del blanco, esencial para lograr una implosión uniforme, los rayos láser no impactan directamente con la cápsula del combustible, sino sobre las paredes internas de un cilindro metálico donde va alojada aquella y que al recibir la radiación emite un intenso foganazo de rayos X que son los que impactan en la cápsula, la calientan y provocan su explosión. Por efecto del principio de reacción, el

deuterio y el tritio, cuya temperatura alcanza los 100 millones de grados centígrados, se ven impulsados por una presión de unos 100.000 millones de atmósferas hacia el centro de la cápsula. “Entre el 30% y el 40% del combustible se fusiona y se convierte en helio, el resto se dispersa junto con todos los productos generados por la reacción: fotones muy energéticos (rayos X), neutrones, iones..., incluida la cápsula de plástico y el cilindro metálico, que se volatilizan. En total, si se consigue una ganancia 30, la máxima que se espera inicialmente, la energía desprendida será de unos 54 megajulios, que se distribuirán por el espacio de la cámara e impactarán sobre la pared de aluminio”, explica Perlado. Desde el disparo inicial del oscilador madre apenas ha transcurrido un microsegundo; el pulso que se produce en el cilindro y que ilumina la cápsula ha durado entre 10 y 15 nanosegundos; el proceso de compresión del deuterio y el tritio apenas supone 0,2 nanosegundos más, y el impacto de la radiación y los subproductos contra la pared se produce en cuestión de unos pocos microsegundos. Todo ha terminado.

O todo empieza; al menos mientras la fusión sea objeto de investigación y no de producción eléctrica comercial, una meta para la que, en el mejor de los casos, aún quedan muchos decenios de camino. Por ello, en lugar de un sistema de recuperación de energía, que debería

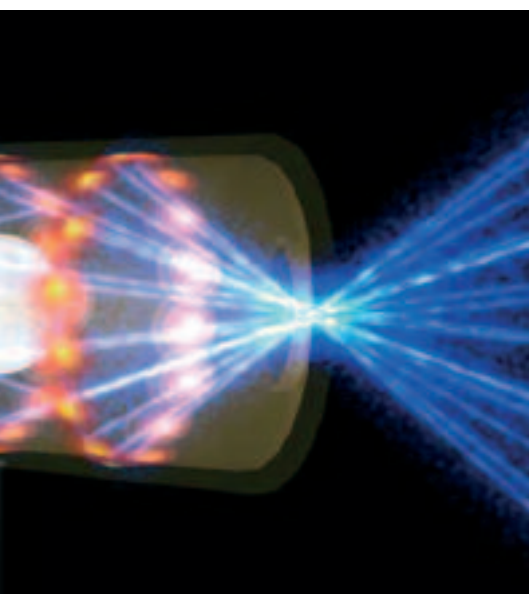


Simulador de la reacción en el interior del cilindro.

situarse en la pared de la cámara y que convertiría la radiación en electricidad, la pared de la cámara de NIF dispone de huecos donde se encuentran los sistemas de diagnóstico, capaces de obtener mucha información y desde todos los ángulos (porque uno de los datos más importantes es la simetría de la reacción), para determinar con detalle todo el proceso y sus efectos. La complejidad del fenómeno físico que se produce y el desarrollo tecnológico necesario para controlar la fusión nuclear de forma que sea viable comercialmente exigen ir avanzando lentamente.

Los experimentos, aún sin combustible y a menor temperatura de la prevista, se iniciaron en la primavera de 2009 y ya han producido sus primeros resultados. A principios de 2010 se publicaron los datos sobre los hitos alcanzados durante los primeros meses de operación, en los cuales se produjeron dos o tres disparos diarios, en los cuales se llegaron a producir pulsos de 0,7 megajulios (el 40% de la energía prevista para conseguir la ignición) y temperaturas de 3,3 millones de grados centígrados. Con ello se han batido las marcas anteriores de potencia de láser y de precisión en el blanco. Ahora se está preparando la subida de potencia necesaria para alcanzar, antes de final de año, la primera ignición.

Según Moses, “para cada disparo se realiza una cuenta atrás de unas tres



El experimento exige una perfecta sincronización. En la imagen, haces láser confluyendo en un punto.

horas de duración, el tiempo necesario para acondicionar la cámara y los dispositivos. Cuando faltan 100 segundos, un sistema automático toma el mando de la operación, comprueba de nuevo los sistemas que dirigen el alineamiento de los haces de láser y empieza a cargar la energía eléctrica necesaria para provocar los fogonazos de las lámparas de destello que generan los rayos”.

El experimento exige una perfecta sincronización, ya que los pulsos de luz deben llegar todos a la vez. Entre el primero y el último de los 192 rayos no pueden transcurrir más de 30 picosegundos (billonésimas de segundo), y el impacto de cada uno debe producir en el punto exacto preasignado, con un error máximo de 50 micras. Además de la precisión de todo el engranaje, el conjunto debe estar libre de vibraciones e inestabilidades térmicas, lo cual es complejo considerando que California es uno de los territorios con mayor actividad sísmica. Para mantener el control riguroso de toda la coreografía se cuenta con más de 60.000 puntos de información que vigilan los sistemas electrónicos, los generadores de alta tensión, los dispositivos ópticos y mecánicos, las cámaras, los sensores, los amplificadores de láser y los instrumentos de diagnóstico. Y para digerir toda esa información y dar el visto bueno o corregir las desviaciones se dispo-

ne de un sistema informático de la máxima potencia y sofisticación.

Otras aplicaciones

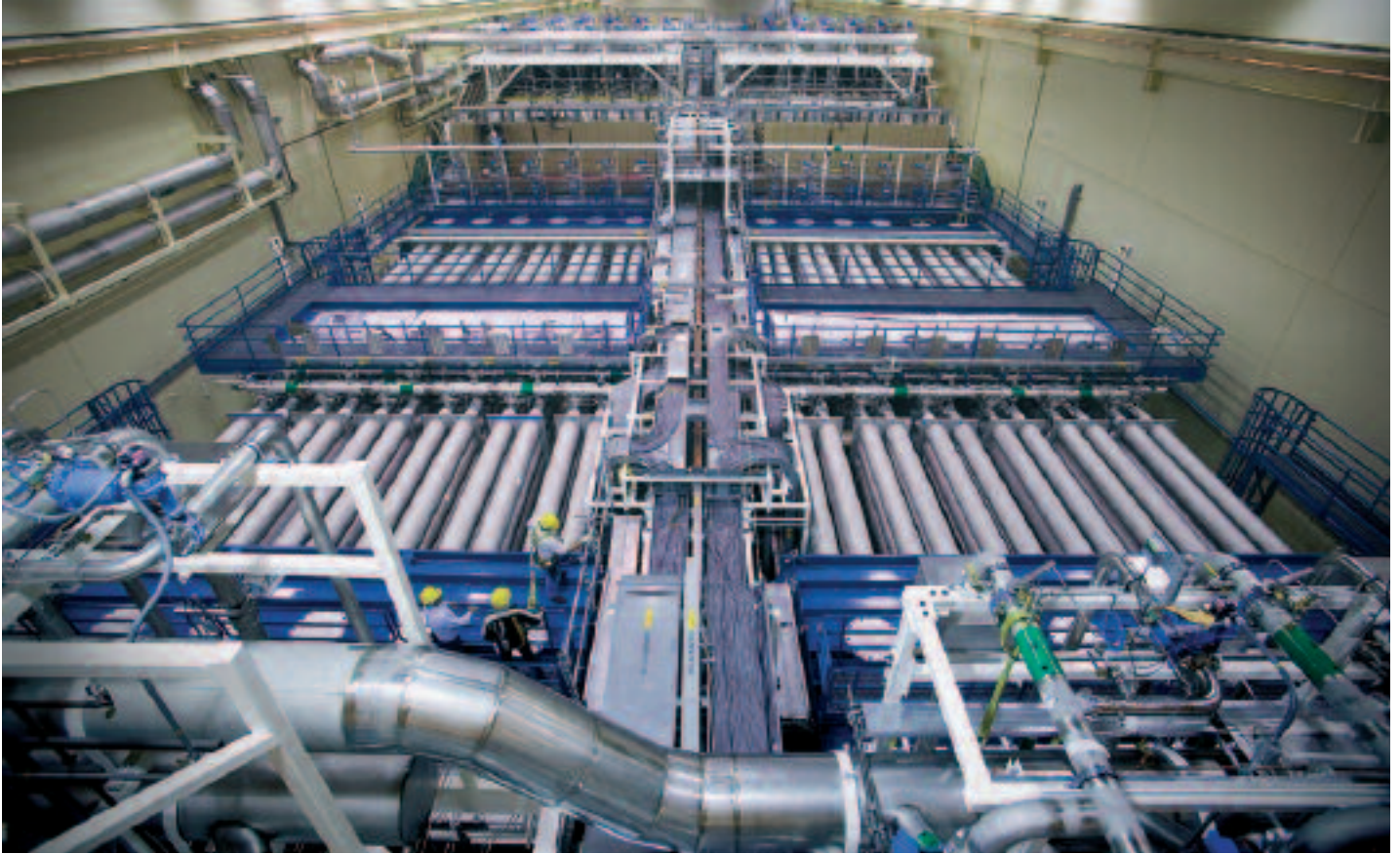
Aunque el desarrollo de una nueva fuente de energía es uno de los objetivos primordiales de NIF, no es el único ni el más importante. Probablemente el laboratorio no existiría si no fuera por sus aplicaciones militares. Su historia empezó a mediados de los años noventa, cuando la presión de la opinión pública lle-

vó a la suspensión de los ensayos nucleares. Ayudó a la decisión la posibilidad de obtener los mismos resultados de los ensayos en laboratorios especiales. En EE.UU. se creó el Stockpile Stewardship Program (SSP), compuesto por diferentes elementos y laboratorios. NIF nació como un elemento clave de este programa, ya que permite reproducir las reacciones de fusión nuclear de una bomba de hidrógeno en pequeñas cantidades, pero susceptibles de extrapolación

Fusión más fisión

Una posible aplicación de las reacciones de fusión nuclear que está previsto que se produzcan en la National Ignition Facility (NIF), quizá viable a medio plazo para generar grandes cantidades de energía consiste en emplear la energía liberada en la reacción para quemar residuos procedentes de las centrales nucleares de fisión actualmente en funcionamiento. “La idea es poner una capa de combustible fisionable que rescate los neutrones que escapan de la fusión y produzcan reacciones de fisión. Así no se obtendría ya una ganancia 30 sino una ganancia 150 o 300. Eso evidentemente en un ciclo de fisión que sea cerrado”, explica Manuel Perlado, director del Instituto de Fusión Nuclear Español.

Bajo el nombre de Laser Inertial Fusion Engine (LIFE), la propuesta está ya en desarrollo dentro del Lawrence Livermore National Laboratory (en el que se encuadra NIF), y se podría implementar en el futuro dentro de NIF. Es uno de los diferentes proyectos de separación y transmutación del combustible irradiado puestos en marcha en todo el mundo para reducir la cantidad de residuos de alta actividad y aprovechar la energía que aún contienen. “Se trata de un sistema subcrítico, *on-off*, que se para en cuanto deja de haber neutrones y permite quemar todo tipo de uranio, torio, plutonio... pero aún plantea muchos problemas tecnológicos por resolver”, dice Perlado. ■



Vista de las líneas de láser de la instalación. Cada una de ellas tiene dos grupos de 48 haces.

para simular en un supercomputador la reacción completa.

Pero una máquina capaz de alcanzar temperaturas y presiones tan elevadas ofrece muchas otras posibilidades de aplicación. Por ejemplo, en astrofísica, porque se pueden diseñar experimentos que simulen el comportamiento de los astros más extraños: estrellas de neutrones, agujeros negros, enanas marrones y planetas gigantes —como Júpiter, donde la presión es tan alta que su centro puede estar formado por hidrógeno sólido metálico—. Las posibilidades van mucho más allá e incluyen ciencia de materiales, generación de macrocampos magnéticos y física de plasma, ecuaciones de estado y producción de haces de partículas cargadas. De hecho, está previsto que una parte del tiempo de experimentación se dedique a otros ensayos, abiertos a la comunidad científica mundial, mediante propuestas de uso de tiempo disponible, que serán analizadas por un comité científico internacional.

Pese a la magnitud de la instalación y de sus prestaciones, NIF ha nacido ya obsoleto. Es un paso necesario pero insuficiente para que la fusión por confinamiento inercial pueda llegar a competir en igualdad de condiciones con la de

confinamiento magnético, que es la que utilizará el reactor internacional ITER que se construye en Cadarache (Francia). Al fin y al cabo, lo que NIF anuncia para este año lo consiguió ya hace casi dos decenios el antecesor del ITER, el reactor europeo JET, aunque con la diferencia esencial de que éste no consiguió ganancia energética.

En la fusión por láser el siguiente escalón está ya dando sus primeros pasos. Se llama HiPER (High Power Laser Energy Research) y es un proyecto conjunto de varios países europeos (Reino Unido, Francia, Italia, República Checa y España). De momento y hasta 2013, el proyecto se encuentra en una fase de estudios previos y de definición, que se llevan a cabo con la mirada concentrada en los resultados de NIF, porque en función de lo que ocurra allí se deberán elegir unas opciones u otras. Lo que sí está claro es que HiPER deberá superar los dos principales inconvenientes de NIF: la escasa eficiencia de su generador láser y que no tenga capacidad de repetición.

“El láser de NIF tiene muy poca eficiencia, menos del 0,3%, porque es de neodimio iluminado con lámparas de destello, una tecnología hoy ya superada, pero es que se diseñó a finales de los

años noventa y entonces éste era el sistema más fácil y experimentado. Hoy se están utilizando diodos para bombear láseres de estado sólido. Es un sistema mucho más caro, porque se necesitan muchísimos diodos para conseguir una potencia suficiente para excitar los átomos, pero permite controlar perfectamente la frecuencia, mucha mayor eficiencia y capacidad de repetición. Hemos demostrado que se puede conseguir una velocidad de cinco pulsos por segundo”, explica Perlado, que es el principal responsable de la participación española en el proyecto HiPER.

Si NIF cumple su cometido, consiguiendo la ignición este año y aumentando al doble la potencia en los próximos años, HiPER se planteará en 2013 la construcción de la instalación que deberá dar el siguiente paso. Se decidirá el diseño, se seleccionará la ubicación (una competición en la que España podría participar con ciertas posibilidades) y se iniciará el proceso de construcción para que hacia 2020 pueda estar en funcionamiento, listo para demostrar las posibilidades de la fusión por confinamiento inercial mediante láser. El Edward Moses que encienda entonces esa nueva estrella podría tener nombre español. ■

Hace 150 años que Darwin publicó *El origen de las especies*. Fue un libro que conmocionó al mundo, del mismo modo que la comunicación académica realizada un año antes por Wallace y el propio Darwin había sembrado la confusión en la muy ilustre Real Academia Británica. Pero eran tantas y tan claras las pruebas que ambos sabios aportaban que casi no cabía duda: los humanos no hemos sido creados tal cual, sino que procedemos de una lenta evolución a partir de ascendientes diferentes a nosotros y que, dicho sea de paso, quizá compartimos con los actuales monos. ■ **POR Manuel Toharia.**

Los nuevos descubrimientos hubieran ayudado al padre de la evolución

LO QUE DARWIN NUNCA SUPO... NI PUDO SABER

NO CABE DUDA DE QUE LAS AFIRMACIONES de la teoría de la evolución, a mediados del siglo XIX, eran una auténtica bomba de relojería en el hasta entonces bien engrasado mecanismo de la creación divina. ¿Cómo que el hombre no fue creado tal cual a imagen y semejanza de Dios? ¿Producto de una lenta evolución adaptativa a lo largo de muchos millones de años? ¿Tamaño herejía parecía inconcebible!

Lo curioso del caso es que hoy nos damos cuenta de la enorme capacidad observadora y deductiva de los dos sabios —Darwin y Wallace— que, cada uno por separado y habiendo viajado por regiones bien diferentes del mundo, pudieron llegar a la misma conclusión. Con todo, hoy sabemos que había muchísimas cosas en torno a la famosa teoría de la evolución que los dos sabios nunca supieron... ni podían saberlo, dicho sea

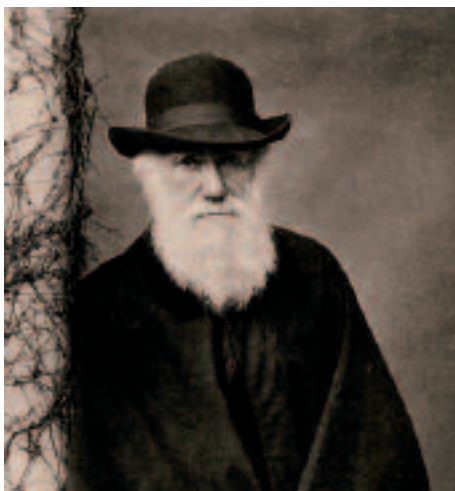
de paso. Ambos concluyeron que la historia de la vida estaba regida por dos principios simples, universales y al tiempo complementarios: la descendencia con modificaciones —hoy las llamamos mutaciones genéticas— y la selección natural.

Si nos atenemos al relato bíblico estricto, todos los seres vivos fueron creados por Dios a la vez, y tal y como los vemos hoy. Algo que debió ocurrir hace unos pocos miles de años; el cómputo exhaustivo realizado por el famoso arzobispo Ussher a finales del siglo XVI, a través de sesudos cálculos basados en el Antiguo Testamento, daba una fecha exacta para la creación del mundo: las 9 de la mañana del 23 de octubre del año 4004 antes de Cristo. O sea, hace algo menos de 6.014 años.

Otros ya lo pensaron

Sin embargo, bastante antes de esa fecha fueron muchos los que pensaron que debía haber algún tipo de evolución entre los seres vivos. Desde Thales de Mileto, seis siglos antes de Cristo, hasta Anaximandro o Empédocles, y más tarde Epicuro y Aristóteles... Todos ellos veían en la naturaleza ejemplos evolutivos que desmentían la posibilidad de una creación inmutable de todo lo viviente. Para los griegos eso significaba una especie de gradual progresión de lo simple a lo complejo, de lo imperfecto a lo perfecto. Una idea elegante, pero muy alejada de la realidad...

Mucho más tarde, pero antes de los cálculos de Ussher, Leonardo da Vinci, gran aficionado a los fósiles y a su interpretación, sostenía tesis contrarias al creacionismo puro. Y con la aparición del



Charles Darwin.



Alfred Russel Wallace.



Panorámica de la casa donde residió Charles Darwin durante 40 años, conocida como Down House y situada en el pueblo de Downe (Condado de Kent, Inglaterra).

método científico, esencialmente gracias a Galileo —a comienzos del siglo XVII—, poco después del “exacto” cálculo de Ussher empieza a ganar terreno la idea de que una cosa es el dogma y otra lo que la ciencia puede investigar y demostrar. Sólo así se explica que, a lo largo de sus viajes respectivos, ya en pleno siglo XIX, tanto Darwin como Wallace llegaron a conclusiones tan aparentemente heréticas.

Antes que ellos, ya Linneo había creado una clasificación de los seres vivos jerarquizados según semejanzas y diferencias. Aquello ocurrió en pleno siglo XVIII y contribuyó a dar a las ciencias naturales un lenguaje universal. A finales de ese mismo siglo la *Historia natural* de Buffon —36 volúmenes— suscitó en su autor, que era religioso como Linneo, serias dudas acerca de lo que decía el dogma y lo que observaba en la naturaleza. Acabó aceptando una especie de evolución, pero al revés de lo que pensaban los griegos: Dios hizo un mundo natural perfecto, y luego algunas especies iban degradándose, degenerando en cierto modo; los monos serían, pues, degeneraciones de los humanos; los burros, de los caballos. Y así sucesivamente...

Pero el mundo de los fósiles no paraba de aportar nuevas pruebas intrigantes. Y así, el naturalista francés Georges Cuvier, en la transición entre los siglos XVIII y XIX, aportó datos de enorme valor que,

aunque él nunca quiso usar para sustentar el evolucionismo, sirvieron de soporte indudable a los que vendrían después; por ejemplo, el naturalista francés Saint-Hilaire, defensor de las ideas transformistas en la naturaleza, y por supuesto Lamarck, autor de una obra esencial, *Filosofía Zoológica*, publicada en 1809. Fue un auténtico precursor de Darwin y Wallace, cuya obra postulaba tres hipótesis:

— El ambiente modifica la estructura de plantas y animales.

— Los cambios anatómicos y funcionales se producen por el uso o el desuso.

— Las características adquiridas se transmiten por herencia a la descendencia.

En su tiempo todo esto fue rechazado de manera casi unánime, sobre todo, por los prejuicios religiosos. Eso sí, abrió la puerta a las reflexiones de Darwin y Wallace, excelentes observadores sobre el terreno y grandes estudiosos de las obras de Cuvier, Saint-Hilaire, Lamarck y sus antecesores.

Wallace y Darwin aclaran las cosas

Con las aportaciones de Darwin y Wallace quedó claro, de manera definitiva —para los racionalistas, no así para los creyentes, a los que les costó mucho aceptar la necesaria adaptación que habría que hacer en sus dogmas—, que los seres vivos habían evolucionado a lo largo del tiempo acumulando en esos largos periodos múltiples diferencias que

luego hacía viables o no un proceso de selección natural de especies. La historia de la vida tenía, pues, por fin un marco teórico coherente en el que inscribirse, lo que permitía una aproximación estrictamente científica del asunto sin necesidad —al menos, sin necesitarlo esencialmente— de una deidad creadora o de una teoría filosófica o ideológica cambiante y, por tanto, no universal.

Este asunto no es baladí, y hace siglo y medio inquietaba a Darwin y Wallace, que de ningún modo querían violentar a la jerarquía religiosa de su tiempo. Wallace era un creyente profundo, y se sentía necesariamente incómodo con las conclusiones científicas de sus estudios. Y aunque Darwin probablemente era mucho menos creyente —incluso decididamente agnóstico según iba haciéndose mayor—, por respeto a la profunda religiosidad de su mujer Emma —prima suya y un año mayor que él—, que siempre tuvo una notable influencia sobre el sabio tanto personal como en temas de trabajo, se guardaba muy mucho de insistir en aspectos de ese tipo.

Pero es un elemento de trascendental importancia, porque le otorga universalidad, por primera vez en la historia, al paradigma de la vida. Cada religión tiene su propia forma de imaginar la concepción del mundo o la aparición del hombre y los demás seres vivos. Lo mismo ocurre, con o sin matices de tipo religioso, con las distintas corrientes filosó-



ficas o ideologías que han poblado y pueblan el mundo. Pero si con Darwin y Wallace la ciencia llega a explicar de manera racional y con demostraciones suficientes la aparición de la vida, su evolución y la presencia del hombre como resultado de los prolongados y lentos procesos evolutivos, ya no hay multiplicidad de teorías que valgan: uno puede creer lo que quiera, pero nunca podrá negar lo que la ciencia va sabiendo.

Ciencia y cristianismo

Así lo entendió Teilhard de Chardin. Fue un eminente geólogo, de familia muy acomodada pero que, desde su juventud, quiso seguir la senda del cristianismo como jesuita activo. Tuvo conocimiento, cómo

no, de las teorías evolucionistas e incluso conoció en su juventud a Wallace. Como buen científico, Teilhard no podía dudar del evolucionismo, lo que le acarrió notables disgustos con la jerarquía católica. No obstante, supo conciliar en sus escritos lo que la ciencia iba sabiendo con el relato bíblico que, según él, no debía ser tomado al pie de la letra —como hizo tiempo atrás Ussher—, sino que representaba un lenguaje simbólico mediante el cual Dios sólo concreta fechas y sucesos históricos para poder ser entendido por las gentes de la época de Cristo, de escaso bagaje cultural y científico.

Al final, y a pesar de los muchos problemas que tuvo en vida Teilhard con la Iglesia Católica, ésta acabó aceptando su

interpretación, quizá un poco a regañadientes. Algo que no han hecho otras religiones, que siguen ancladas en relatos antiguos que la ciencia hoy contradice rotundamente.

Darwin estimaba la historia de la vida en la Tierra en unos 200 millones de años, a partir de sus observaciones y del relativamente escaso conocimiento que se poseía en su época acerca de los fósiles. Teilhard, más de medio siglo después —y experto geólogo, recordémoslo— ya sabía que no eran centenares de millones de años, sino miles de millones... Pero todo ello no tenía nada que ver con los 6.000 años de Ussher, o los 5.770 del calendario judío (año que ha comenzado el 19 de septiembre de



Salón de Down House donde Charles Darwin escribió su célebre obra *El origen de las especies*.

MARIO MODESTO

2009), basado igualmente en el relato bíblico estricto.

Darwin y Wallace dieron, pues, un paso de gigante en el conocimiento de la biología y de su génesis y evolución. Pero, con todo, había muchas cosas que ignoraban. Algunas de ellas eran para ellos misteriosas, otras meras suposiciones que, en su mayoría, resultaron sorprendentemente acertadas.

Por supuesto, en la actualidad los principios básicos del evolucionismo siguen siendo válidos. Pero en este último siglo y medio la ciencia ha ido acumulando conocimientos sin fin —los genes, nuevos fósiles, las células madre...— que confirman y completan de manera espléndida tanto lo que Darwin dedujo como lo que supuso, e incluso aquello que ignoraba.

Lo interesante es que Darwin publicó en 1871 dos obras, *La descendencia del hombre* y *La selección en relación al sexo*, para aclarar que la especie humana se incluía en el proceso de la evolución biológica. En *El origen de las especies* apenas mencionaba a los humanos, aunque dejaba caer más de una insinuación al respecto. Por ejemplo, cuando escribía "...se arrojará mucha luz sobre el origen del hombre y de su historia", molestó extraordinariamente a los religiosos más integristas porque involucraba a los "hijos de Dios" en el mismo proceso que a los animales y las plantas, que de por sí parecía más que notablemente herético. ¿Cómo iba a ser el "rey de la creación" un animal más? Eso era echar por tierra el principio antropocéntrico...

El papel de la genética

Aquello ofendió incluso a muchas personas no necesariamente vinculadas a la religión. Darwin fue atacado, ridiculizado e incluso insultado y amenazado, a pesar de contar con el apoyo de muchos naturalistas famosos de su época como, por supuesto, el propio Wallace pero también Lyell, Hooker, Henslow, Huxley... Más tarde, cuando murió, Darwin ya gozaba de reconocida fama, y eran muchos, incluso entre los no científicos, los que aceptaban sus teorías como algo científicamente probado.

Pero eso no era del todo cierto...

Su teoría de la evolución presentaba serias lagunas, que no dejaban de mencionar sus detractores. Las tesis de Darwin, y con algunos matices también de Wallace, reposaba sobre cuatro premisas esenciales:

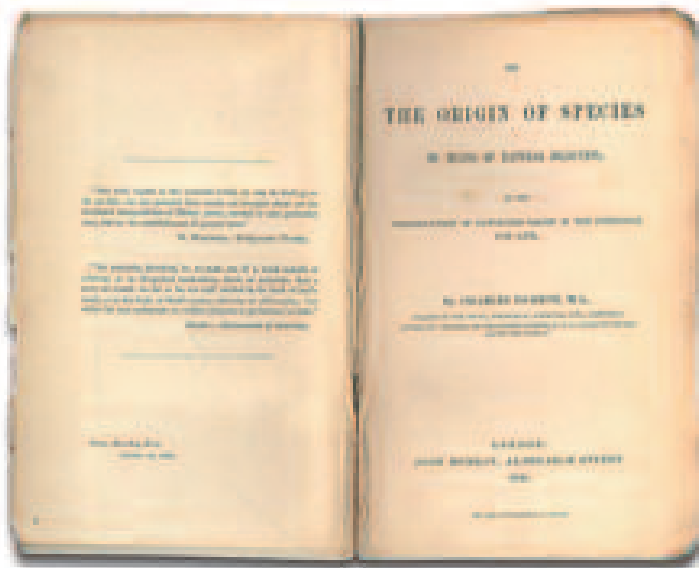
— Variaciones (hoy diríamos mutaciones): los organismos varían (o sea, mutan) y derivan unos de otros en forma hereditaria.

— Competencia y lucha por la existencia: inevitable, dado que nacen muchos más organismos de los que sobreviven.

— Selección natural: las variaciones, que compiten entre ellas, según su capacidad de adaptación son las que favorecen la reproducción y la supervivencia.

— Especialización: esa selección natural va acumulando seres variados (mutados), bien adaptados que producen a su vez subespecies o razas, en un primer tiempo, e incluso más tarde nuevas especies.

Pero Darwin ignoraba lo que eran los caracteres hereditarios, y aún más lo que podían ser esas "variaciones". La genética no existía todavía... Y eso le molestó durante años porque suponía un gran signo de interrogación en su estudio del árbol evolutivo de la vida. Pero en la segunda mitad del siglo XIX nada se sabía de los genes, y sin ellos la idea del ancestro común a todos los seres vivos perdía mucha de su fuerza, por obvia que fuese esa idea a partir de las observaciones cuidadosas que podían realizarse sobre el mundo natural.



Ejemplar de la primera edición de *El origen de las especies*.

Personajes de la Teoría de la Evolución

- Carl Nilsson (Carolus Linnaeus, o Linneo): 1707-1778
- Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon: 1707-1788
- Jean Baptiste Lamarck: 1744-1829
- Georges Léopold Cuvier: 1769-1832
- Geoffroy Saint-Hilaire: 1772-1844
- Charles Darwin: 1809-1882
- Gregor Mendel: 1822-1884
- Alfred Russell Wallace: 1823-1913
- Pierre Teilhard de Chardin: 1881-1955. ■

Es cierto que Mendel había presentado en 1865 su trascendental *Experimentos sobre hibridación de plantas*, pero la obra tuvo escaso eco, hasta el punto de que sus famosas leyes de la herencia, que era exactamente lo que Darwin buscaba con afán, fueron ignoradas por casi todo el mundo. Luego, el conocimiento de los cromosomas, y después de los genes, propició el nacimiento de la ciencia genética, completada de manera genial en 1953 por el descubrimiento de la forma molecular del ADN por Rosalind Franklin, Maurice Wilkins y los famosos Watson y Crick —sin la primera seguramente no hubieran logrado lo que buscaban—.

Si Darwin lo hubiera sabido... Porque es obvio que el fenómeno de la evolución biológica ha ido disponiendo en los últimos decenios de todo un arsenal de disciplinas científicas ini-



Darwin solía pasear por este camino, al que llamó *Thinking Path*, para ejercitar cuerpo y mente.

imaginables apenas un siglo antes. La teoría que esbozaron Darwin y Wallace es hoy ya toda una ley científica, basada no sólo en las evidencias de aquellos dos sabios aventureros, sino en muchas otras verificaciones experimentales posteriores que confirman incluso lo que ellos sólo suponían sin la más mínima prueba.

Hoy sabemos que en la naturaleza sobreviven y se reproducen los organismos mejor dotados, los mejor adaptados a las condiciones del medio. La mayor parte de ellos son eliminados desde el principio porque la selección natural opera básicamente por “reproducción diferencial”. Esto significa que únicamente los individuos cuyas eventuales mutaciones les dotan de una mejor adaptación al medio, pueden acabar por dejar descendencia. Es una buena prueba de “eficiencia biológica”; esto es la consecución por azar de las mejores combinaciones de genes para adaptarse a las condiciones del medio. Y si éste cambia brusca y letalmente, sólo se adaptarán aquellos seres mutantes que hayan adquirido por azar esos caracteres que les permitan afrontar las nuevas condiciones. La selección natural se pone en marcha, cambia su ritmo o se acelera como consecuencia de los cambios ambientales. Por eso, el éxito de cualquier especie siempre va a ser temporal; cada grupo de organismos tiene su tiempo y por eso la extinción, que es lo contrario de

la adaptación, es una parte alternativa de la evolución.

Pero había otro problema a mediados del siglo XIX: la propia noción de especie. Desde luego, ellos observaron que unas especies podrían descender de otras anteriores a ellas. Sin embargo, en aquella época la definición de lo que era una especie resultaba muy poco satisfactoria porque sólo se basaba en criterios groseros, casi siempre ligados a la forma externa. Y al final sólo la intuición —algo inaceptable para un científico riguroso— podría ayudar a distinguir entre especies, subespecies, variedades, etcétera.

Los saltos de la naturaleza

Más incógnitas, hoy resueltas. Darwin imaginaba la evolución como un proceso muy lento y paulatino, sin saltos. Pero era obvio que en la historia de la vida parecían haber aparecido bruscamente muchas especies nuevas, y por otra parte también parecían haber desaparecido con similar brusquedad muchas otras. Con todo, Darwin escribió en el capítulo seis de su famoso libro que la naturaleza no daba saltos. Y si parecía que los daba, como objetaba su amigo Huxley basándose en ciertos fósiles, debía ser porque sencillamente aún no se habían descubierto los fósiles intermedios. Pero hoy siguen sin aparecer; y además los métodos de datación son mucho más precisos, y muestran que, en efecto, la

naturaleza sí da saltos en su camino evolutivo. Y hoy sabemos que, aunque, en general, es constante y lento, el ritmo de la evolución puede ser también de vez en cuando, y más frecuentemente de lo que se piensa, un ritmo sincopado, con grandes sobresaltos. De hecho, cada especie tiene su propio ritmo de evolución, que algunos denominan “evolabilidad”, que definiría más o menos la capacidad y el ritmo de evolución de una especie, un concepto esencial para entender una buena parte del mecanismo global de la evolución. Según el momento —por ejemplo, estrés climático agudo o bien estabilidad del clima a largo plazo— y según las especies, ese ritmo de la evolución puede variar mucho. Pero siempre con un cierto límite. Los expertos estiman hoy que esa tasa de evolución no puede ser mayor que seis mutaciones por genoma en cada generación, sea cual sea la especie considerada. Más allá se produce tal caos que la especie acaba por extinguirse muy deprisa.

En todo caso, en contra de lo que Darwin y Wallace intuían, el ritmo evolutivo no es lento ni constante, sino que pasa por velocidades variables, que dependen del momento y también del tipo de especie considerada. El celacanto, auténtico fósil viviente de las fosas submarinas, lleva millones de años sin evolucionar; muchos virus, en cambio, mutan casi cada año... En suma, si la teoría de la evolución fue un logro brillante de dos mentes privilegiadas, que se basaron en cerebros igualmente brillantes que les precedieron, hoy sabemos que no lo sabían todo. Pero, eso sí, lo que no supieron, pero sí supieron intuir, hoy ha sido confirmado plenamente. La teoría de la evolución no es ya, en realidad, una teoría en el sentido de algo especulativo no demostrado, sino que forma parte de la realidad de las leyes naturales que conocemos y aplicamos a la realidad del mundo que observamos.

Darwin y el siempre olvidado Wallace quizá no lo supieran todo; pero lo que defendieron reposaba sobre bases sólidas, y lo que no supieron demostrar, aun intuyéndolo, ha sido luego plenamente confirmado. Eso es propio de genios... ■

Pertenecen a aquella generación JASP (Jóvenes Aunque Sobradamente Preparados) que a finales de los setenta y principios de los ochenta iniciaban sus carreras profesionales.

Ahora, técnicos de reconocido prestigio y larga experiencia, son la vanguardia de España en el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Forman parte del reducido club de expertos españoles que trabaja en la sede central de este organismo de la ONU, en Viena. *Estratos* se ha reunido con algunos de ellos para que nos cuenten su experiencia y lo que se hace en el día a día de este organismo internacional. ■ POR Jorge Fernández, ENRESA.

*Nuestro país ingresó
en el OIEA en 1959,
dos años después
de la puesta en marcha
del organismo*

Españoles en el OIEA



JORGE FERNÁNDEZ

Acceso al Viena International Center, donde está el OIEA.

EL VIENA INTERNACIONAL CENTER (VIC) es un complejo de edificios de Naciones Unidas situado a orillas del Danubio, en la capital austriaca. Más de dos mil quinientos expertos y técnicos de todo el mundo

trabajan en este lugar que permanece activo las veinticuatro horas del día, coordinando su actividad con los horarios laborales de todo el planeta. De toda esta legión de expertos, al menos dos decenas son españoles; una cifra

que, según opinan, no refleja la importante contribución económica que hace España al presupuesto y a diversos fondos de la agencia, ni el alto reconocimiento técnico que tienen los españoles en el organismo.

Manuel Recio, jefe de la Sección 1 de Europa, dentro del Departamento de Cooperación técnica; Alain Cardoso, jefe de la Sección de Latinoamérica y el Caribe, en este mismo departamento; Eugenio Gil, regulador de seguridad radiológica, y Antonio Morales, técnico del área de Tecnología de Residuos del Departamento de Ingeniería Nuclear, forman parte de este colectivo de españoles que trabajan en el OIEA. Algunos, como Alain, son ya veteranos en el organismo, y otros apenas llevan dos años; pero todos coinciden en las grandes posibilidades que la agencia ofrece a las empresas e instituciones españolas.

“Los técnicos españoles siempre hemos tenido predicamento porque nos incorporamos al organismo siendo ya expertos, mientras que otros países envían técnicos junior o de segundo nivel”, señala Eugenio Gil, con una larga trayectoria en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN),

donde fue subdirector general de Emergencias, entre otros cargos. A su juicio, a la vista de lo que se pide como estándar para colaborar con el OIEA, “el nivel de las instituciones y empresas españolas está probado en muchos casos. Debemos desterrar el histórico complejo de inferioridad ya que tenemos capacidad sobrada”.

Para Alain Cardoso —procedente de Tecnatom y asesor del CSN y de la Comisión Europea en numerosos proyectos—, España tiene mucho que dar; “es cierto que nuestro país no es fuente de tecnología nuclear y que tiene que proveerse fuera, pero tenemos el valor de la cualificación. Hemos sabido adaptar perfectamente esas tecnologías externas a nuestras necesidades. Y esa adaptación es, ahora mismo, aplicable a muchos países que, como el nuestro, tienen que comprar tecnología a terceros y que se tienen que formar en su uso. Ahí es donde España puede tener su papel”.

Falta, y en esto coinciden todos, un análisis en profundidad para detectar y valorar las muchas posibilidades y oportunidades de presencia, formación y de negocio que ofrece el amplio espectro de actividades del OIEA. En este punto surgen el CSN, Enresa, Enusa y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), con la necesaria coordinación de los Ministerios de Industria, Turismo y Comercio y Asuntos Exteriores, como mascarones de proa de una mayor participación española en las actividades del OIEA. Y es que el trabajo del organismo se basa, sobre todo, en el intercambio de conocimientos.

“La experiencia del CSN —asegura Manuel Recio, antiguo jefe del Área de Asuntos Nucleares Internacionales del Ministerio de Industria— puede ser de gran utilidad práctica para un país como Turquía, cuyo organismo regulador está



JORGE FERNÁNDEZ



JORGE FERNÁNDEZ



De izquierda a derecha y de arriba a abajo, Antonio Morales, técnico del área de Residuos del Departamento de Energía Nuclear; Manuel Recio, jefe de la Sección 1 de Europa en el Departamento de Cooperación Técnica; Eugenio Gil, regulador de seguridad radiológica y Alain Cardoso, jefe de la Sección de Latinoamérica y el Caribe.

en pleno proceso de reorganización y recorriendo un camino muy similar al del CSN a principios de los ochenta, cuando se creó como una escisión de la antigua Junta de Energía Nuclear”. Otro proyecto en el que la amplia experiencia de empresas como Enresa y Enusa tendría mucho que aportar, es el de “la restauración ambiental de antiguas minas en Asia Central”, añade.

Además, para España ya ha llegado la hora de pasar del “qué podemos aportar al organismo” al “cómo puedo revalorizar la participación”. En opinión de Eugenio Gil, el problema está en la falta de retorno: “Hay poco retorno directo; pocos expertos o empresas españolas que participen en proyectos del organismo, teniendo en cuenta la generosidad económica con la que España contribuye a su puesta en marcha”.

Antonio Morales procede de Enresa y, desde su experiencia como técnico del área de Tecnología de Residuos, cree que esa situación se ve perfectamente en el almacén centralizado de El Cabril. “Hay países del Este que han copiado el sistema de almacenamiento de El Cabril; incluso la estructura organizativa de Enresa. Hemos contribuido al desarrollo y puesta en marcha de esos proyectos, pero a la hora de la verdad te encuentras con que buscan los proveedores en otros países”. Para Morales, si bien es cierto que Enresa ha conseguido convertir El Cabril en un referente mundial, “se

echa en falta que haya empresas españolas que intenten capitalizar esa posición de referencia. El concepto del diseño de la instalación, del contenedor de almacenamiento, etcétera, son perfectamente exportables y explotables”.

Cooperación en salud y bienestar

El OIEA tiene previsto poner en marcha este año hasta un total de 525 nuevos proyectos de cooperación técnica. El presupuesto anual para las cuatro regiones en las que se ha dividido el mundo, a efectos de cooperación técnica —Latinoamérica y Caribe, Europa, África y Asia—, es de 85 millones de dólares (unos 60 millones de euros).

Alain Cardoso es el responsable de la cooperación técnica del organismo en el área latinoamericana. La Sección 2, que él gestiona, abarca veintidós países y su presupuesto anual del fondo de cooperación técnica es de 14 millones de dólares. El objetivo es transferir tecnología nuclear, desarrollada y de probada eficacia, a estos países en desarrollo. Las áreas prioritarias en cooperación, especialmente en Latinoamérica, son las que tienen que ver con las aplicaciones en salud humana y son, con diferencia, las que consumen la mayor parte del

presupuesto. Actualmente, la agencia mantiene un programa sobre el cáncer y realiza misiones de verificación de los programas de radiodiagnóstico y radioterapia. En este sentido, teniendo en cuenta que los grandes avances médicos se basan en tecnologías y equipos muy avanzados y caros para los hospitales públicos, en opinión de Manuel Recio, “es fundamental para estos países la ayuda del OIEA para la adquisición de estas tecnologías y la formación en su manejo”.

Todos estos programas se financian a través de dos vías. Por una parte está el Fondo de Cooperación Técnica, cuya distribución responde a unos criterios de



Centro Tecnológico Mestral, en Tarragona.

Enresa como referente

Enresa tiene una larga experiencia de colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que se concreta en una permanente participación de sus técnicos en reuniones, comités de expertos y proyectos de la agencia. En opinión de Manuel Recio, Enresa, “es una palanca fundamental para las empresas españolas. Todas quieren que esté detrás de un proyecto, aunque sólo sea para poner el nombre”. Eso, afirma, es consecuencia de su trabajo: “La marca Enresa se vende bien; y aunque a ella no le reporte un beneficio económico, sí se lo genera al país y a su industria”.

El Centro Tecnológico Mestral, en el emplazamiento de la antigua central nuclear Vandellòs I, constituye la segun-

da referencia internacional de Enresa, después de El Cabril. El *workshop* que sobre desmantelamiento se organizó en 2008, con la colaboración del OIEA, fue, según Antonio Morales, “un gran éxito, porque se pudieron contemplar los proyectos que la empresa ha desarrollado con la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, y que son una muestra de la capacidad tecnológica de España”. El desarrollo de un método para caracterizar superficies con un robot dotado de un espectrómetro es un gran avance en el ahorro de dosis, tiempo, dinero y material contaminado. Pero, para Morales, “ahora falta la segunda parte, que una empresa lo fabrique y lo venda. Esto supondría poner en el mercado tecnología propia”. ■

calidad e impacto de los proyectos, así como de adecuada distribución de los recursos entre las regiones y Estados del programa de cooperación. Por otro lado, están las contribuciones extrapresupuestarias, una partida económica que puede tener una importancia incluso mayor que la del propio fondo y que se nutre de donaciones voluntarias de los Estados miembros. Se destinan a proyectos que se han diseñado y que están en el programa, pero para los cuales no hay una financiación asegurada por el fondo de cooperación técnica. Entre las misiones del Departamento de Cooperación Técnica está la de conseguir ese dinero que generalmente supone varias decenas de millones de dólares a sumar a los recursos del propio Fondo.

España realiza aportaciones extrapresupuestarias a distintos fondos, especialmente al Fondo de Seguridad y al anteriormente citado Fondo de Cooperación Técnica. Dentro de este último, donde más dinero se destina es a proyectos de Latinoamérica en las áreas de nutrición y de seguridad en centrales nucleares e instalaciones radiactivas. El Consejo de Seguridad Nuclear —para cuestiones de protección radiológica y seguridad—, el Ciemat —en temas medioambientales— y el Ministerio de Industria —en materia de nutrición, salud o gestión de aguas— realizan aportaciones extrapresupuestarias mucho más importantes que las que hacen países como Francia, Alemania o Inglaterra.

Otra de las funciones del OIEA, al margen de la aplicación de las salvaguardias nucleares, es el desarrollo de una normativa de carácter internacional, fundamentalmente en el campo de la seguridad nuclear y de la seguridad radiológica.

“En este punto, es fundamental el trabajo del Departamento de Seguridad —afirma Eugenio Gil—. Son ellos los que recomiendan a los Estados la infraestructura regulatoria, cómo se deben controlar las instalaciones, cómo tiene que ser la seguridad nuclear o cómo deben aplicarse las políticas de seguridad radiológica”. Toda esa documentación normativa se estructura en

España en el OIEA

España ingresó en el OIEA en 1959, dos años después de la puesta en marcha del organismo. Históricamente, la presencia española en esta institución ha sido baja en relación con su contribución al presupuesto regular del organismo y en comparación con otros Estados con aportaciones similares. Los motivos de este bajo perfil son bastante complejos. Por una parte, nuestro país no ha hecho uso extensivo de los recursos del organismo, si bien ésta es una situación que está cambiando progresivamente. Por otra, el bajo interés que antaño tenían los técnicos españoles en ocupar puestos en el extranjero, no ha favorecido la mayor presencia española en este organismo. Actualmente, los españoles del OIEA proceden, básicamente, de instituciones estatales como el Consejo de Seguridad Nuclear, Enusa, Enresa, el Ciemat o el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Son pocos los que, como Alain Cardoso, provienen de empresas privadas. ■



En el OIEA hay al menos una veintena de españoles; la mayoría llegan desde organismos estatales.

fundamentos, requisitos y guías de seguridad a los que vendrían a unirse los documentos técnicos que generan los distintos departamentos del Organismo. “Con todo este *corpus* normativo —continúa Gil— se construye la doctrina de seguridad que el organismo propone y recomienda a los Estados miembros y que, en algunos casos, como la cooperación técnica, es de obligado cumplimiento”.

Un gran desconocido

Proporcionar tecnología, infraestructuras y conocimiento para lograr importantes avances sociales podría ser un buen resumen de las actividades de este organismo al que España contribuye con expertos y recursos económicos. Todo a cambio de asumir unas reglas del

juego para que se sepa utilizar esa tecnología y se haga según sus estándares de seguridad.

Pero, como los técnicos españoles reconocen, existe un gran desconocimiento de las labores del OIEA, no sólo en España sino en la mayoría de los países. Para Alain Cardoso, esta situación se debe a que “dentro de su mandato no está promocionar las actividades nucleares, sino prestar asistencia a los países que requieran la ayuda, ya que el organismo no quiere que se le vea como una institución que quiere imponer una determinada tecnología”. Por ello afirma que “sería conveniente mejorar ese planteamiento, ya que muchos países están perdiendo oportunidades por no conocer la posibilidades que les brinda este organismo”. ■

¿Quién no conoce el templo de Debod? Emplazado en los altos del madrileño Parque del Oeste, el pétreo monumento se nos antoja tan castizo como el edificio de Telefónica, la fuente de la Cibeles o la estatua de la Violetera. Tan castizo que ya pocos se preguntan cómo semejante reliquia faraónica vino a dar a la Villa y Corte. Y es que pocos de los que pasan a su lado la vinculan a una proeza de la ingeniería contemporánea: la presa de Asuán; un hito en el que España cumplió un modesto pero no desdeñable papel, del cual perduran como testigos estas ruinas que engalanan los crepúsculos de la capital ■ **POR Pablo Francescutti, PERIODISTA CIENTÍFICO.**

*Un balance de luces y
sombras envuelve este
icono de la ingeniería
contemporánea construido
en Egipto en plena
Guerra Fría*

ASUÁN, LA PRESA MÁS CONTROVERTIDA



La presa de Asuán, en una imagen de satélite.

LA PRESA DE ASUÁN CUMPLE ESTE año el quincuagésimo aniversario del inicio de sus obras. Hace medio siglo, el líder egipcio Gamal Abdel Nasser ponía la primera piedra de lo que pasaría a los anales como una proeza de la ingeniería hidráulica, una gloria del nacionalismo árabe y un caso de manual de desastre ecológico planificado, según los pareceres de cada quien.

“Egipto es un don del Nilo”, dijo el historiador griego Herodoto. No exageraba. Ningún país le debe tanto a un sólo río. Cada año, y sin fallar, la crecida depositaba en las orillas entre 10 y 15 millones de toneladas de limo, un capa de fértil sedimento capaz de sostener una próspera civilización a lo largo de milenios, mientras que los demás imperios alzados a la vera de grandes cursos fluviales se desmoronaban uno tras otro.

Pero con la bendición venía la maldición: el ciclo de inundaciones y sequías que secularmente devastaba las orillas y el delta (de ello dan fe los siete años de vacas flacas, mencionados en la Biblia). De ahí que sus moradores se planteasen edificar una presa en Nubia, mil kilómetros río arriba, que acabase con los temidos ciclos.

La aspiración se concretó parcialmente en 1902, cuando los ingleses levantaron un primer dique cerca de Asuán, la ciudad más meridional del país. Finalmente, en 1960 Nasser plantó un desafío a la fuerza indomable del segundo río más largo del planeta; y en el mismo gesto lanzó un reto político. El coronel egipcio contaba con el apoyo estadounidense para emprender una obra que superaba de lejos las capacidades locales; pero Washington retiró su oferta como castigo a su política nacionalista. El *rais* aceptó entonces la ayuda del Kremlin. Su generosa oferta de asistencia se enmarcaba en la puja de ambas potencias por seducir a los países en desarrollo. El líder soviético Nikita Krushev proclamó que Asuán le daría la oportunidad de “ahogar al capitalismo”.

Un pulso de la Guerra Fría

Del diseño del proyecto se encargó el Hydroproject Institut de Moscú. La URSS, además, asumió un tercio del costo total (1.200 millones de dólares de la



La presa logró controlar las fuertes crecidas del río Nilo. Abajo a la izquierda, el líder ruso Nikita Krushev, que brindó su apoyo a Gamal Abdel Nasser, a la derecha, para la construcción de esta obra hidráulica.

época). Los soviéticos acreditaban la experiencia adquirida en las grandes presas del Dnieper y el Volga; de su propaganda tomó Nasser la idea de convertir una obra hidroeléctrica en un estandarte del progreso nacional, en un emblema de modernización sin tutela occidental, un icono irresistible para quien deseaba proyectarse como paladín del Tercer Mundo.

Además de dinero, los soviéticos aportaron 800 técnicos, *know how* y turbinas. Volaron el granito, descargaron enormes volúmenes de arcilla y vertieron chorros infinitos de hormigón. Desviaron el río, lo encajonaron en un cañón artificial y, por último, lo obligaron a discurrir por seis enormes túneles. Por fin, los trabajos, seguidos con admiración por la prensa mundial, le dieron a Egipto el control total de su río.

En 1964, se inició el llenado del reservorio. Las aguas comenzaron a subir y entonces cundió la alarma: el embalse de

5.250 kilómetros cuadrados de extensión se tragaría una gran cantidad de monumentos antiguos. De inmediato se puso en marcha un formidable plan de rescate, dirigido a minimizar el daño al patrimonio arqueológico. Y es entonces cuando se origina la historia del “madrileño” templo de Debod.

En 1970 quedó concluida del todo la mayor obra pública emprendida en esos parajes desde las pirámides. Tenía 3.830 metros de longitud, 980 metros de ancho en la base, y 111 metros de alto. Por sus esclusas llegan a pasar hasta 11.000 metros cúbicos de agua por segundo. El embalse, bautizado como Lago Nasser, encerró 111 kilómetros cúbicos de agua, convirtiéndose en el segundo lago artificial más grande del planeta.

El fin de las inundaciones

Sus efectos beneficiosos se notaron mucho antes de esa fecha. Por ejemplo,

las consecuencias potencialmente catastróficas de la gran avenida de 1964 fueron mitigadas, e igual ocurrió con la riada de 1973 y las sequías de 1972 y 1973 y de 1983 y 1984. Basta con ver el devastador impacto de la inundación de 1988 en otro país surcado por el Nilo, el vecino Sudán.

Desde 1967, Asuán también genera energía hidroeléctrica. Sus 2,1 gigavatios de capacidad instalada aportaron casi la mitad de la producción eléctrica nacional. Por primera vez en la historia, la electricidad llegó a la mayoría de las aldeas egipcias.

El lago artificial impulsó asimismo una industria pesquera que produce entre 15.000 y 25.000 toneladas de pescado al año, especialmente de la conocida perca del Nilo.

La agricultura se benefició enormemente: 46.000 millones de metros cúbicos de agua fluyeron anualmente por los canales de riego, permitiendo a los labriegos recoger una media de 1,8 cosechas anuales y triplicar el valor total de su producción.

Según algunas fuentes, la aportación de esas variables al Producto Interior Bruto permitió que en apenas dos años se amortizase la inversión realizada en Asuán.

Impacto retardado

Hasta aquí los aspectos positivos. Veamos ahora la otra columna del balance. Sin duda, los primeros perdedores del megaproyecto fueron los 130.000 nubios

—la mitad, en Egipto y el resto, en Sudán— despojados de sus hogares y reubicados en otros sitios (en aquellos años la destrucción del modo de vida de la población local conmovió a la opinión pública mundial mucho menos que la pérdida de las ruinas faraónicas).

Los efectos negativos en el entorno se hicieron visibles con el correr de los años. Como entonces no se conocían los estudios de impacto ambiental, no se hizo ningún esfuerzo por prever los posibles efectos adversos. Nadie anticipó que la presa obstruiría el paso del limo que había hecho del valle del Nilo un vergel. Retenidos en el embalse, los sedimentos comenzaron a colmatarlo. Río abajo, el delta, privado de su savia vital, perdió su proverbial fertilidad. “El suelo se renovaba cada año con la crecida”, recuerdan los biólogos Sayed El-Sayed y Gert van Dijken, “pero al cesar la inundación anual, los agricultores tuvieron que utilizar fertilizantes, mucho más caros”.

Por añadidura, las malas prácticas de irrigación y los suelos encharcados han salinizado las tierras cultivables, con el consabido menoscabo de su productividad.

Los nutrientes que se vertían en el Mediterráneo dejaron de fluir, lo que repercutió en los recursos pesqueros tradicionales: las capturas bajaron de casi 35.000 toneladas en 1962 a menos de la quinta parte en 1969. La especie más afectada fue la sardina, muy dependiente del fitoplancton aportado por las inundaciones: las 18.000 toneladas recogidas en 1962 se desplomaron a apenas 460 en

1968. Otro tanto sucedió con las gambas, que descendieron de 8.300 toneladas en 1963 a 1.128 en 1969.

La escasez de la arena acarreada anteriormente por el Nilo ha propiciado la erosión costera en todo el Mediterráneo oriental. En su desembocadura, la costa retrocede a razón de diez metros por año. Para rematarla, los fabricantes de ladrillo, privados del limo que usaban de materia prima, se comieron unos 500 kilómetros cuadrados del delta para sacar tierra. Se teme que el fenómeno redunde en la desaparición de las lagunas, que alojan los mayores recursos pesqueros nacionales, y en la entrada de agua salada en los arrozales, un proceso que se agravaría si subiera el nivel de los mares al calor del cambio climático.

Súmese a lo anterior la eclosión del fitoplancton, favorecida por el ralentizado fluir del Nilo, que ha obligado a tratar el agua de grifo con grandes cantidades de cloro.

Por último, las aguas estancadas del lago Nasser y las acequias de riego se han vuelto un caldo de cultivo para los caracoles transmisores de la esquistosomiasis, la dolencia parasitaria más dañina en términos socioeconómicos, después de la malaria.

Un legado con claroscuros

¿Qué pesa más en el legado de Asuán? ¿Los pros o los contras? El balance definitivo sigue en discusión. Los defensores de la presa argumentan que desde 1995 se observa cierta desalinización de las tierras de cultivo, posiblemente debido al



Obras de construcción de la presa, que comenzaron en 1960 y acabaron diez años después.



El templo de Debod, situado en el Parque del Oeste de Madrid.

Salvados de las aguas

El salvamento de los monumentos amenazados por la presa de Asuán figura entre los grandes logros de la UNESCO. Su llamamiento en 1960 movilizó recursos financieros, técnicos y humanos que permitieron salvar una parte de ellos e identificar, catalogar y estudiar casi todo el resto. El más valioso era el santuario greco-romano de la isla de Filé, aunque el más vistoso era, sin duda, el grupo escultórico de Abu-Simbel, tallado en una pared rocosa. En total, se desmantelaron veinte templos, que fueron reconstruidos en sitios elevados, y otros veinticinco quedaron bajo las aguas. España participó a través del Comité Español, dirigido por el arqueólogo Martín Almagro Basch. En agradecimiento, Egipto regaló cuatro templos a las naciones más implicadas: el de Ellesya fue para Italia; el de Taffa, para Holanda; el de Dendur, para Estados Unidos; y el de Debod, para España. Este último, de 2.200 años de antigüedad, fue levantado por el faraón Ptolomeo IV a la gloria del dios Amón en la localidad de Debod. Trasladado piedra a piedra por barco hasta Valencia, y de allí por camiones a Madrid, el edificio fue inaugurado el 20 de julio de 1972, en el terreno del demolido Cuartel de la Montaña de Madrid. ■

gran número de obras de drenaje ejecutadas en las últimas décadas. Los críticos replican que se ha gastado más dinero en drenar la sal que lo que costó la presa.

Los optimistas citan a su favor el control de la esquistosomiasis: “la introducción de servicios de saneamiento, educación sanitaria y clínicas rurales redujo su prevalencia del 40% antes del alzamiento de la presa a sólo un 10% en 1991”, apunta Asit K. Biswas, presidente del Third World Centre for Water Management, una institución con sede en México que promueve el uso adecuado, eficiente y equitativo de los recursos hídricos.

En cuanto a la mengua sufrida por la pesca, los partidarios de Asuán responden que ésta ha sido superada con creces por el pescado recogido en el lago Nasser.

Como ocurre en las polémicas ambientales, aquí no escasean las incógnitas. Los drásticos cambios en las condiciones químicas, biológicas y físicas del Mediterráneo oriental no han sido estudiados en detalle. Se ignora, por ejemplo, cómo el menor caudal del Nilo puede afectar a las comunidades de plancton y, por ende, a la cadena alimentaria marina. De hecho, la reciente recuperación de las capturas de peces y mariscos en un entorno de aguas pobres en nutrientes resulta inexplicable.

Las incertidumbres se multiplican en el horizonte. El suministro de agua puede peligrar si Eritrea, Etiopía y los demás países que comparten la cuenca del Nilo aumentan su consumo del vital elemento, advierte el analista medioambiental Fred Pearce. Un dato ha hecho reflexionar al ministerio egipcio de Recursos

Hídricos e Irrigación: el Nasser pierde por evaporación tanta agua como para cubrir la demanda anual de Reino Unido. A la luz de ese hecho, se ha desempolvado un viejo plan inglés que proponía una presa mucho más cerca de las fuentes del Nilo, dentro de un programa de desarrollo regional.

Acaso, la solución pase por la construcción de embalses en Etiopía, sugiere Pearce. Menos propensos a la evaporación, cumplirían la misma función reguladora que Asuán, aunque su realización exigiría grandes acuerdos políticos previos, pues crearía una interdependencia hasta ahora muy resistida por gobiernos fuertemente nacionalistas.

El futuro dirá. Hoy, Asuán ha perdido parte de su importancia práctica, por lo menos en lo concerniente a la generación eléctrica (hoy produce menos del 13% de la energía del país), un porcentaje que se reducirá más conforme se instalen nuevas centrales térmicas. Su tamaño se ha visto empujado por otras construcciones hidráulicas (el caudal máximo de la presa china de las Tres Gargantas será 900 veces superior). Pero su valor simbólico no ha disminuido un ápice. Para unos, perdura como un memorial de los *crímenes ambientales* del desarrollismo. Para muchos egipcios sigue siendo un motivo de orgullo patriótico. Y para algunos expertos constituye una demostración de la capacidad humana para domeñar una fuerza de la naturaleza.

A final de cuentas, lo que mantiene vivo el recuerdo de Asuán es su esencia paradigmática de las glorias y miserias de

la “hidropolítica”. Desde el nacionalismo de Nasser al voluntarismo hidráulico de Kruschev, pasando por la diplomacia tecnológica estadounidense y el reconocimiento tardío de las limitaciones de las soluciones “nacionales” para una cuenca regional, la historia de la presa compendia los usos que los políticos modernos han hecho del agua como palanca de poder. De todos esos episodios, el templo de Debod en Madrid rinde testimonio del más ejemplar: de cuando veinticinco naciones se mancomunaron para paliar los estropicios del desmán hidrológico. ■

El carbón quiere recuperar protagonismo en el *mix* energético. El denostado combustible fósil, responsable del calentamiento global y de buena parte de la contaminación, atisba un prometedor futuro. El desarrollo de tecnologías que permitan la captura y el almacenamiento del CO₂ generado en los procesos de combustión evitará su emisión a la atmósfera. España no quiere perder ese tren: Ciuden y Foster Wheeler ya han iniciado la construcción de la primera planta piloto española de estas características, y antes del verano se conocerán los emplazamientos más idóneos para almacenar el CO₂ a más de 800 metros de profundidad. ■

POR **Inmaculada G. Mardones**, PERIODISTA.



La captura y almacenamiento del CO₂ que emiten las centrales térmicas permitirá al carbón recuperar competitividad frente a otras fuentes energéticas

LA RESURRECCIÓN DEL CARBÓN

NO HAY VUELTA ATRÁS. DE AQUÍ A cinco años el carbón va a recuperar un papel relevante como recurso energético. Sus reservas, repartidas por todo el mundo, cuadruplican las de gas y petróleo y su precio tiene mucha más estabilidad. Tanto los países desarrollados como los emergentes, las principales compañías productoras de energía y la Unión Europea han enfocado su mirada al rescate de este combustible fósil para que vuelva a generar energía sin el lastre que ha acompañado su trayectoria: la contaminación atmosférica y el efecto invernadero.

En unas décadas, convivir con una central térmica no será igual que ahora. No habrá que tragarse el humo ni el CO₂. Las emisiones de la combustión del carbón se entubarán y se devolverán a la tierra, en un proceso contrario al de la extracción de gas o petróleo. Es la tecnología llamada captura y almacenamiento de

CO₂ (CAC), que se está aplicando en más de 110 proyectos en 18 países.

Con un cierto retraso, España está firmemente decidida a ganar tiempo para no quedarse rezagada en la carrera por desarrollar este tipo de plantas térmicas con emisiones cero, o al menos una retención del 90% de las emisiones, y reducir entre un 30% y un 40% sus costes para hacerlas competitivas. La carrera se ha iniciado en varios frentes.

El Instituto Geominero de España (IGME), con la colaboración previa del Ciemat, ha recopilado y testado en el último año más de 46 sumideros subterráneos potenciales en toda la Península para almacenar depósitos de CO₂, completamente sellados. Para antes del verano se harán públicos esos emplazamientos, sobre los que el Estado ejercerá una reserva de dominio público para ponerlos a disposición de las entidades a las que les interese utilizarlos.

A partir de 2016 no se autorizará ninguna planta de más de 300 MW de potencia que no disponga de un sistema de captación y almacenamiento garantizado de sus emisiones mientras esté operativa.

El Gobierno, a través del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, por su parte, tramita en las Cortes, la trasposición de la Directiva Europea 2009/31, que regulará la autorización, registro, seguridad y control de estos emplazamientos. El proyecto de ley contempla la cesión por concesión de estos almacenes a las empresas que necesiten estos sumideros por un tiempo equivalente al periodo de vida de una central térmica. El Estado garantizará que, tras el abandono de la actividad, el sumidero quede completamente sellado. El Ministerio de Industria se reserva la competencia de autorizarlos, mientras las comunidades autónomas serán quienes

velen por su buen funcionamiento y mantenimiento.

El precedente de Elcogás

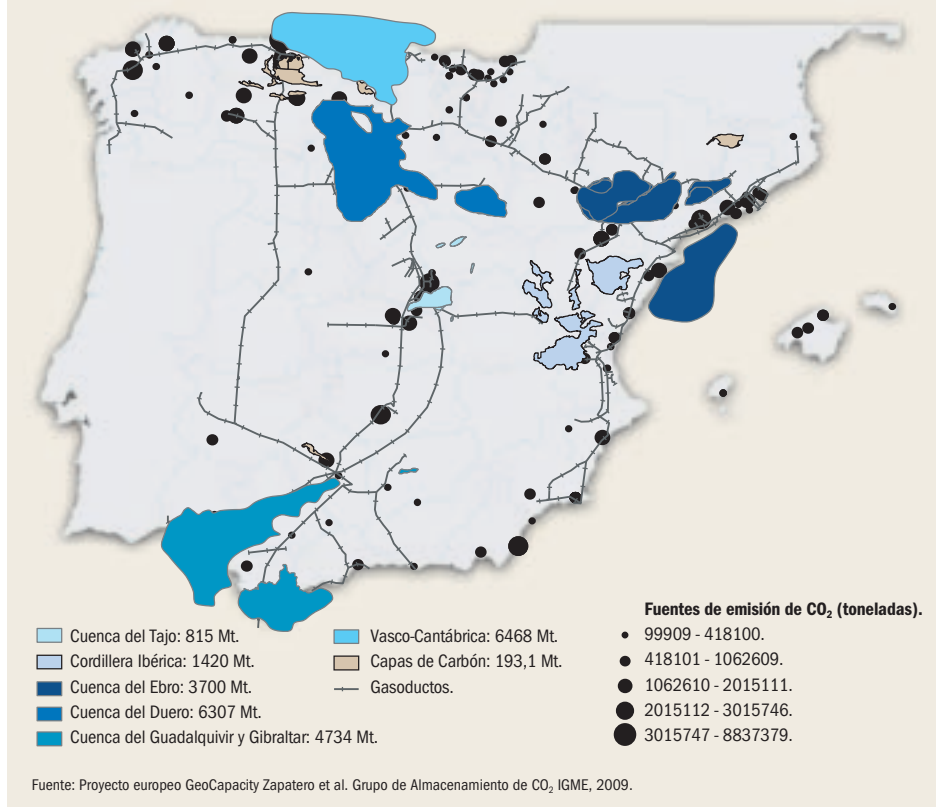
El propio Ministerio de Industria ha reservado ya un emplazamiento en Asturias para Hunosa, a petición del sindicato UGT, y la Fundación de la Energía reservó para el Estado otros once posibles sumideros, fruto de los conocimientos geológicos de que se disponen, tras décadas de estudios y exploraciones en busca de yacimientos petrolíferos por las cuencas hidrográficas y la plataforma continental marítima.

El mayor problema al que se enfrenta el CAC no es la tecnología en sí, testada desde hace décadas, sino el abaratamiento de los costes, su gobernanza y su aceptación social, tareas estas últimas encomendadas al Ciemat.

En las plantas piloto que se desarrollan en todo el mundo se están testando distintas tecnologías. Y probablemente serán varias las que se apliquen. Sin ir más lejos, la planta Elcogás en Puertollano, perteneciente a un consorcio de las principales eléctricas europeas, lleva experimentando desde 1996 sistemas de pre-captación de gases para evitar su emisión a la atmósfera. Pero será el consorcio Ciuden-Foster Wheeler quien ponga en marcha la primera planta piloto española CAC de oxidación en Cubillos del Sil, en el Bierzo leonés, muy cerca de la central térmica que explota Endesa, en Compostilla. Tras los ensayos, la eléctrica y Ciuden constituirán durante este año una sociedad para construir la primera planta de 300 MW.

La Ciudad de la Energía (Ciuden), creada por iniciativa del presidente del Gobierno para paliar la crisis económica de El Bierzo tras el derrumbe de las explotaciones mineras, había proyectado una planta experimental basada en la tecnología de oxidación que consiste en quemar el carbón directamente con oxígeno en lugar de aire. Este procedimiento hace que los gases de combustión estén constituidos casi exclusivamente por CO₂ y agua, que se separan de una forma relativamente sencilla. El proceso requiere producción de oxígeno y dispositivos espe-

Capacidad estimada de almacenamiento de CO₂ por cuencas sedimentarias en acuíferos salinos y capas de carbón.



Fuente: Proyecto europeo GeoCapacity Zapatero et al. Grupo de Almacenamiento de CO₂ IGME, 2009.

ciales para facilitar la combustión, pero se le atribuye un gran rendimiento.

Esta iniciativa se encontró en el camino con los proyectos de Endesa, la eléctrica que más plantas térmicas de carbón

explota en España y la más interesada en aplicar las nuevas tecnologías de cara a mantener su competitividad en el momento en que los derechos de emisión de CO₂ a la atmósfera eleven su cos-



Obras de la primera planta piloto CAC en Cubillos del Sil (León).

te. También es la pionera —aun antes de ser adquirida por la italiana ENEL— en realizar estudios y prospecciones para posibles emplazamientos de CO₂. De hecho, ya contaba con permisos en Aragón y Burgos, entre otros enclaves.

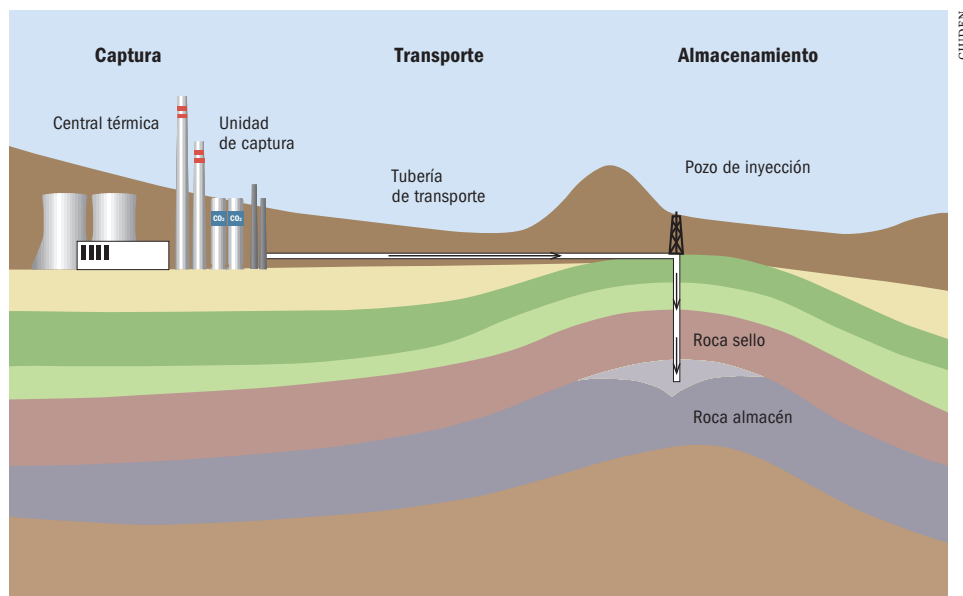
“Empezamos a trabajar en 2002. Intentamos crear la Fundación Española del CO₂ en la que participarían también las grandes cementeras pero no cuajó. Quizá fue demasiado pronto”, recuerda Juan Carlos Ballesteros, subdirector de I+D de Endesa. La iniciativa no cuajó pero dio pie a la Plataforma del CO₂ y a la Asociación Española de CO₂, de la que forman parte todas las empresas eléctricas, varias tecnológicas y los organismos de investigación públicos especializados en estas materias. La elección de un proyecto encabezado por Endesa para el programa Cenit dio el espaldarazo definitivo para la continuidad de unos trabajos que han desembocado en la concesión de 180 millones de euros de la Unión Europea para la puesta en marcha en España de la primera planta de combustión térmica de carbón sin emisiones. Los otros proyectos que se apoyan con una inversión similar se ubican en Alemania (Vatenfall), Holanda (Maasvlakte), Reino Unido (Hatfield), Polonia (Belchatow) e Italia (Porto-Tolle, también de ENEL). La UE invertirá 3.900 millones de euros en proyectos de este tipo y tecnologías de captación de CO₂.

“Nosotros habíamos desarrollado pruebas en una planta piloto en Canadá de 1 MW con oxígeno puro. Ahora lo haremos conjuntamente con Ciuden y Foster Wheeler con los que esperamos firmar un convenio en breve para poner en marcha la planta experimental por oxicomustión de 30 MW en El Bierzo. Y si los ensayos son positivos, estaríamos en condiciones de dar el salto a una planta comercial de 300 MW”, añade Ballesteros.

Transporte y almacenamiento

Pero una planta térmica con absorción o captura de CO₂ es sólo la pata de un proyecto que necesita otras dos para sostenerse.

Los emplazamientos de las centrales de carbón no suelen estar lejos de las



Proceso de captura y almacenamiento de CO₂. El CO₂ es capturado en las centrales térmicas y transportado hasta la zona de almacenamiento. Ahí se inyecta en una roca porosa, llamada roca almacén, a una profundidad superior a los 800 metros. La roca sello impide su fuga hacia el exterior.

minas de donde se extrae el combustible. Esos terrenos no tienen por qué reunir las condiciones aptas para albergar en su subsuelo un almacén de CO₂. Se necesita un gasoducto específico para transportar el CO₂ capturado de la planta hasta su repositorio definitivo que puede estar a 300 metros o 90 kilómetros.

En este campo la tecnología está más que desarrollada, con los gasoductos que atraviesan la geografía española y mundial. Y aunque no existen experiencias de problemas de corrosión, dentro del proyecto Ciuden-Endesa-Foster Wheeler, se va a hacer un lazo de 1.500 metros para ensayar el transporte de CO₂ en estado fluido y analizar su comportamiento en tuberías.

La tercera pata, tan importante como la primera es el desarrollo tecnológico del almacenamiento definitivo. Endesa ya disponía de estudios de caracterización de subsuelos aptos y sellados. “Hemos seleccionado la información existente en sismicidad geología y tenemos programas de sondeos mecánicos de profundidad efectuados con técnicas petroleras. Para finales de 2011 quizá ya tengamos lista una estructura que cumpla los requisitos de seguridad y capacidad que nos van a pedir”.

“Por otra parte —añade Ballesteros—, Ciuden quiere hacer una esta-

ción piloto de ensayos para inyectar CO₂, ver sus propiedades y obtener metodologías de comportamiento. Creo que para 2012 estaría concluido el desarrollo tecnológico donde deben converger las tres patas. Tenemos que tener la certeza de que tanto la captura, el transporte, como el almacenamiento deben estar caracterizadas para inyectar todo el CO₂ de una planta durante toda su vida operativa. Con todos estos requisitos cumplidos y resuelta la financiación (en la primera fase necesitaremos ayudas de las administraciones) se podría pensar en tomar la decisión de construir una planta comercial de 300 MW”.

Iberdrola es otra empresa española interesada en estas tecnologías. Sin embargo, los pasos en este campo no los da en España, donde su fuerte es la energía hidroeléctrica y eólica. Su desafío está en Escocia, donde ha heredado las plantas térmicas de Scottish Power, tras adquirir la compañía. Ignacio Sánchez Galán, su presidente, anunció en agosto pasado, tras un encuentro con el primer ministro británico Gordon Brown, la firma de un acuerdo con Shell, National Grid (equivalente a Red Eléctrica) y la noruega Aker Clean Carbon para desarrollar una planta hasta 2014 para capturar y almacenar todo el CO₂

Dos plantas térmicas a la semana

La crisis económica que atraviesa la economía global no va a frenar la demanda de energía. De hecho, la Agencia Internacional de la Energía calcula que habrá crecido un 45% en 2030, fecha para la cual la Unión Europea se ha propuesto reducir un 30% las emisiones de CO₂. Al mismo tiempo, en los países desarrollados se construyen dos nuevas plantas térmicas de carbón cada semana.

La única manera de hacerlas viables es incentivar a los emisores mediante el comercio de derechos o reducir las emisiones directamente con la aplicación de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ (CAC) que se están poniendo a prueba.

Acudir al mercado de emisiones cada vez será más caro, de manera que la industria está a la espera de ver qué tecnología CAC sale más barata para aplicarla en sus instalaciones. En Europa, al menos no podrán funcionar nuevas térmicas si no aplican mecanismos de captura y almacenamiento.

El coste de las nuevas plantas supone un encarecimiento del 30% y el 35% sobre el de una convencional. “Cualquier mejora no sale gratis”, precisa Juan Carlos Ballesteros, subdirector de I+D de Endesa. “Pero después de una curva de aprendizaje cara tendrá que haber una caída muy importante de precios, como ha ocurrido con los costes de las energías renovables”.

En el *mix* de fuentes energéticas, el carbón tiene mucho que decir. Casi todos los principales países del mundo cuentan con grandes reservas. Es un recurso muy atomizado, una condición “muy buena” para la seguridad energética y la estabilidad de precios. En Estados Unidos aporta el 50% de la electricidad, un 80% en Australia o China, y un 30% en Europa. Los expertos creen que quizá transcurran décadas en la transición del uso del carbón, pero están convencidos de que, con las nuevas tecnologías, volverá a jugar un papel protagonista. ■

generado por la térmica que opera en Logannet, Escocia.

Scottish Power e Iberdrola pretenden convertirse en un referente mundial de la tecnología de captura de CO₂, ya que su iniciativa será la primera de estas características ubicada en Reino Uni-

do, capaz de procesar los 1.000 metros cúbicos de emisiones por hora que genera una térmica ya en funcionamiento.

En mi finca, no

La francesa Total lleva años ensayando en Lacq (Pirineos occidentales) una

experiencia de captura, transporte y almacenamiento de CO₂, y en el mar del Norte, desde 2004, BP y StatoilHydro están inyectando en el subsuelo, del que extraen hidrocarburos, el CO₂ generado en el proceso de explotación.

Por su parte, la eléctrica sueca Vattenfall, que opera en diversos países europeos, da los primeros pasos en Brandenburgo, al este de Alemania, para la construcción de un sumidero de CO₂. Vattenfall dispone de una planta piloto CAC y pretende construir una nueva de demostración en Jämschwalde, cerca de Berlín en la antigua Alemania del Este, y trasladar las emisiones que genere a un almacén situado a 142 kilómetros al norte bajo dos pequeñas poblaciones en la región de Brandenburgo.

Las autoridades locales no le han dado permiso. Activistas del entorno extendieron entre la población el bulo de que el proyecto generaría los mismos efectos que las emisiones de CO₂ desprendidas de un cráter bajo el lago Nyos en Camerún, que en 1986 causaron la muerte a 37 cameruneses y afectaron a casi 2.000 residentes de los alrededores. Según relataba a *The Wall Street Journal* un ingeniero de minas encargado de la campaña de explicación del proyecto de Vattenfall a los vecinos de Brandenburgo, “si en Alemania existen más de 40 depósitos de gas, muchos de ellos bajo zonas residenciales, y todas sus casas están recorridas por conducciones de gas ¿cómo no van a aceptar los almacenamientos de CO₂ que es inerte y mucho menos peligroso?”. ■



Así será la planta de captura de CO₂ en Cubillos del Sil (León).



Planta de almacenamiento geológico de CO₂ en Weyburn, Canadá.

*La misión
científica
de la Agencia Europea
del Espacio busca
desvelar la formación
de las primeras
estructuras
del cosmos*

***'Herschel
y 'Planck',
dos telescopios
para retroceder
hasta el origen***

Imagen del interior de un cúmulo de formación de estrellas, que se encuentra en la constelación Águila, tomada por el telescopio *Herschel*.

Produce vértigo pensar que algún día se llegará de verdad a descubrir cómo empezó el universo. Desde luego, la comunidad científica se está esforzando al máximo por desvelarlo. La Agencia Europea del Espacio (ESA) lanzó en 2009 dos telescopios espaciales para investigar qué ocurrió hace 13.700 millones de años, cuando el cosmos empezó a expandirse, y también para aclarar aspectos clave, aún misteriosos, de los sucesos posteriores, por ejemplo, la formación de las primeras galaxias.

■ POR **Mónica Salomone**, PERIODISTA CIENTÍFICA.

LOS TELESCOPIOS SE LLAMAN *Herschel* y *Planck*. Tras su lanzamiento, juntos en el mismo cohete Ariane en mayo de 2009, *Herschel* y *Planck* se separaron y cada uno emprendió su viaje hasta un punto virtual a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, una región donde la gravedad del sistema Tierra / Luna y la del Sol se anula y en la que los satélites quedan *colgados* en el espacio —aunque siempre moviéndose en una trayectoria circular—. Este lugar, el *segundo punto de Lagrange*, es uno de los balcones con mejores vistas al universo, sin ruido alguno procedente de las emisiones de nuestro planeta.

Una vez allí, ambos telescopios estrenaron sus detectores. *Planck* se dedica a observar un objeto muy especial, una luz que llena todo el cielo y que fue emitida poco después de la gran explosión, cuando el universo empezó a expandirse, el famoso Big Bang. Los cosmólogos usan a menudo una metáfora arqueológica: la radiación que detectará *Planck* viene a ser un fósil del Big Bang, y como tal contiene una valiosísima información sobre la infancia del cosmos. Es esa la información que debe hallar *Planck*.

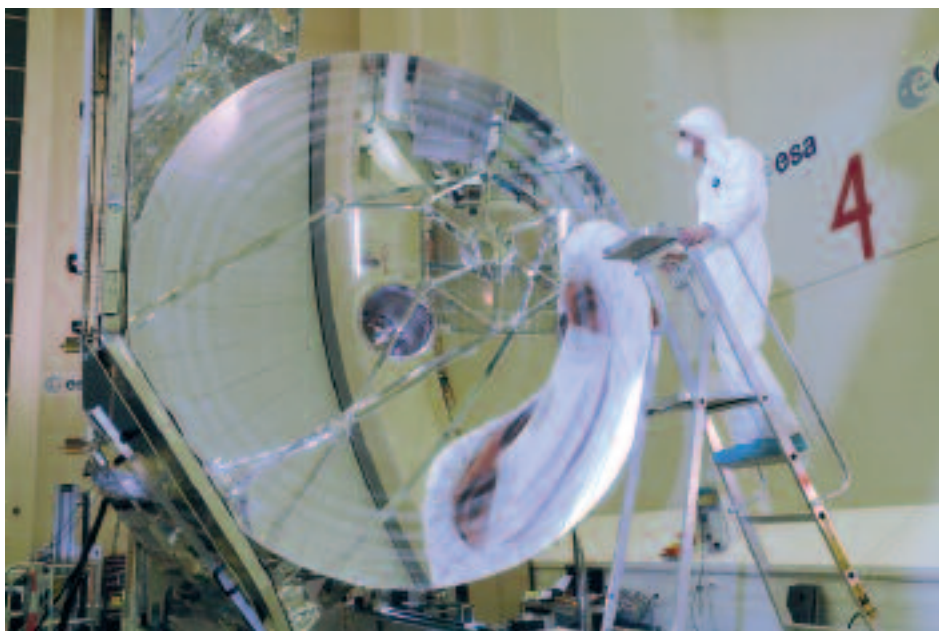
Herschel, por su parte, con su espejo de 3,5 metros de diámetro, es el mayor telescopio espacial jamás lanzado. Sus primeras imágenes, tomadas el pasado mayo, “son simplemente espectaculares”, afirma emocionado José Cernicharo, investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y científico de la misión *Herschel*. Este telescopio no sólo es más grande que sus antecesores. También ‘ve distinto’: sus instrumentos, los más

sensibles de su clase desarrollados hasta ahora, detectan la luz infrarroja que emiten los objetos astronómicos, invisible para el ojo humano pero cargada de un tipo de información que los científicos ansían obtener.

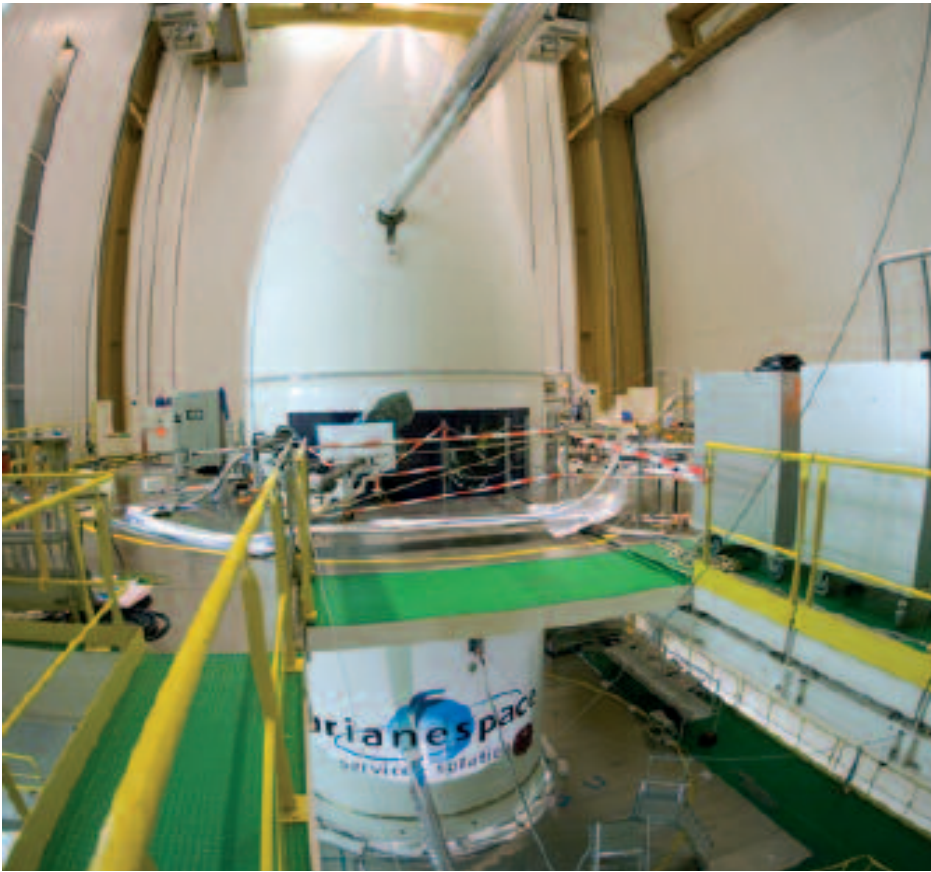
Una de las maravillas de la astronomía es que el cielo muestra un rostro diferente en función del tipo de radiación que perciba el observador. Todos los astros emiten luz, pero cada uno lo hace con mayor intensidad en una determinada longitud de onda: microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X, rayos gamma... Todo es radiación electromagnética, luz, pero de diferente energía. Cuando se observa en el infrarrojo, los objetos que más brillan son precisamente aquellos que para el ojo humano —capaz sólo de detectar radiación de longitud de onda

llamada lógicamente *visible*— permanecen opacos: los objetos más fríos, y los que están envueltos en polvo.

“*Herschel* nos proporciona una nueva visión del universo en el rango de las longitudes de onda del infrarrojo lejano y en ondas submilimétricas”, explica Pedro García Lario, astrónomo de la ESA en el Centro de Operaciones Científicas de *Herschel* en ESAC (Centro Europeo de Astronomía Espacial), en Villanueva de la Cañada (Madrid). “Gracias a sus gafas infrarrojas, *Herschel* estudiará los objetos más fríos del universo: desde los cometas helados que viven en los confines de nuestro Sistema Solar, hasta las galaxias más lejanas y primitivas formadas poco después del Big Bang, pasando por las nubes de gas y polvo donde se forman nuevas generaciones de estrellas”, continúa García Lario.



El espejo del *Herschel* permitirá recoger luz de fuentes más lejanas y débiles.



A la izquierda, el cohete Ariane en el que los telescopios *Herschel* y *Planck*, a la derecha, viajaron al espacio.

En busca de las primeras galaxias

De entre las tareas asignadas a *Herschel* hay algunas que tienen especialmente en vilo a los astrónomos. Una es estudiar la formación de las primeras galaxias, una cuestión clave en la astrofísica actual. La historia se conoce sólo a muy grandes trazos. Se sabe que unos 300 millones de años después del Big Bang el universo debía de estar poblado por grumos de materia que fueron atrayéndose entre sí y creciendo durante cientos de millones de años. Unos mil millones de años después del Big Bang ya debían de haberse formado las primerísimas galaxias, unas estructuras muy difusas, pequeñas y sin forma definida, con pocas pero enormes estrellas —de cientos de veces la masa del Sol—.

“No tenemos muy claro cómo eran esas primeras galaxias. Con los telescopios actuales, antes de *Herschel*, hemos logrado retroceder mucho en el tiempo, pero no hemos llegado a la época de su formación. Con *Herschel* esperamos llegar justo a la época en que debieron de

formarse las primeras estructuras”, explica Cernicharo.

¿Por qué con *Herschel*? Por su gran espejo, que le permitirá recoger luz de las fuentes más lejanas y débiles, y por su capacidad para ver en el infrarrojo. “La luz de los objetos más lejanos, que son también los que más atrás están en el tiempo y más próximos al origen del universo, está desplazada hacia el extremo rojo del espectro electromagnético. Eso hace que *Herschel* sea idóneo para observar objetos muy lejanos —prosigue Cernicharo—. Pero observar en infrarrojo tiene otra ventaja, y es que permite atravesar las nubes de polvo, que son opacas para los telescopios que sólo detectan luz visible. Esto es importante, porque las primeras galaxias contienen grandes cantidades de polvo”.

Laboratorios cósmicos

La otra gran habilidad de *Herschel* es la astroquímica, el análisis de la evolución química del cosmos mediante la detección de moléculas. Resulta que casi todos los elementos químicos de la tabla periódica

han sido fabricados en el corazón de las estrellas. Pero no sólo eso. Muchas, muchísimas de las moléculas, resultado de las combinaciones de esos elementos químicos, también proceden de las estrellas y sus alrededores. O, más en general, del espacio.

Las nubes moleculares en el espacio entre las estrellas, el gas y el polvo que rodean las estrellas moribundas o el material que orbita en torno a estrellas recién nacidas son activos laboratorios de química espacial. El estudio de qué ocurre en estos laboratorios es un área relativamente nueva en la astronomía por la falta, hasta ahora, de los instrumentos adecuados. Con *Herschel* se llena una parte importante de ese vacío: un gran número de moléculas emiten precisamente en el infrarrojo lejano, el tipo de luz que verá este telescopio.

El estudio de la química espacial es útil para investigar desde el origen de la vida en la Tierra a la formación de planetas. Un ejemplo concreto: los cometas. Son bolas de hielo sucio de composición química muy parecida a la de la



Un collar de perlas en el espacio profundo

Herschel, en su corta vida operativa, ha descubierto ya que en el plano de nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay mucha más actividad de la esperada. Es una región oscura y fría en la que, sin embargo, se están formando numerosas estrellas nuevas. Su brillo, captado por *Herschel* al observar la región en longitudes de onda del infrarrojo lejano, convierte a los jóvenes astros en “perlas en un collar cósmico”, dice la ESA en una poética nota de prensa.

El pasado 3 de septiembre *Herschel* apuntó su telescopio a una enorme región de gas frío en la constelación de la Cruz del Sur, cerca del plano galáctico, a miles de años luz de la Tierra. Tras un cierto tiempo de exposición, *Herschel* obtuvo imágenes en cinco longitudes de onda infrarrojas, como la que aparece debajo de estas líneas, que han permitido a los científicos conocer la distribución del gas en función de su temperatura: en las imágenes ya tratadas, el rojo se corresponde con el material más frío y el azul con el más templado. Además, los científicos han podido apreciar, como nunca antes, la cantidad y composición química del material, y determinar si está colapsando para formar estrellas —las estrellas nacen cuando el gas y el polvo de una nube se aglomeran y generan un núcleo más denso, que actúa como centro de gravedad y atrae así a más y más gas y polvo—.

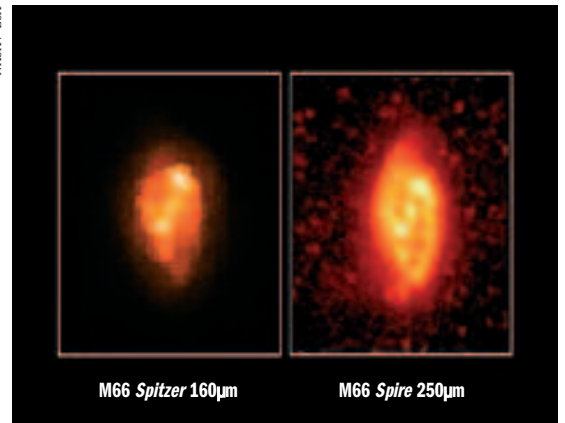
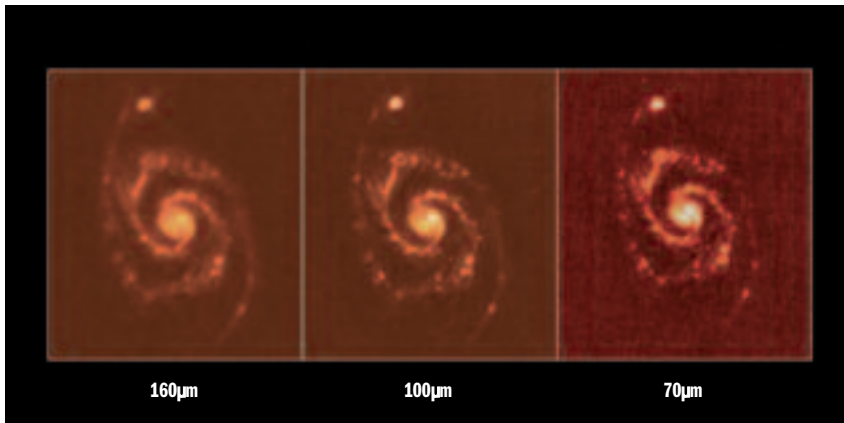
Nadie se esperaba, explica la ESA, que estas regiones tan frías mostraran tanta actividad de formación estelar. Pero, efectivamente, el material en las nubes se está condensando y formando filamentos interconectados, que brillan en el infrarrojo iluminados por las estrellas recién nacidas. ■

nube de material que dio origen al Sistema Solar, hace unos 4.500 millones de años”, explica Bruno Merín, astrónomo de la ESA en el Centro de Operaciones Científicas de *Herschel*. “El estudio químico de los cometas puede aclarar, por ejemplo, si el agua de los océanos la trajeron asteroides o cometas que impactaron contra la Tierra, como se especula actualmente, o si ya estaba en el material del que se formó nuestro planeta”, prosigue el astrónomo de la ESA. Responder a esta cuestión ayuda a estimar la probabilidad de que el proceso sea repetible, y de que, por lo tanto, pueda haber vida en otros planetas.

Otras preguntas relacionadas con la astroquímica tienen que ver con el propio enriquecimiento químico del universo. “Se sabe que las primeras estrellas en las primeras galaxias se formaron principalmente a partir de hidrógeno, helio y litio. “Los elementos más pesados, que son la base de toda la biología, fueron creados en el interior caliente de las estrellas y diseminados por el medio interestelar al morir éstas. Este proceso



Imágenes tomadas por *Herschel* en la constelación Cruz del Sur.



Imágenes tomadas a diferentes longitudes de onda de las galaxias M51 —“la galaxia remolino”— y la M66.

en cadena enriqueció gradualmente el medio interestelar hasta conducir al universo actual”, señala Merín.

Una ‘nevera’ en el espacio

Herschel tiene otra peculiaridad tecnológica, además de su gran espejo: sus detectores deben permanecer enfriados a temperaturas muy próximas al cero absoluto, -273 °C . La razón es que algunos de los objetos que emiten en infrarrojo, y que *Herschel* debe observar, son “tan extremadamente fríos, a entre -268 °C y -223 °C , que necesitamos detectores que operen a temperaturas incluso inferiores para que su emisión quede registrada apropiadamente”, dice García Lario. ¿Cómo se consigue eso? Pues prácticamente metiendo los detectores de *Herschel* en un gran termo con más de 2.000 litros de helio líquido superfluido. “Esta inmensa y gélida nevera forma parte de la carga útil del satélite, acompañando al propio telescopio en su misión”, explica García Lario.

El helio líquido se evapora poco a poco, y es, por tanto, lo que determina la vida útil del satélite. Cuando se termine, y el telescopio y los detectores se calienten, se acabó *Herschel*. Los investigadores deben darse prisa en trabajar. “El helio líquido necesario para refrigerar los instrumentos no durará más de tres años o tres años y medio; así que hay que estar preparados para optimizar el tiempo”, comenta Cernicharo.

Herschel y *Planck* operarán de modo distinto. En el caso de *Herschel*, los científicos de todo el planeta mandan sus propuestas de observación, que son eva-

luadas por un comité de expertos; a las mejores se les asigna un tiempo de observación, de forma que, esencialmente, la agenda de trabajo del telescopio se configura en función de las peticiones de los astrónomos. El telescopio *Planck*, en cambio, tiene su tarea definida de antemano. *Planck* debe, sencillamente, hacer varios barridos totales del cielo midiendo su temperatura. La razón es que *Planck* concentra su trabajo en un único objeto, la luz fósil del Big Bang.

Midiendo el eco del Big Bang

El nombre técnico de esa luz es *radiación de fondo de microondas* (CMB en sus siglas en inglés). La radiación de fondo fue descubierta por casualidad en 1964. Es una luz —que, de nuevo, el ojo humano no ve, pero que sí registran los detectores de microondas— que llena todo el cielo, como si fuera un papel de pared sobre el que cuelgan todos los demás astros. Se averiguó pronto que se trataba de la primera radiación que pudo viajar libremente por el espacio después del Big Bang, una especie de onda de choque, de eco de esa gran explosión.

En las últimas décadas, los investigadores han descubierto que en la radiación de fondo hay minúsculas variaciones de temperatura, como si hubiera grumos en un papel de pared que, por otra parte, es muy uniforme. Lo bonito es que, según cómo sean esas variaciones de temperatura, los astrofísicos deducen la edad del universo, su tasa de expansión, de qué clase de materia está hecho... e incluso cómo fue su principio. Gracias al estudio de la radiación

de fondo hoy está claro que el universo tiene 13.700 millones de años, y que está compuesto por alrededor de un 5% de materia normal —como la que conocemos—; de un 20% de materia oscura y de un 75% de energía oscura (qué son la materia y la energía oscuras es otra cuestión).

Pero queda mucho más por saber, y ésta es la misión de *Planck*. “*Planck* medirá las minúsculas variaciones en la temperatura del universo como el termómetro más sensible jamás lanzado”, explica Jan Tauber, jefe científico de la misión. Los grumos en la radiación de fondo son tan pequeños que *Planck* debe poder detectar diferencias de temperatura de millonésimas de grado.

Aunque parezcan misiones muy distintas, hay una continuidad entre *Planck* y *Herschel*. Las variaciones de temperatura que detectará *Planck* son en realidad huellas de los primerísimos, pequeños, conglomerados de materia que a lo largo de cientos de millones de años crecerán hasta convertirse en las primeras galaxias. Esas primeras galaxias que verá *Herschel*.

En cualquier caso, lo que más fascina a los astrofísicos es que ambas misiones pueden abrir la puerta a hallazgos del todo inesperados. *Herschel*, con sus detectores de infrarrojo lejano, verá una cara del cielo del todo nueva; *Planck*, con su altísima sensibilidad, se acercará más que nunca al momento del origen. “Cabén grandes sorpresas —afirma Cernicharo—. Tendremos resultados inesperados y del todo espectaculares”.

Seis meses invirtió el explorador extremeño Francisco de Orellana en descender 5.000 kilómetros del Amazonas hasta llegar al Atlántico. La epopeya fue descrita por el fraile Gaspar de Carvajal. El relato de aquella gran aventura describe no sólo las penalidades, sino la riqueza forestal y de especies del ecosistema de mayor biodiversidad de la Tierra. Con el paso de casi cinco siglos, entre aquella realidad y la actual hay un abismo. La cuenca del Amazonas ha perdido un 40% de su superficie, apenas quedan indígenas, muchas especies están amenazadas y la deforestación para destinar territorio a la ganadería y la agricultura continúa a velocidad frenética, incrementando las emisiones de CO₂. Si a ello se une el cambio climático, en unas décadas el gran pulmón del planeta podría terminar siendo una sabana.

■ POR **Gustavo Catalán**, PERIODISTA AMBIENTAL | FOTOGRAFÍAS: **J. Ferrer**, ASOCIACIÓN CULTURAL TRUJILLO 2011.

*En 1542, Orellana
descubrió el río más
caudaloso del mundo,
hoy amenazado
por la deforestación*

El legado de la 'conquista' del Amazonas

EN 2011 SE CELEBRARÁ EL QUINTO centenario del nacimiento de Francisco de Orellana en la localidad cacereña de Trujillo. Este extremeño navegó en 1542 por primera vez el río más caudaloso del mundo, al que puso nombre: Amazonas.

Fue una gran gesta y el descubrimiento para Occidente del mayor ecosistema tropical del planeta: contenía más de 1.000 millones de hectáreas, siete millones de indígenas, 120.000 especies de plantas, 2.000 de peces de agua dulce, 1.000 de aves y 350 de mamíferos.

El llamado *pulmón del planeta* fue descrito por el fraile dominico Gaspar



Busto de Francisco de Orellana, en Trujillo (Cáceres).

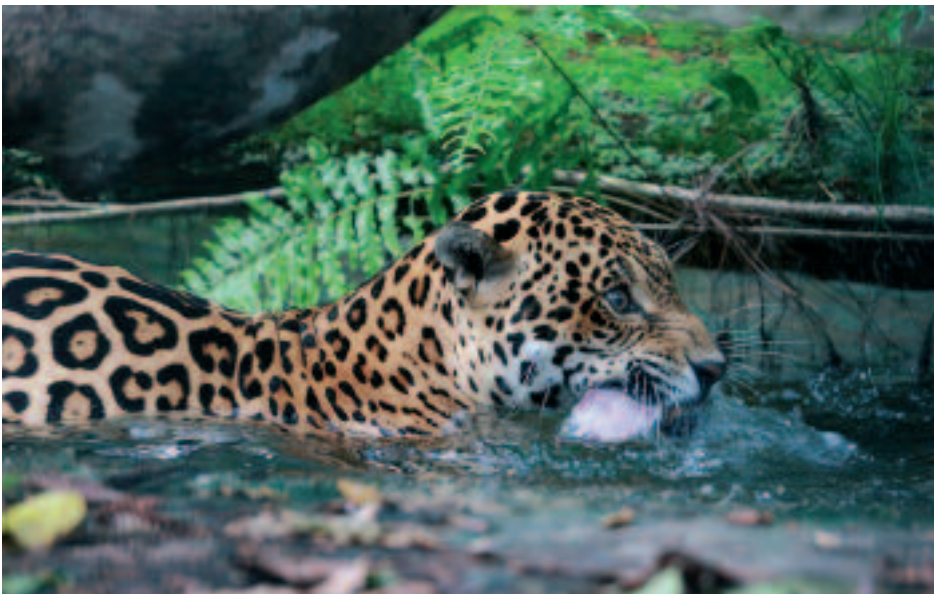
de Carvajal en su narración de aquella increíble epopeya: “Había tortugas en corrales y albergues de agua, mucha car-

ne y pescado, y esto tanto en abundancia que había para comer un real de mil hombres al año...”. Gaspar de Carvajal no era un experto para describir con precisión la inmensa biodiversidad de la cuenca amazónica, pero de sus textos se extrapola la exuberante abundancia de todo cuanto se quiera imaginar.

La expedición de Orellana buscaba El Dorado y la canela. Querían enriquecerse rápidamente con el oro y las especias que creían que encontrarían. No hallaron ni lo uno ni lo otro. Entonces no se buscaba ni petróleo ni madera, tampoco tierras vírgenes ni agua dulce; no se valoraba la biodiversidad que hoy es origen de nuevos fármacos y for-



Mujer perteneciente a la etnia matis, que vive en la Amazonia de Ecuador.



El jaguar es el mayor felino de la Amazonia. En la imagen, un ejemplar con una presa en la boca.



Un armadillo a la venta en el mercado de Iquitos (Perú).

mas de vida, y los amerindios eran considerados siempre enemigos a los que primero engañar, luego robar y matar si era preciso.

Cinco siglos después, de aquella impresionante selva tropical queda el 60% y tan sólo 180.000 amerindios dispersos por la selva en condiciones de vida muy precarias, diezmados por enfermedades, matanzas y falta de territorio. Muchas de las especies se encuentran en regresión, las tortugas que menciona el dominico están en peligro de extinción y la selva mengua doce hectáreas cada día, víctima de la tala y la quema incontrolada.

Los 49 hombres que acompañaron a Orellana a lo largo de 5.000 kilómetros —de los 6.500 del río— pasaron grandes penalidades, enfermedades y mucha hambre, pese a la gran cantidad de animales, peces y frutos. “A falta de otros mantenimientos, vinimos a tan gran necesidad que no comíamos sino cueros, cintas y suelas de zapatos cocidos con algunas yerbas, de manera que era tanta nuestra flaqueza que sobre los pies no nos podíamos tener”, escribe el fraile.

Los exploradores no sabían cómo capturar las presas, a pesar de tener trabucos y ballestas. Sin embargo, los nativos tenían sus propias armas que, aunque podrían parecer ancestrales, eran de gran eficacia. Llevaban viviendo en comunión con su medio desde miles de años atrás y conocían cuándo recolectar frutos o cómo cazar determinadas especies. Por eso, Gaspar de Carvajal describe con profusión las numerosas ocasiones en que los indios les sacaron de sus penurias alimenticias: “...y comenzaron a sacar de sus canoas muchas perdices como las de nuestra España, sino que son mayores, y muchas tortugas que son tan grandes como adargas, y otros pescados”.

El territorio enferma

“Los indios ya tenían conquistada la Amazonia; son los que la cuidaron. Vivían sin problemas en el mayor paraíso biológico del planeta. Construyeron grandes infraestructuras y edificaciones para sus

Amazonia, nueve países unidos por un mismo territorio.



La Amazonia en cifras

- 180.000 amerindios viven en 215 comunidades en Brasil. Otros 200.000 sobreviven en condiciones miserables en las ciudades.
- Se calcula que hay unas 40 tribus no contactadas, pero entre todas no superan más de dos millares de personas.
- 38 millones de ejemplares de especies animales salen ilegalmente cada año de la selva. Sólo el 10% llega vivo a su destino.
- La Amazonia posee el 40% de la biodiversidad terrestre.
- Los 100.000 kilómetros de ríos de la cuenca contienen el 20% del agua dulce del planeta.
- 56.000 trabajadores viven en régimen de esclavitud en los más de 1.500 campamentos madereros, según la Oficina Internacional del Trabajo (OIT).



En esta curva del río Yasuni se ve la densa selva amazónica; así se la encontraron los primeros exploradores.

ceremonias. Sin embargo, han sufrido un gran impacto y se ha producido una gran diáspora por los grandes abusos que han sufrido”, declaró recientemente Thomas Lovejoy, biólogo tropical con 44 años de experiencia en la selva amazónica, recientemente galardonado por la Fundación BBVA con el Premio de Ecología Fronteras del Conocimiento. Sus palabras reivindicaron la cultura indígena y avanzaron las graves amenazas que penden sobre el gran pulmón del planeta, en las jornadas organizadas por la Asociación Cultural Trujillo 2011, en el marco del V Centenario del nacimiento de Orellana.

El científico asegura que la Amazonia sufre de una grave enfermedad que él denomina acronecrosis, que no es otra cosa que la ruptura del ciclo hidrológico entre la selva y la atmósfera por la que esta última recibe las grandes cantidades de humedad que evapotranspira la selva y que luego descarga en forma de lluvias de la misma intensidad. Ese ciclo está a punto de romperse ante el avan-



En el este de Ecuador existen más de mil pequeñas balsas de vertidos de petróleo, como la de la imagen, que contienen restos del combustible extraído. Acuíferos y ríos están contaminados con hidrocarburos. A la derecha, un operario tala una ceiba con una motosierra.

ce de la destrucción de la selva por múltiples motivos: su colonización desde las redes de carreteras que penetran hasta lo más profundo, la intensa deforestación, la búsqueda de petróleo, la minería del oro, la captura de animales como mascotas, la biopiratería y la intensificación de la agroindustria y la ganadería. La Amazonia está siendo devorada ante nuestros propios ojos.

Lovejoy no es nada optimista respecto al futuro. “Lo peor no es la deforestación, sino que no se está haciendo nada para detenerla. Todavía no se entiende que no es un lugar al que llegar y coger sin más lo que necesitas. La Amazonia es un lugar para el estudio, no para la explotación”.

Viajar a lo más profundo de la selva, penetrando en canoa durante varios días por alguno de los múltiples riachuelos —*garapés* en portugués— puede dar cierta idea de lo que Orellana y sus hombres se encontraron; un lugar donde la luz no penetra por la abundante vegetación, donde caminar es una tarea lenta porque las piernas se enredan entre las ramas y los pies marchan sobre un suelo escurridizo, en el que la humedad es casi del 100% y el calor mantiene la sudoración al máximo.

No obstante, en ese medio y con todos los sentidos en alerta se pueden ver desde las más coloridas y gigantes mariposas a un jaguar negro cruzando un río de rama en rama por el dosel de la floresta; oír los intensos cantos de las aves o los aullidos de los monos; percibir olores desconocidos y penetrantes; sentir que eres minúsculo en esa inmensidad. El bosque tropical es bello y a la vez inquietante. Parece infinito pero ya se sabe que también es frágil.

“Ya no encontramos animales para cazar, los ríos no llevan peces, nuestros niños padecen enfermedades desconocidas y nuestras mujeres se han vuelto estériles. Esto antes no pasaba. Por eso reclamamos ayuda y una reparación para tanto daño causado. Cuando Orellana llegó allí hace 500 años, la selva estaba limpia. ¿Y ahora, qué?”, se lamenta Ricardo Awanach, de la tribu ecuatoriana de los sohar (jíbaros).

Awanach proviene del oriente ecuatoriano, donde la compañía Chevron está explotando el petróleo desde hace décadas. Tras llevarse el crudo por medio de un oleoducto de 200 kilómetros, ha dejado un rastro de contaminación alarmante en forma de más de 300 balsas de residuos que han contaminado ríos y

acuíferos. La localidad de San Carlos tiene el mayor índice de cáncer del mundo: 100 de sus 1.000 vecinos lo padecen. Un informe de Medicus Mundi avala ante los tribunales estadounidenses que más de 30.000 personas de la cuenca del río Napo padecen enfermedades vinculadas a la contaminación, según el responsable de esta ONG, Raúl Aguado.

Talar y talar

Aún peor que la extracción del petróleo es la de madera. Por ahí penetra la mayor amenaza que afecta a la Amazonia. Desde hace más de un siglo se tala de manera insostenible. Los leñadores abaten primero los árboles más cotizados, luego los más grandes y, finalmente, todo lo que pueda ser consumido en el insaciable mundo rico. Pese a las leyes internacionales, la exportación ilegal de madera sigue adelante. Por más que se anuncie triunfalmente la persecución de este tráfico ilícito por parte de los nueve países que tienen territorio en la Amazonia, poco cambia. España es uno de los destinos de esa madera. Nuestra industria del mueble y de la construcción devora biomasa forestal amazónica desde siempre. El caso más paradigmático es el de la ampliación del Museo Reina Sofía de



A la derecha, Eliceo Knopic, agricultor de Santarém (Brasil), muestra las semillas de soja que ha recogido de las tierras que ha alquilado y que venderá a las multinacionales del sector. El cultivo se realiza en tierras deforestadas y ganadas a la selva.

Madrid. Gran parte de la madera utilizada procede del mercado ilegal, como se denunció tras su inauguración en 2001. Allí sigue expuesta sin que sea una obra de arte, aunque sí de la naturaleza.

Más de 20.000 kilómetros de carreteras ilegales cruzan la Amazonia. De ellas parten pistas y de ellas, sendas y trochas por donde avanzar talando el bosque tropical. Tras los madereros llega otro ciclón: la quema de cualquier vestigio vegetal para crear pastos. Brasil es el mayor productor mundial de carne y cuero. Más de 200 millones de vacas pastan en lugares que antes eran selva. La transformación del territorio ha sido descomunal. Se calcula que desde 1992 se han destruido cerca de 230.000 kilómetros cuadrados. Alguna de las hamburguesas que hemos comido o algún par de zapatos que hemos calzado seguramente han llegado desde la ex Amazonia.

Agroindustria, el gran peligro

Pero el huracán al que más teme Lovejoy es aún más devastador: la agroindustria. Tras el paso del ganado, las tierras se roturan y se dedican a grandes monocultivos, principalmente soja, maíz o caña de azúcar, destinados a la ganade-

ría y a abastecer al mundo desarrollado para su transformación en los mal llamados biocombustibles. Sólo Brasil exporta 50 millones de toneladas de soja al año y gran parte de ellas son transgénicas.

La destrucción de la selva amazónica tiene un impacto global. Brasil es el cuarto emisor mundial de dióxido de carbono (CO₂). El 70% de sus emisiones provienen precisamente de la quema de sus masas forestales. A nivel mundial, la quema de los bosques para transformarlos en cultivos y pastos significa el 20% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. "Al ritmo actual, la Amazonia perderá el 40% de su superficie en unas décadas. Esto supondría un aumento global de la temperatura de 1,5 grados centígrados y una reducción de una cuarta parte de las precipitaciones en todo el mundo. Un estornudo en la Amazonia supone una gripe en el resto del planeta", asegura Miguel Ángel Soto, responsable de bosques de Greenpeace.

El peligro de sabanización del mayor bosque tropical del planeta es algo que ya aventuran los científicos. Un reciente informe publicado en la revista *Science* sobre la sequía de 2005

revela que ese año la selva no sólo no absorbió carbono, sino que emitió cinco millones de toneladas por la muerte y menor actividad biológica de su vegetación. La acronecrosis de Lovejoy está en curso. La Amazonia empieza a sufrir sequías severas como nunca se han conocido.

Brasil quiere detener la deforestación. Ha propuesto un plan para contenerla en un 80% en el marco de su iniciativa de reducción de emisiones presentada en la Cumbre del Clima de Copenhague. En diciembre se acordó definitivamente un nuevo plan adicional al Protocolo de Kioto, denominado REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques), por el que los países industrializados compensarán económicamente a los que conserven sus bosques, normalmente países con economías débiles o emergentes.

Una vez que entre en vigor REDD, la conservación de los ecosistemas tropicales estaría en vías de solución; pero si no es así o se retrasa su implantación, el bosque primigenio que descubrió Orellana entrará en una espiral de destrucción que nos arrastrará a todos los seres vivos hacia un planeta mucho más caliente, seco e irreconocible. ■

Hace tan sólo un par de décadas, las Fuerzas Armadas empleaban un sistema tan simple como poco ecológico para vaciar sus polvorines de la munición caducada: verterla al mar.

Entre 1993 y 1994 se hundieron en el golfo de Cádiz y frente a las costas gallegas un total de 8.500 toneladas de explosivos. Desde 1995 la Convención de Londres prohíbe confundir el mar con un basurero y los ejércitos de todo el mundo, entre ellos el español, han buscado fórmulas menos nocivas para desprenderse de sus excedentes. ■ POR Julián Pérez, PERIODISTA.

Las Fuerzas Armadas realizan una gestión sostenible de sus excedentes y de los residuos que genera su actividad

GUERRA A LOS RESIDUOS MILITARES

LA GUERRA Y LAS MANIOBRAS SON el método natural para destruir la munición. Pero no es necesario llegar a la confrontación. Existe otra forma que consiste en desbaratar los proyectiles, reciclando los componentes aprovechables e incinerando los demás. Para ello se sigue el siguiente proceso: los proyectiles se llevan a la fábrica, se desarman, se les extrae el componente explosivo, se estudia si está en condiciones y se vuelve a cargar, reduciendo así su impacto ambiental. Si se dan condiciones de inestabilidad química que obliguen a deshacerse de la

masa explosiva, se procede a incinerarla en unas cámaras especialmente preparadas y dotadas de los suficientes filtros como para que la emisión a la atmósfera sea nula. En cualquier caso, “España no arroja restos de munición caducada en fosas marinas, cumpliendo así los protocolos internacionales y convenios como el Marpol o el OSPAR”, explica el coronel Isidoro Anadón, jefe de Área de Medio Ambiente del Ministerio de Defensa.

En cuanto al resto de maquinaria de guerra, los vehículos de combate acorazados —carros de combate, transportes,



oruga, piezas de artillería y máquinas de ingenieros—, una vez que las Fuerzas Armadas las dan de baja, pasan a los centros de mantenimiento de los ejércitos donde sufren un proceso denominado desmilitarización. En primer lugar, se les retira todo el material útil y después se extrae aquello que pueda resultar tóxico o peligroso, como baterías, aceites y otros líquidos. Cuando ya están limpios ambientalmente se ponen a disposición de la Junta Liquidadora de Material, que los vende como chatarra a las empresas interesadas en ello.



Cuando las Fuerzas Armadas dan de baja los vehículos de combate, como el tanque que aparece en la imagen, éstos van a un centro de mantenimiento donde se retira el material tóxico o peligroso. Luego se envían a instalaciones de desguace donde se venden como chatarra.

En el caso de las aeronaves pueden darse dos situaciones. La primera es que el avión o el helicóptero que causa baja conserve las cualidades para seguir volando. Entonces, se le retira la licencia de vuelo militar y se vende a empresas civiles nacionales o internacionales, que son las encargadas de gestionar una nueva licencia de vuelo civil. Si el aparato no es apto para volar, puede pasar a formar parte de los fondos de algún museo, o bien venderse como chatarra.

En cuanto a los barcos, una vez que se ha dado la baja en la lista oficial de buques

de la Armada, se trasladan a un arsenal donde se los despoja del armamento considerado todavía útil o peligroso. Luego, como es muy difícil que una empresa compre un destructor o una fragata, este tipo de navíos, una vez preparados, se venden en pública subasta a astilleros civiles, tanto españoles como extranjeros, que los desguazan. Sus piezas suelen llevarse a la industria siderometalúrgica, donde se funden.

Varias asociaciones ecologistas han denunciado por ilegal un cementerio de buques en El Espalmador (Cartagena),

ya que entienden que se han cometido múltiples irregularidades medioambientales. Para el jefe de Área de Medio Ambiente del Ministerio de Defensa, “si hay barcos allí no son de la Armada, sino de alguna empresa que los compró para desguazar y que, por alguna razón, los ha varado allí”. El coronel Isidoro Anadón, añade que no existe constancia documental “de que el Seprona se haya dirigido a nosotros denunciando este hecho, por lo que entiendo que es responsabilidad de las empresas que los han abandonado en ese lugar”.

Buques convertidos en arrecifes

En algunos casos, la Armada ha hundido algunos de sus buques, previa petición del Ministerio de Medio Ambiente, o de alguna comunidad autónoma, con el fin de crear arrecifes artificiales que sirvan de dique y criadero de determinadas especies. Antes de proceder a su hundimiento, los barcos deben pasar un meticuloso control para asegurar que no contaminen el mar. Se desmonta la maquinaria, se vacían las sentinas de carburante y aceites, se lija la pintura de los cascos de madera y se retiran todos los accesorios metálicos.

Tras su limpieza, los barcos se lastran con piedras y se conducen hasta el punto elegido. Es entonces cuando se les abre una vía de agua para que se hundan. Una vez abandonados en el fondo, las especies animales y vegetales comenzarán su colonización.

Por su gran envergadura, las naves hundidas constituyen elementos disuasorios que evitan la práctica de la pesca ilegal de arrastre y atraen a muchas especies marinas que se refugian en ellos. Además, las embarcaciones aprovechadas como arrecifes son muy visitadas por los aficionados al submarinismo.



Arriba, hundimiento de un buque. En esta imagen, el arrecife artificial en que se convierte.

MINISTERIO DE DEFENSA



MINISTERIO DE DEFENSA



Arriba, vertedero clausurado en Baleares. Sobre estas líneas, punto limpio de un acuartelamiento.

Existen, por otra parte, algunas actividades militares que generan residuos específicos. Por ejemplo, los restos de combustibles, en el caso de que los hubiere, tienen su tratamiento individualizado y especializado a través de las mismas empresas que lo suministran, o bien a través de empresas contratadas por el Ministerio de Defensa para la limpieza e inertización de antiguos depósitos de combustibles, vigilando que no se produzcan derrames ni filtraciones al subsuelo. Las Fuerzas Armadas dedican una atención especial a todos aquellos residuos de carácter peligroso. Se ha catalogado más de un centenar de tipos de residuos, que representan diferentes grados de peligrosidad, según informa la *Revista Española de Defensa*. Entre éstos se encuentran las aguas oleaginosas, los aceites de motores o líquidos hidráulicos de automoción, el gasoil contaminado, las baterías, los restos de pinturas y disolventes, los lodos procedentes de depuradoras o de lavaderos de vehículos, las pilas y los anticongelantes. En la mayoría de los casos, sobre todo si se trata de materia altamente contaminante, lo que hacen las Fuerzas Armadas es recogerlos y almacenarlos, y su función termina ahí.

Los centros militares también generan residuos urbanos, biosanitarios, inertes, escombros, etcétera. En cada acuartelamiento existe un punto limpio donde se

clasifican, se separan y se almacenan todos ellos a la espera de que el gestor autorizado proceda al tratamiento adecuado para cada uno de ellos. En eso es semejante a cualquier actividad de una empresa civil o cualquier colectivo. En los puntos limpios, los residuos no pueden ser almacenados más de seis meses. Los que mejor resultado ofrecen son aquellos que están distribuidos en dos áreas: una zona destinada al almacenamiento de residuos no peligrosos, la más amplia, y otra, de al menos el 15% del total de la superficie, para los peligrosos (aceites, fluorescentes, pilas, etcétera). Las sustancias altamente contaminantes deben estar siempre protegidas de la intemperie y depositadas en el interior de construcciones techadas o totalmente cerradas y guardarse en cubetas estancas. Otra opción para almacenar los residuos, en este caso los no peligrosos, sería la de los vertederos controlados donde se depositan escombros, madera o restos de podas forestales, que suelen ser superficies amplias, como la del Campo de Maniobras y Tiro de El Palancar (Madrid). Cerca de una treintena de unidades militares disponen de vertederos.

Misiones internacionales

En cuanto a la política de gestión de residuos en las misiones internacionales, ésta es similar a la que se realiza en territorio nacional. Hay que considerar que donde están los contingentes españoles no existe muchas veces una ley que especifique el tratamiento que se debe dar a los residuos. Por otra parte, las bases o acuartelamientos españoles en el extranjero están ubicados en áreas donde comparten los servicios con otras naciones aliadas. En consecuencia, aquellos residuos de carácter general (basura urbana, biosanitarios, u otros) se gestionan mediante un acuerdo con el resto de las naciones que ocupan la misma base. Hay un acuerdo internacional, el Standard Agreement nº. 7341EP y 2510, que fija, especifica y determina la protección ambiental y la gestión de los residuos en aquellas operaciones militares bajo la responsabilidad y la dirección de la OTAN y, por extensión, las normas se aplican a las actividades militares españolas en el extranjero. ■



MINISTERIO DE DEFENSA

En cada centro militar existe un almacén donde se separan residuos a la espera de su tratamiento.

Estrecha colaboración entre Enresa y las Fuerzas Armadas

Las Fuerzas Armadas están haciendo un notable esfuerzo en la gestión medioambiental basada en el concepto de sostenibilidad, sin afectar para ello a las capacidades operativas. En relación a los residuos radiactivos, éstos se rigen por el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, recurriendo a Enresa y a subcontratistas especializados para retirar las fuentes radiactivas, que en su mayoría, son de baja o muy baja actividad, con excepción de algunas fuentes de media actividad de radiación gamma de cesio-137 y de neutrones de americio-241 / berilio, utilizadas normalmente en equipos para la medición de la densidad y humedad de los suelos.

En el caso del Ejército del Aire, según explica el general de brigada y jefe de la División de Logística del Estado Mayor del Aire, Ignacio Azqueta Ortiz, la mayor parte de las fuentes de baja y muy baja actividad, proceden de válvulas electrónicas presentes en los radares y en fuentes de alimentación o de muestras para la tara de medidores de radiación MR-5, y están basadas normalmente en isótopos, como cobalto-60, tritio H-3, cesio-137 o americio-241. Asimismo, se ha iniciado un amplio proceso para la identificación y catalogación de fuentes de media y baja intensidad para evitar las fuentes radiactivas huérfanas y proceder a su eliminación. En este sentido, se considera muy interesante el programa iniciado por Enresa en el año 2007, a iniciativa del Ministerio de Industria, para la búsqueda y recuperación de fuentes radiactivas huérfanas.

Para el tratamiento y la retirada de estos residuos, las Fuerzas Armadas mantienen relaciones con Enresa, el Ministerio de Economía, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, la Dirección General de Política Energética y Minas, la Subdirección de Energía Nuclear y el Consejo de Seguridad Nuclear, a través de los que se gestionan las preceptivas resoluciones de transferencia de residuos radiactivos, como paso previo a la retirada de los mismos de las instalaciones, manteniéndolos almacenados, controlados y señalizados en sus instalaciones, hasta su recogida. ■

El aprovechamiento alimenticio de los caracoles se remonta a la prehistoria. Los romanos llegaron incluso a cultivarlos en unos recintos especiales (*cochlearias*), extendiendo por diversos países europeos el aprecio culinario por estos animales. En épocas más recientes, y sobre todo en países como Francia, su consumo pasó de ser considerado un hábito de pobres a convertirse en distintivo de las clases más pudientes. Hoy, como ocurre en Cataluña, Andalucía o Aragón, constituyen un alimento muy extendido y asequible, lo que también ha provocado una tremenda presión sobre sus poblaciones silvestres, ya que se ha convertido en una fuente alternativa de recursos económicos en numerosas comarcas rurales.

■ POR José María Montero, PERIODISTA AMBIENTAL.

En España se consumen todos los años alrededor de 18.000 toneladas de caracoles



El caracol común (*Helix aspersa*) se cría en granjas para el consumo humano.

A FINALES DE FEBRERO O PRINCIPIOS DE MARZO, cuando todavía no nos ha abandonado el invierno, comienzan a verse en los mercados andaluces las exquisitas cabrillas (*Otala lactea*), recolectadas, sobre todo, en la provincia de Cádiz. El tiempo soleado favorece la temprana aparición de estos caracoles, muy apreciados en las cocinas del sur peninsular. Dentro del extenso grupo de los gasterópodos (24.000 especies en todo el planeta), las cabrillas, los burgajos (*Helix aspersa*), las chapas (*Iberus gualterianus morfo gualterianus*) y los caracoles chicos (*Theba pisana*) constituyen

elementos primordiales de la gastronomía andaluza, aunque, en realidad, estos animales también forman parte de los hábitos culinarios de otras comunidades autónomas, como la aragonesa, la valenciana o la catalana.

Las estimaciones más fiables sitúan en unas 18.000 toneladas el volumen de caracoles que se consume en España todos los años (prácticamente el doble que en 1986). A juicio de José Ramón Arrébola, profesor del departamento de Fisiología y Biología Animal de la Universidad de Sevilla, “existe una creciente descompensación entre la oferta y la demanda, lo que, en algunos casos, ha

originado una recolecta abusiva e incontrolada y también ha propiciado la importación masiva de este producto”.

Los caracoles que entran en nuestro mercado procedentes del exterior suman cerca de 10.000 toneladas al año, aunque es difícil calcular la cifra exacta. Los compramos en Marruecos, Argentina, Chile o Sudáfrica, países en donde la captura de estos animales, o su cultivo en granjas (helicicultura), se ha convertido en un buen negocio habida cuenta de la demanda que lideran España y Francia. En el país vecino se consumen todos los años unas 65.000 toneladas de estos moluscos, y aunque la helicicultura gala está muy desa-



Arriba, caracoles en el mercado. Más de la mitad de los consumidos en España proceden de la importación.

rollada, las importaciones todavía cubren la mitad de la demanda interna. Algunos países europeos, como Hungría, Polonia o la República Checa, comienzan también a ofertar caracoles de granja, aun cuando en estos territorios no sea éste un alimento muy popular. Las especies que cruzan nuestras fronteras suelen ser *Theba pisana*, *Otala lactea* y *Cantareus aspersus* o *Helix aspersa* —la especie más común, que en Andalucía denominan burgajo y en Aragón llaman pardo—.

La variedad de denominaciones populares que reciben las diferentes especies de caracoles en España da idea de su arraigo gastronómico en múltiples zonas. José

Ramón Arrébola y Ramón Álvarez, especialista del Instituto Aragonés de Antropología, destacan en un trabajo conjunto esta particularidad y señalan, además de las ya citadas, un buen número de especies comestibles y sus correspondientes denominaciones: el judío en Aragón (*Otala punctata*); la vaqueta o caracol de monte o serrano en la Comunidad Valenciana, y caracol blanco en el Maestrazgo turolense (*Iberus gualterianus morfo alonensis*); la vinyala en Cataluña, la xoneta o vaqueta de bancal o d'horta en la Comunidad Valenciana, y cabra en Aragón (*Eobania vermiculata*); el navarriero en Navarra (*Cepaea nemoralis*); la cara-

cola en Aragón, carragina o cargolí en Cataluña, avellanenc en la Comunidad Valenciana, y cargol jueu en Baleares (*Theba pisana*).

Además del consumo en bares y restaurantes, algunos de ellos especializados en este producto, también se anotan importantes celebraciones festivas en torno a estos humildes animales. Así lo destacan Arrébola y Álvarez que, como ejemplo, citan el *Aplec del Cargol*, “fiesta gastronómica por excelencia en Lleida, en la que durante tres días, coincidiendo con el tercer fin de semana de mayo, leridanos y visitantes degustan platos cuyo elemento principal es el caracol, todo ello promovido y organizado por la Federació de Colles”.

Aunque algunos autores consideran que determinadas poblaciones de caracoles autóctonos podrían llegar a desaparecer si no se ordena su aprovechamiento, Arrébola aclara que ésta es una conclusión “difícil de establecer, aunque existan indicios de su veracidad, si antes no se estudia en profundidad la situación real de cada una de las especies”. Sí se conocen casos particulares, añade, “como el del *Iberus gualterianus morfo gualterianus*, al que popularmente llaman chapa, la especie endémica más valiosa de España, que sólo habita en enclaves reducidos de algunas sierras jiennenses, granadinas y almerienses, y que hoy, a pesar de ser comestible y muy apreciado, apenas se recolecta por su escasez”.

En el *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía*, publicado por la Consejería de Medio Ambiente en 2008, el *Iberus gualterianus* se considera “en peligro de extinción”, aun cuando a nivel nacional no se haya dictado ninguna norma que facilite su conservación. Arrébola precisa que dicha especie se ha propuesto “para ser incluida en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, ya que las poblaciones que se han localizado en Sierra de Gádor (Almería), Sierra Elvira (Granada) y Sierra de Jaén, están formadas por pocos individuos y sus áreas de ocupación son extremadamente reducidas”. A diferencia de otras especies de caracoles terrestres, cuya supervivencia se ve amenazada por dife-

Alimento de futuro

Existe un gran desconocimiento entre los consumidores sobre las “excelentes cualidades nutritivas de los caracoles comestibles”, precisa Arrébola. Se ignora, por ejemplo, que es un alimento con un alto contenido proteico, equiparable al de pescados o carnes, y con la casi totalidad de los aminoácidos que nos son esenciales. Al mismo tiempo, su contenido calórico medio es pobre (de 60 a 80 calorías por cada 100 gramos de carne), similar, o algo inferior, al de pescados o carnes. Respecto a estas últimas, continúa, “posee una proporción de grasas generalmente inferior y un contenido en sales minerales superior (más del doble que la carne de bovino o aviar)”.

Aunque a veces se suele considerar un alimento indigesto, la mayoría de los autores que han estudiado las particularidades de estos moluscos justifican dicha característica no tanto por las propiedades de la carne en sí, sino por los hábi-

tos más comunes de preparación, ya que se suele degustar en salsa, con especias de sabor intenso o arropada con un buen picante.

Vistas las propiedades de su carne, José Ramón Arrébola no duda en considerar al caracol como uno de los “alimentos del futuro”. Por un lado, destaca, es un manjar “de fácil digestión y con un bajo contenido en grasas, a la vez que es rico en proteínas y sales minerales de alto valor biológico y, además, se puede criar en granjas”. Esta última ventaja es la que ha permitido a Francia, con un consumo anual de caracoles cercano a las 65.000 toneladas, alcanzar un cierto grado de autoabastecimiento, “y si los franceses lo han conseguido, nosotros también podemos, porque las técnicas pueden trasladarse sin mucha dificultad”, razona este biólogo.

De hecho, hay ya numerosas granjas dedicadas a la helicultura en diferentes puntos del país, y en algunas universidades, como la de Córdoba, se están desarrollando inves-

rentes circunstancias, el *Iberus gualterianus* es el único en el que se cita su recolección, para consumo o coleccionismo, como principal amenaza.

Los estudios realizados por Arrébola ponen de relieve que son numerosas las personas “que han observado un notable descenso de las poblaciones de caracoles terrestres y de los individuos que las componen en relación con décadas pasadas”. Los propios recolectores, añade este especialista, “suelen reconocer que no siempre respetan las épocas de reproducción de los animales, y que no todos distinguen estados de madurez entre los ejemplares”.

La especie más consumida en España es el caracol común (*Cantareus aspersus*), pero los gustos varían según las zonas geográficas. En gran parte del área de influencia mediterránea (Cataluña, sur de Aragón, Comunidad Valenciana y Región de Murcia) existe predilección por los caracoles de tamaño medio-grande como *Otala punctata*, *Iberus gualterianus morfo alonesis* y *Eobania vermiculata*. En Navarra y norte de Aragón se consume la especie *Cepaea nemoralis*. En Andalucía se prefieren los ejemplares de pequeño o mediano tamaño, como *Otala lactea* o *Theba pisana*. Y en el resto de regiones la especie que predomina en los fogones es *Cantareus aspersus*. Algunas especies centro europeas de interés gastronómico, explica Arré-

bola, “como *Helix pomatia* o *Helix lucorum*, están comercializándose en España como auténticas *delicatessen*”.

Una fauna desconocida

A pesar del aprecio que en la cocina tienen algunas especies, los moluscos terrestres eran escasamente conocidos por la comunidad científica hasta hace muy pocos años. En Andalucía, por ejemplo, apenas se tenían datos de algunas poblaciones en enclaves muy limitados y dispersos. La tesis doctoral de José Ramón Arrébola, expuesta en la Universidad de Sevilla a mediados de los años noventa, supuso la primera evaluación fiable sobre la situación de estos animales en la región. Aquel trabajo pionero dio lugar, ya en 1998, al Programa para la Conservación y Uso Sostenible de los Caracoles Terrestres de Andalucía, una iniciativa del Gobierno andaluz liderada por este investigador en compañía de Antonio Ruiz y Ángel Cárcaba, especialistas, como él, de la Universidad de Sevilla.

Gracias a este programa, se pudo diseñar un inventario malacológico terrestre, para cuya elaboración se procesaron unas 6.500 citas en más de 2.000 localidades de la comunidad autónoma. El inventario sirvió, entendiéndolo de forma simplificada, para identificar en suelo andaluz 103 especies de caracoles terrestres, seis de ellas, nuevas en la región. Asimismo,

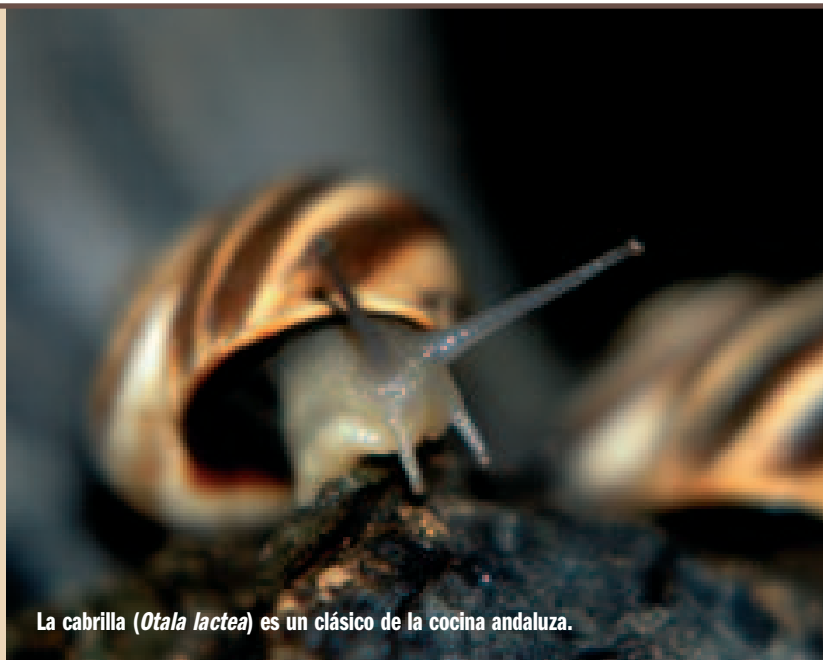
confirmó la presencia de dos especies cuya localización había sido cuestionada, y se descubrieron 12 nuevas para la ciencia. En realidad, el número total de especies podría rondar las 125, ya que aún se está trabajando en la sistemática del género *Iberus*.

Quizá el caso más llamativo revelado en este inventario sea el de *Orculella bulgarica*, el único que los expertos han calificado en “peligro crítico de extinción”, a pesar de lo cual no cuenta con ninguna figura legal de protección. En la actualidad, señala Arrébola, “sólo se conocen en el mundo seis pequeños núcleos poblacionales de *Orculella bulgarica*, en los que la especie vive acantonada, a modo de hábitat-isla, en zonas húmedas y encharcadas”. Existe una cita antigua de un animal vivo de esta especie en las cercanías de Radomir (Bulgaria), anotada en los años sesenta, aunque dicha observación no se ha vuelto a confirmar. Sí se han citado conchas recientes en Bulgaria, Turquía, los Balcanes y el Cáucaso. También en el centro y sur de la península Ibérica se han encontrado fósiles, y todos estos indicios señalan una más que posible distribución circunmediterránea. En Andalucía, precisa Arrébola, “todas las localidades donde se han hallado ejemplares vivos de la especie se encuentran en la provincia de Granada”.

Con esta información se han puesto en marcha acciones orientadas a conocer

tigaciones para mejorar el rendimiento de este tipo de explotaciones. Los catalanes lideran la producción española de caracol de granja al contar con 42 explotaciones dedicadas a su cría. A continuación, figuran Aragón con 15 granjas y Galicia con 13 granjas. Lo curioso del caso es que la cocina gallega apenas incorpora estos animales en su recetario tradicional, por lo que la producción de esta comunidad autónoma suele viajar hasta las mesas del País Vasco y Cataluña.

Un kilo de caracoles se paga entre los ocho y diez euros en los principales mercados, una cifra que oscila en función de la especie y la época del año. Los moluscos de criadero suelen ser más caros que los que se recolectan en el medio silvestre ya que, en contra de lo que pudiera pensarse, soportan gastos de producción importantes y en su alimentación, por ejemplo, hay que recurrir a piensos específicos. ■



La cabrilla (*Otala lactea*) es un clásico de la cocina andaluza.

con mayor precisión el estado de aquellas especies que sufren algún tipo de amenaza y para establecer medidas concretas de conservación. Hay que tener en cuenta que, desde el punto de vista ecológico, y como cualquier otro ser vivo, el caracol cumple importantes funciones en la naturaleza: sirve de sustento a un buen número de animales que lo incorporan en su dieta y actúa como elemento activo en la formación y fertilización del suelo, aireándolo y aportándole nutrientes.

La vida de un caracol terrestre, explica Arrébola, “es una sucesión de fases de actividad y de inactividad como respuesta a las variaciones del ambiente”. Ante la adversidad, los animales seleccionan un lugar protegido, se introducen en el interior de las conchas y, tras reducir al máximo su actividad vital, resisten hasta que las condiciones son favorables. “La salida del letargo viene acompañada por una intensa actividad, durante la cual los caracoles se alimentan, desplazan y, sobre todo, se reproducen”.

Los recolectores deberían conocer la particular biología de este animal para regular su aprovechamiento. Sin llegar a otorgar protección legal a la mayoría de estas especies comestibles, sí que sería necesario, consideran los especialistas, dictar normas que ordenaran esta actividad, al igual que se ha hecho, por ejemplo, con las plantas medicinales. No sólo

está en juego la conservación del recurso, sino también su calidad.

En Andalucía, y debido a las preferencias de los consumidores, la recolección de *caracoles chicos* se concentra entre los meses de abril-mayo y los de julio-agosto. La demanda coincide con la época propicia para capturar a estos animales, tanto por su abundancia en la naturaleza como por las condiciones higiénico-sanitarias que presentan en ese momento de su ciclo vital. Las técnicas de captura, poco selectivas, suelen causar, sin embargo, importantes daños en la vegetación.

No ocurre lo mismo con las cabrillas y burgajos, cuya recolección en el sur peninsular se distribuye a lo largo de todo el año, por lo que no se respetan los momentos más sensibles de su desarrollo ni los parámetros de calidad y salubridad más adecuados. Así, advierte Arrébola, “su consumo es potencialmente peligroso y su explotación, poco racional”. El procedimiento de captura es, en lo que se refiere a estas especies, menos dañino, ya que se suele realizar de noche, con ayuda de una luz y retirando los ejemplares a mano y uno a uno. De esta forma, una persona puede llegar a recolectar hasta cinco kilos de caracoles chicos por hora, mientras que en idéntico periodo de tiempo apenas alcanza el kilo de cabrillas.

Al margen de todo ello, estos moluscos se enfrentan a otras amenazas que

también deberían ser neutralizadas. La de mayor trascendencia tiene que ver con la destrucción y fragmentación de sus hábitats por las continuas alteraciones que el hombre ha ido introduciendo en los espacios naturales. Otros riesgos están asociados al uso de productos químicos en la agricultura, la quema de rastrojos, la desecación de zonas húmedas o los incendios forestales.

En otros países europeos hace tiempo que se dictaron normas para proteger a los caracoles más codiciados. En Alemania, Suiza, Francia o Luxemburgo existe una legislación que ampara a estos moluscos, y que incluye, por ejemplo, el establecimiento de periodos de veda para no interferir en el periodo de reproducción, además de limitar la recolección a los ejemplares adultos. En otros casos, se ha establecido la obligación de contar con un permiso o licencia de recolección, se han creado cotos de caracoles o se ha fomentado las granjas de cría. Esta última opción es para Arrébola la más adecuada, ya que no sería difícil “sentar las bases de una auténtica industria del caracol, capaz de cubrir la demanda existente, generando empleo en zonas rurales y extendiendo la oferta del producto a todos los meses del año y no sólo a aquellos en los que es posible encontrarlo en el medio natural”. ■

Aprobado el anteproyecto de la nueva Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación

EL CONSEJO DE MINISTROS aprobó en marzo el anteproyecto de la nueva Ley de la Ciencia, destinada a sustituir a la Ley de la Ciencia de 1986 que tan buenos frutos está dando. En la rueda de prensa posterior a dicha aprobación, la ministra de Ciencia e Innovación, Cristina Garmendia, declaró que el anteproyecto de ley es un texto “con un marcado carácter reformista”, que implicará la modificación de otras once leyes; y señaló que para que la nueva ley contribuya a construir un nuevo modelo productivo se facilitará la participación del sector privado en la investigación. Éste es un aspecto del sistema español de I+D+i frecuentemente criticado porque nunca ha llegado a estar suficientemente desarrollado, como sí ocurre en otros países de nuestro entorno. Como novedades, el anteproyecto recoge la singularidad de lo que denomina Joven Empresa Innovadora, y establece una Estrategia Estatal de Innovación. Un organismo de nueva creación, la Agencia Estatal de Investigación, gestionará todas las ayudas del Plan Nacional de I+D (en la nueva ley se llama Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica) y canalizará todos los fon-

dos estatales junto al Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI). El anteproyecto de ley también prevé tres nuevos órganos: el Consejo de Política Científica y Tecnoló-

Para el ministerio son tres los retos de la nueva ley: conseguir una carrera científica estable, basada en méritos y previsible, que permita retener y atraer talento científico; dotarnos de un sistema de I+D más eficiente y eficaz, y conseguir un cambio del modelo productivo en el marco de la llamada sociedad del conocimiento, en consonancia con la Ley de Economía Sostenible.

Por su parte, la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) —entidad que agrupa a más de treinta mil investigadores en el país y que preside Joan Guinovart— ha mostrado su desacuerdo con el anteproyec-

to y afirma que el texto no aporta soluciones a los verdaderos problemas de la investigación en España. En dos informes presentados también a primeros de marzo, la Confederación afirma textualmente que la nueva ley “presenta un panorama descorazonador para la ciencia, que en este momento se enfrenta a una drástica reducción de sus recursos y a una propuesta de ley que no aporta soluciones a sus verdaderos problemas... y no va a servir para darle a la ciencia española la competitividad global que requiere”. ■

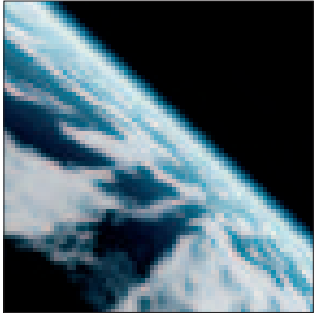


Cristina Garmendia.

gica, el Consejo Asesor y el Comité de Ética de la investigación.

El anteproyecto de ley ha de iniciar ahora los trámites para su aprobación, y será entonces cuando se conozca el primer borrador de estatutos de dicha agencia. Se calcula que la tramitación parlamentaria durará aproximadamente un año: el anteproyecto deberá, en primer lugar, ser refrendado por el Congreso de los Diputados y después, discutido por el Senado, que dispondrá de dos meses para vetar o enmendar el proyecto.

Proyecto internacional sobre la influencia de la atmósfera



CIENTÍFICOS DEL INSTITUTO de Geodesia y Geofísica de la Universidad Tecnológica de Viena (Austria) han emprendido un estudio sobre las relaciones de la atmósfera con la vida terrestre y su influencia en la forma, rotación y campo gravitatorio del planeta, que se integrará en un proyecto internacional, el GGOS Atmosphere, liderado por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). Sus responsables elaborarán modelos geofísicos que simulen presión, funciones del momento angular y coeficientes del potencial gravitatorio de la atmósfera a partir de un conjunto de datos suministrado por el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (CEPMPM), en el que participa España.

La geodesia —ciencia que mide y representa la Tierra— tiene actualmente en estudio una gran cantidad de factores nuevos. Por ejemplo, el retraso que pueden sufrir las señales de radio emitidas por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) debido a las condiciones de

la atmósfera y, especialmente, la presión que ésta ejerce sobre la superficie, que puede modificarla en cifras próximas a dos centímetros y alterar el campo gravitatorio local. Estas fuerzas atmosféricas también provocan pequeñas fluctuaciones en la rotación terrestre. Todo ello tiene una importancia aparentemente nimia, pero para trabajos de precisión induce a errores considerables.

El proyecto GGOS desempeñará una función importante a la hora de observar y medir estos parámetros de la atmósfera. Cuando esté en pleno desarrollo, participarán en él cientos de geólogos de todo el mundo para procesar y analizar los datos geodésicos y geofísicos que se irán registrando por medios terrestres y espaciales. ■

Ondas de calor y nanotubos para producir electricidad

UN EQUIPO DE CIENTÍFICOS del Instituto de Tecnológico de Massachusetts (MIT) ha descubierto un fenómeno por el

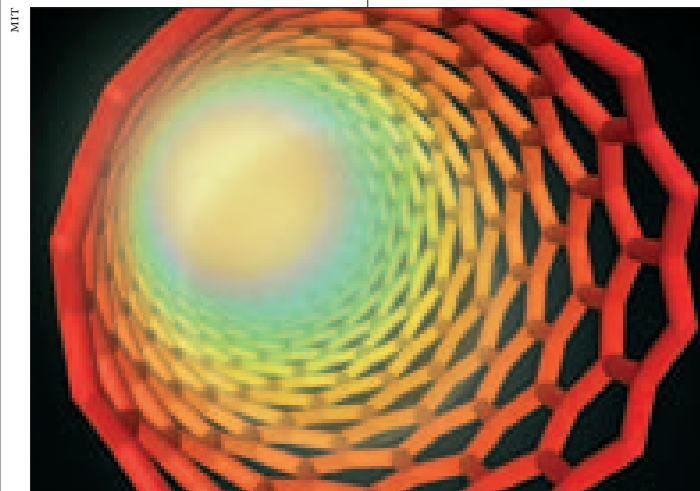
que, mediante nanotubos de carbono, se pueden producir y “disparar” ondas de energía térmica de considerable potencia. El experimento podría conducir, cuando se llegue a dominar a escala industrial, a una nueva forma de generar electricidad, y se basa en un fenómeno que, según Michael Strano, profesor de ingeniería química del MIT y coordinador del trabajo recién publicado en la revista científica *Nature Materials*, “abre un nuevo campo de investigación de la energía completamente novedoso”.

En este experimento, los nanotubos fueron recubiertos con una capa de un combustible altamente reactivo que produce calor por descomposición. Este combustible fue encendido en un extremo de los nanotubos utilizando un rayo láser o una chispa de alto voltaje, y el resultado fue el movimiento de una onda térmica que viajó muy rápidamente a lo largo de los nanotubos de carbono como si fuera una llama que se propagase a toda velocidad a lo largo de una me-

cha encendida. La onda térmica, a unos 3.000 grados Kelvin, en forma de anillo se desplaza en el nanotubo 10.000 veces más rápido que la propagación normal de la reacción química a través del reactivo. Ese calor producido también empuja a los electrones a lo largo del nanotubo, creando una corriente eléctrica considerable.

Estas ondas de combustión se conocen matemáticamente desde hace más de un siglo, pero nunca antes se había pensado en guiarlas dentro de un nanotubo, que se comportaría como un nanocable capaz de empujar una corriente eléctrica a lo largo de su estructura. En los experimentos de los científicos del MIT, el sistema produjo una energía que, en proporción a su peso, fue aproximadamente cien veces mayor que la equivalente de una pila de ión-litio, mucho mayor, por cierto, que la prevista por los cálculos termoeléctricos.

Los investigadores sugieren que una posible aplicación podría ser el uso de un nuevo tipo de dispositivo electrónico ultrapequeño, del tamaño de un grano de arroz: sensores o aparatos para tratamiento de enfermedades que podrían ser inyectados en el cuerpo humano, sensores ambientales que se podrían dispersar como polvo en el aire, etcétera. Dichos microaparatos revolucionarios serían capaces de mantener la energía acumulada de forma indefinida hasta el momento en que fueran usados, algo que no ocurre con las baterías actuales. ■



Los nanotubos se comportan como cables capaces de propagar la electricidad.

S

por
Manuel Toharia

R

B

I

E

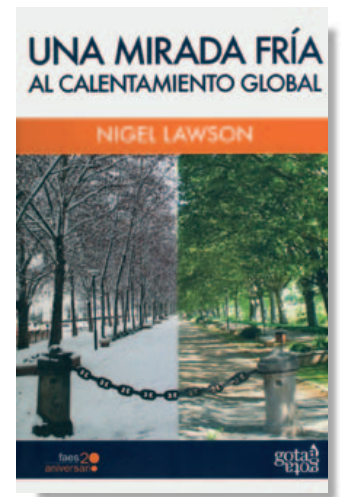


Cambio global: impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra
Carlos M. Duarte, coord.
CSIC, Colección Divulgación
Madrid, 2009

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas ha emprendido desde hace ya un año y pico una labor encomiable de difusión de la ciencia a través de escritos de sus propios científicos. La colección *¿Qué sabemos de?* ya fue comentada en un anterior número de *Estratos*, y ahora le toca el turno a los primeros ejemplares de otra colección, titulada sencillamente *Divulgación*. El primero de estos nuevos libros, de formato cuadrado y muy profusamente ilustrados, ha sido coordinado por Carlos Duarte, uno de nuestros biólogos marinos más reputados y firme defensor de las tesis alarmistas en torno al cambio climático presente y, sobre todo, futuro. El conjunto de trabajos que incluye este libro, nada menos que de catorce especialistas de muy distintos campos, muestra una panorámica extensa e intensa de lo que los investigadores hacen y descubren en torno al campo de los impactos del ser humano y su actividad sobre los diversos ecosistemas. Un impacto de enorme e innegable calado, pe-

ro que lamentablemente se focaliza casi exclusivamente en la cuestión del calentamiento global, dejando de lado algunos otros aspectos quizá más dañinos para el ser humano y la biosfera en general, como por ejemplo la emisión constante de residuos tóxicos de todo tipo —desde los vertidos petrolíferos en alta mar hasta la contaminación de los acuíferos o del aire que respiramos, por ejemplo—, la tremenda relación existente entre el incremento imparable de la población mundial y el hambre (con o sin cambio climático) o la amenaza letal y creciente del armamento nuclear, que constituye un riesgo inconmensurablemente mayor y bastante más próximo a nosotros, cronológicamente hablando, que el propio cambio climático. Por supuesto, todos ellos son ejemplos obvios del impacto de los humanos sobre la Tierra y sus seres vivos, pero no son los que más aparecen en este libro, que sin duda ofrece un magnífico ramillete de aportaciones acerca de lo que se sabe respecto al cambio global, pero quizá parezca demasiado catastrofista respecto al riesgo que supone ese cambio en el clima en comparación con los riesgos de otro tipo. Aunque, desde luego, no oculta, porque está escrito por científicos profundamente honestos, las muchas lagunas en el saber que aún nos quedan por colmar. Altamente recomendable, pues, como lectura obligada para todos aquellos que desean tener una idea cabal de lo que

los científicos —o, al menos, muchos de ellos— saben y temen respecto a esta cuestión. ■



Una mirada fría al calentamiento global
Nigel Lawson
Ediciones Gota a gota
Madrid 2009

“La nueva religión del calentamiento global, por muy cómoda que sea para los políticos, no es tan inofensiva como pueda parecer a simple vista. Ciertamente, cuanto más la analizamos, más se parece a un *Código da Vinci* del ecologismo. Es una gran historia y un éxito de ventas formidable. Contiene una pizca de verdad... y una montaña de disparates. Y esos disparates pueden ser realmente muy dañinos”. Ésta es sólo una frase del libro de Lawson que comentamos, pero establece con meridiana claridad cuál es su postura ante el cambio climático. Y quizá le baste a muchas personas para, sin más, dejarlo de lado y no hacerle ni caso. Y harían mal. Porque el libro, en contra de lo que pudiera parecer al leer la citada frase, opina poco pero sí razona, y mucho, con notable fun-

damento. No tanto respecto a la ciencia del cambio climático, que también, sino sobre todo respecto a las repercusiones económicas y sociales —o sea, políticas— de las medidas que se pudieran adoptar. Por lo que a la ciencia respecta, por supuesto se atiende a los datos del IPCC, pero también se apoya en los de otros estamentos científicos relevantes, curiosamente ignorados por la prensa, en una especie de autocensura que critica con acidez. Y si no duda de los datos como tales, sí pone el acento en los que no lo son realmente; bien por su antigüedad (dificultad obvia a la hora de comparar con los datos actuales, de enorme precisión y profusión), bien porque no son datos sino predicciones, a menudo confundidas con los datos reales. El argumento que subyace, y que no es fácil de rebatir, es que la verdad científica no se establece por mayorías; y que el alarmismo no siempre racional vestido de ideología para salvar el planeta puede ser tan malo como los males que pretende evitar. Lord Nigel Lawson of Blaby fue diputado del partido conservador desde 1974 y ministro de Energía y luego de Economía y Hacienda en sucesivos gobiernos de Margaret Thatcher. Desde 1992 es miembro de la Comisión sobre Asuntos Económicos de la Cámara de los Lores, que en 2005 publicó el informe “La economía del cambio climático”. Por cierto, este libro ha sido presentado por la Fundación FAES, que preside el ex presidente Aznar, lo

que ha disparado las críticas de sus adversarios, dando a entender que este hecho pudiera ser más relevante que el peso, mucho o poco, de los argumentos aducidos en la obra. ¿Maniqueísmo sectario, una vez más? ■



Las medidas del universo
Tomás Hormigo
Ciudad de las Artes
y las Ciencias
Valencia, 2008

Cuando pensamos en el universo y en su inmensidad, la imaginación no suele alcanzar para comprender cifras de millones de años y billones de kilómetros. Pero, ¿cómo hemos sido capaces de comprender semejantes magnitudes? Es más, ¿cómo podemos ser capaces de medir, con aceptable precisión, distancias y tiempos tan inimaginables? La edad del universo y de sus estrellas y galaxias, la forma de nuestra Vía Láctea, la distancia entre planetas y estrellas, la temperatura de los objetos cósmicos... ¿Cómo hemos llegado a saber todo esto? No disponemos de reglas de medir suficientes para semejante empeño. Ni siquiera para saber cómo

es la Tierra de grande o de pesada, la distancia a la Luna, al Sol... Claro que las respuestas están en los libros, en Internet. La ciencia lo sabe ya casi todo, solemos pensar. Sí, ¿pero cómo ha hecho para saberlo? ¿Qué nos queda aún por saber? Que un adulto se haga estas preguntas tiene sentido, pero habitualmente quien lo hace lo olvida pronto y vuelve a sus quehaceres y preocupaciones diarias. Pero los jóvenes en edad escolar son especialmente curiosos y preguntones —quizá no todos, pero muchos de ellos sí—, y ahí es donde los profesores tropiezan con un escollo nada fácil de salvar. Por fortuna, hay profesores-divulgadores, como el malagueño Tomás Hormigo, que dedicaron toda su vida a la enseñanza reglada y a la promoción de la cultura científica fuera del aula. Hace tiempo escribió un opúsculo llamado precisamente así, *Las medidas del universo*; tuvo amplio eco en la comunidad educativa andaluza y lo reeditó hace ahora algo más de un año, corregido, aumentado y profusamente ilustrado el Museo de las Ciencias de Valencia. El póster desplegable que inserta el libro posee sin duda un notable valor pedagógico y las explicaciones, que responden a todas las preguntas antes citadas y algunas más, son sencillas y al alcance de cualquier persona. Un libro imprescindible, por lo tanto, a poco que uno tenga un mínimo de curiosidad por lo que hay más allá de lo que nuestros ojos son capaces de ver. ■

SUSCRIPCIÓNestratos

Nombre y apellidos

Domicilio

CP

Provincia

e-mail

Población

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 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.



Garcetas en el Delta del Ebro (Tarragona).

El difícil equilibrio

EL DELTA DEL EBRO ES UNA ZONA ALUVIAL DE UNAS 32.000 hectáreas de superficie que, con forma de flecha, entra en el mar Mediterráneo. El cultivo del arroz, la explotación pesquera, la caza deportiva y un turismo en auge conviven con las 7.736 hectáreas que forman el parque natural del Delta del Ebro; un difícil equilibrio que exige un continuo esfuerzo de la sociedad y las

administraciones. A pesar de la intensa actividad humana, la naturaleza se muestra espléndida en la zona húmeda más importante de Cataluña. Estas garcetas grandes (*Egretta alba*) que se disputan el territorio en el arrozal forman parte de las más de trescientas especies de aves allí censadas, lo que significa un 60% de todas las especies europeas. ■



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

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.

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



A Toshiba Group Company

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