



Cristina Garmendia,
ministra de Ciencia
e Innovación: "Hay
que traducir en
riqueza el potencial
científico español"



**Tan urbanas como
los semáforos,**
muchas especies
singulares conviven
con el hombre en las
grandes ciudades



**Almacenamiento
temporal
de combustible
gastado: una
tecnología madura
y contrastada**

estratos

**Empresa
Nacional
de Residuos
Radiactivos
N.º 95
Verano 2010**

España crece bajo el mar



•••• 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

Un ejercicio pleno de actividades de gran calado



EL 14 DE JUNIO SE PRESENTÓ ANTE la Junta General de Accionistas de Enresa el Informe Anual de la empresa del año 2009. El pasado ejercicio fue, tal y como se puso de manifiesto ante los accionistas de la compañía, un ejercicio pleno de actividades de gran calado.

Por un lado, a finales de 2009 se vivió uno de los hitos más esperados: la convocatoria pública para la selección de municipios candidatos a albergar el Almacén Temporal Centralizado y su Centro Tecnológico Asociado, un proceso que, a buen seguro, marcará la actividad de Enresa en el futuro.

Si en gestión de residuos radiactivos 2009 será un año a recordar por el paso dado para el futuro almacén de combustible gastado, también se puede destacar el pasado ejercicio como esencial en el desmantelamiento de centrales nucleares.

La central nuclear José Cabrera recibió, en el mes de noviembre, el informe favorable al Plan de Desmantelamiento por parte del Consejo de Seguridad Nuclear. Esta circunstancia, unida al fin de las tareas previas al proceso, permitió que, a principios de 2010, se concediese el cambio de titularidad de la instalación y se iniciase su desmantelamiento.

El Cabril recibió el pasado año 1.825,67 metros cúbicos de residuos radiactivos de baja y media actividad, en un ejercicio marcado por la constante actividad y por un relevo en la dirección: Carlos Pérez Estévez cedió el testigo a Eva Noguero que, desde el mes de diciembre, dirige la instalación cordobesa.

Nuevos proyectos de I+D en el Centro Tecnológico Mestral, situado en la antigua central nuclear Vandellós I (Tarragona), y las actividades de desmantelamiento dentro del Plan Integral de Mejora de Instalaciones de Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) son otras de las actividades que más nos han ocupado en 2009.

La complejidad de los mercados financieros no ha impedido que Enresa siguiera gestionando el Fondo para la Financiación de Actividades del Plan General de Residuos Radiactivos con criterios de seguridad, rentabilidad y liquidez. En diciembre de 2009, dicho Fondo alcanzó los 2.531,98 millones de euros, con un rendimiento acumulado del 4,6%.

Todas estas actividades las hemos podido compartir con multitud de políticos, vecinos, estudiantes, empresarios, científicos o periodistas que han participado en visitas a las instalaciones que gestiona Enresa o en jornadas dirigidas al conocimiento y entendimiento de nuestra actividad. Es por eso que, de una manera segura y firme, comprobamos un cambio de tendencia en la percepción de nuestra actividad, orientada a la protección del medio ambiente. ■

José Alejandro Pina
Presidente de ENRESA

estratos

Nº 95 VERANO 2010

30

Vecinos silvestres

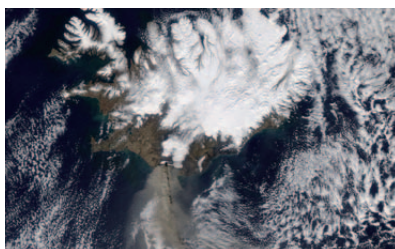
Carlos Egio



44

Cenizas para enfriar el clima

José María Montero



52

Vida fuera de la Tierra: ¿posible, probable, segura?

Manuel Toharia

56

La montaña de sal de Cardona

Jesús Ávila



34

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

José Luis González y
Mariano Molina

48

Gulliver en el país de los científicos

Pablo Francescutti



40

Tecno@rt 2010: el inevitable encuentro del arte y la tecnología

Jesús Vicenti

4 Actualidad

60 Noticias de ciencia y tecnología

62 Libros

64 Una imagen, cien palabras

Fondo marino (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

Tecnologías de almacenamiento temporal de combustible gastado

Cualquier opción de gestión final del combustible nuclear gastado requiere una o varias etapas de almacenamiento temporal. Existen diversas tecnologías, en piscina y en seco, cuya elección depende de las cantidades a almacenar y de los plazos.

Technologies for the temporary storage of spent fuel (page 12).

Texto: Pablo Zuloaga, Juan Martínez Abad y Maribel Rivera



20

Entrevista a Cristina Garmendia, ministra de Ciencia e Innovación

Doctora en biología genética y empresaria, Cristina Garmendia se incorporó al Gobierno en 2008 con el objetivo de convertir el conocimiento científico y tecnológico español en crecimiento económico. Cuando se han cumplido dos años de su mandato, cree que es “el momento” de que ese potencial se traduzca en la riqueza y el bienestar que el país precisa en estos momentos de crisis.

Texto: Concha Barrigós



24

España crece bajo el mar

España aumentará en los próximos años más de la mitad de su actual superficie. Y no será arrebatando territorio a nuestros vecinos, sino por el fondo del mar, frente a nuestras costas. De acuerdo con la Convención de Naciones Unidas sobre Derecho del Mar, nuestro país extenderá sus fronteras —y los derechos de exploración y explotación de los recursos no vivos— desde los límites submarinos con Irlanda hasta Mauritania, salvo el tramo que corresponde a Portugal. En total serán unos 370.000 km².

Texto: Gustavo Catalán



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

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

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

actualidadestratos

La central nuclear José Cabrera comienza a cambiar de aspecto

El proceso de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera, en Almonacid de Zorita, al sur de la provincia de Guadalajara, sigue evolucionando satisfactoriamente y de acuerdo con las previsiones. Así, durante el mes de junio se acometió el derribo de las torres de refrigeración de la planta, un total de diez unidades que ya han desaparecido.

Se trata del primer trabajo que cambia la fisonomía externa de la instalación.

ENRESA



Derribo de las torres de refrigeración de la central José Cabrera.

Según comenta el director del desmantelamiento, Manuel Rodríguez Silva, “podemos considerar esta actuación

como un punto de partida en el desmontaje de la planta, dado que es la primera actividad que cambia físicamen-

te el exterior del emplazamiento. Hasta ahora, se han estado haciendo otros trabajos preparatorios, igualmente importantes pero sin el impacto visual que éstos tienen”, añade.

Y es que la demolición de las torres, en la que han trabajado una veintena de operarios de los casi doscientos empleados en la central a día de hoy, forma parte de las actividades preparatorias de la actuación integral, para adaptar la planta a las necesidades del desmantelamiento. La UTE Monlain es la encargada de ejecutarlos. Señala Rodríguez Silva que el derribo “no es especialmente complicado, dado que no se está acometiendo en una zona radiológica. Se trata de una actuación convencional de desmontaje”.

Los trabajos concluyeron el pasado mes de junio y, la zona ocupada hasta ese momento por las torres de refrigeración, se utilizará como explanada para almacenar la chatarra convencional que generen los trabajos en el resto de edificios y dependencias.

Mientras tanto, y al margen del derribo de las torres, se siguen acometiendo otras actuaciones de adecuación de sistemas eléctricos y de protección contra incendios, así como la puesta fuera de servicio (descargos) de aquellos elementos que ya no son nece-

Interior, CSN y Enresa informarán sobre los planes de emergencia nuclear

El subsecretario del Ministerio del Interior, Justo Zambrana; la secretaria general del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Purificación Gutiérrez, y el presidente de Enresa, José Alejandro Pina, firmaron el pasado mes de abril un convenio de colaboración sobre actuaciones conjuntas en materia de for-

mación e información al público en el ámbito de los planes de emergencia nuclear.

El objeto de este convenio es programar e impartir actividades formativas de interés común, así como elaborar y editar material didáctico y divulgativo para las campañas de información a la población de las zonas nucleares.

Entre otras actividades, el convenio incluye la celebración de jornadas para delegados y subdelegados del Gobierno de las provincias de ámbito de los planes de emergencia nuclear, y la preparación de material didáctico sobre los planes de las centrales de Ascó y Vandellós (Tarragona), Cofrentes (Valencia), Almaraz (Cáceres), Santa María de Garoña (Burgos) y Trillo (Guadalajara). ■



Pina, Zambrana y Gutiérrez firman el convenio.

sarios. Además, ya ha comenzado el desmontaje de los sistemas y componentes del edificio de turbinas de la central. Una vez que se encuentre totalmente vacío, se reutilizará como área de gestión de residuos radiactivos. ■

Vivir en el entorno de una instalación nuclear no incrementa la mortalidad por cáncer

El Instituto de Salud Carlos III y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) presentaron el pasado 31 de mayo en Madrid los resultados de un estudio epidemiológico que ha analizado el posible impacto radiológico de las instalaciones nucleares y radiactivas sobre la salud de las personas. Este estudio concluye que no se ha encontrado “relevancia ni riesgo” entre los casos de cáncer y la cercanía a instalaciones nucleares, según afirmó el director técnico de Protección Radiológica del CSN, Juan Carlos Lentijo.

La investigación se realizó a petición del Congreso de los Diputados en 2005, y durante cuatro años ha analizado 982 municipios situados en un radio de 30 kilómetros de una instalación nuclear o radiactiva del ciclo del combustible y ha estudiado las posibles consecuencias desde 1975 hasta 2003, con la conclusión de que no se ha detectado un incremento de la mortalidad por cáncer asociada al funcionamiento de estas instalaciones.

Según el estudio, las dosis estimadas acumuladas recibidas por la población de las áreas analizadas “son

muy reducidas y están muy por debajo de los niveles que, con los conocimientos científicos actuales, podrían relacionarse con efectos en la salud de las personas”.

“Este estudio debe con-

tribuir a la tranquilidad y a la paz social debido a su gran alcance”, señaló Lentijo, y añadió que esta investigación “es excelente y única” y que “va a ser un referente internacional en este cam-

po”. Además destacó que sus resultados “demuestran la eficacia de los controles y seguimiento que el organismo regulador español aplica sobre todas las instalaciones radiológicas”. ■

Política energética

Gobierno y oposición negocian un pacto de Estado sobre Energía, en el que se incluye la ubicación del ATC

EFE



Miguel Sebastián y Cristóbal Montoro en la rueda de prensa.

El Gobierno y el Partido Popular están negociando un pacto de Estado sobre Energía en el que se incluye la ubicación del Almacén Temporal Centralizado (ATC). Así lo anunciaron el ministro de Industria, Turismo y Comercio, Miguel Sebastián, y el portavoz de Economía del Partido Popular, Cristóbal Montoro, en una rueda de prensa celebrada el 24 de junio. Desde entonces, se han mantenido diversas reuniones.

En dicho encuentro informativo, Sebastián explicó que el Gobierno intentará alcanzar “lo antes posible” con el principal partido de la oposición —y sin descartar al resto de partidos del arco parlamentario— un acuerdo para revisar los costes del sistema eléctrico. Entre los principales costes, explicó, figuran la distribución, el transporte y las primas a las renovables, que el pasado ejercicio superaron los 6.000 millones de euros. La reducción de estas partidas permitiría contener el déficit de tarifa del sistema sin necesidad de aplicar fuertes subidas de la luz.

La negociación, subrayó, no tendrá “líneas rojas”, ni siquiera en lo referido al cierre de la central nuclear de Santa María de Garoña, y buscará como objetivo alcanzar un acuerdo lo más amplio posible en materia de energía.

Los puntos sobre los que se centrará esta parte de la negociación son definir un *mix* equilibrado de generación, desarrollar infraestructuras como las interconexiones, profundizar en la liberalización, mejorar las políticas de ahorro y eficiencia, consensuar objetivos de renovables de manera “sostenible económicamente” y desarrollar normativas de seguridad nuclear y gestión de residuos. Este último punto introducido en la negociación incluye la ubicación del ATC, indicó el ministro durante la rueda de prensa. ■

El proyecto del ATC, la investigación que le acompañará y sus repercusiones sociales centraron un curso en la Universidad Menéndez Pelayo

El Almacén Temporal Centralizado para residuos radiactivos de alta actividad (ATC) fue el eje central del curso *Un modelo de gestión eficaz y segura de los residuos radiactivos: el ATC y su Parque Tecnológico*, que se celebró en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Santander del 21 al 23 de junio. Las distintas vías de gestión del combustible gastado de las centrales nucleares, el proyecto del ATC español, la investigación y el desarrollo que supone, junto con las repercusiones socioeconómicas de su implantación fueron algunas de las ópticas bajo las que se sucedieron tres días de debate en el que participaron

distintos expertos nacionales e internacionales coordinados por José Manuel Fernández de Labastida, secretario general de Política Científica del Ministerio de Ciencia y Tecnología, y el investigador y profesor Carlos Martínez Alonso.

El primer día se centró en las distintas vías de gestión del combustible gastado de las centrales nucleares españolas. Todos los modelos de gestión de residuos radiactivos de alta actividad pasan por disponer de un Almacén Temporal Centralizado (ATC). Así lo pusieron de manifiesto expertos de Enresa, del Consejo de Seguridad Nuclear, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y de la Universidad de Sevilla.

Independientemente del ciclo de combustible, abierto o cerrado, por el que opte un país, o que la solución a largo plazo sea un almacenamiento geológico profundo, el almacenamiento temporal es la mejor solución mientras la ciencia avanza y se ponen en marcha las primeras experiencias de almacenamiento geológico en el mundo.

Para avanzar en esas soluciones de futuro en la segunda jornada se expusieron las distintas vías de I+D que se están desarrollando tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Un ciclo avanzado de reprocesado del combustible nuclear que pasaría por la separación y la transmutación, y las infraes-

Técnicos de Enresa inspeccionan el interior del cajón del reactor de Vandellós I con una cámara de televisión robotizada

Dentro de las actividades de vigilancia de la latencia de la instalación Vandellós I, el 26 de abril tuvo lugar una prueba de inspección del reactor. Mediante un sistema robotizado de televisión de alta resolución, los técnicos de Enresa visualizaron las estructuras de su interior. El objetivo de la operación es conocer al detalle cómo evolucionan durante la etapa de latencia diversos elementos (tornillos, tuberías, etcétera), que están sometidos a condiciones diferentes a las que tuvieron durante la vida operativa de la central.

Además, en esta operación se extrajeron muestras

ENRESA



Técnicos de Enresa visualizan las estructuras del reactor de Vandellós I.

de unos testigos de corrosión introducidos hace ocho años que van a permitir realizar cálculos respecto al grado de oxidación de diferentes metales sometidos a las mismas condiciones de humedad que las estructuras del reactor. La instalación Vandellós I guarda un

registro minucioso de todos los datos de variación de la humedad, de manera que se van a poder realizar cálculos proyectivos. Esta operación es previa a la preceptiva prueba quinquenal de estanqueidad que se realizará en los próximos meses. ■

Enresa y la Universidad Rovira i Virgili ponen en marcha nuevos proyectos de I+D en desmantelamiento

Enresa y la Universidad Rovira i Virgili firmaron el 26 de abril tres convenios para el desarrollo de tecnologías aplicables al desmantelamiento de centrales nucleares. Estos proyectos se inscriben dentro de la séptima campaña de investigación que ambas entidades realizarán de forma conjunta en el Centro Tecnológico Mestral, situado en la antigua central nuclear de Vandellós I (Tarragona). La inversión en la nueva campaña asciende a 150.600 euros.

Amparado por uno de los convenios firmados, se va a poner en marcha un proyecto nuevo relacionado con la etapa de latencia de la Ins-

J. FERNÁNDEZ



Arriba, Carmen Martínez Ten junto a José Alejandro Pina. Carlos Martínez Alonso conversa con Hans Riette y Jorge Lang Lenton. Abajo, desarrollo de la clausura del curso.

estructuras necesarias para avanzar en estas líneas fueron algunos de los focos de atención de esta segunda jornada que contó con la participación de expertos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, y las universidades Autónoma y Politécnica de Madrid, entre otros.

La implantación del ATC y su parque tecnológico protagonizaron el último día de curso. La toma de decisiones sobre los emplazamientos en Europa y la visión de la patronal eléctrica Unesa, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio o de los municipios candidatos, sirvieron de colofón a esta panorámica global sobre la infraestructura del ATC. Representantes de la Asociación de Municipios en Áreas Nucleares (Amac), o de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE fueron algunos de los ponentes de esta última jornada. ■

talación Vandellós I (25 años). Su objetivo es crear un modelo computacional que prediga la evolución de la temperatura y presión de la atmósfera del cajón del reactor en función de la variación en las condiciones meteorológicas del exterior. Otra de las novedades de la nueva campaña será la línea que investigará mejoras en el acondicionamiento de bultos de residuos generados en actividades de desmantelamiento de instalaciones nucleares.

La adaptación de sistemas de gestión de calidad y medio ambiente para la pequeña empresa en el ámbito de desmantelamiento es otro de los proyectos que se desarrollará durante esta campaña, dando continuidad a uno ya iniciado en 2009. También durante 2010 van a prose-

guir los trabajos de investigación en magmoléculas, un proyecto que fue aprobado ya en 2009 con un horizonte de finalización de cuatro años. ■

El Gobierno francés aprueba el Plan Nacional de Gestión de Materias y Residuos Radiactivos

El Gobierno francés aprobó en junio su Plan Nacional de Gestión de Materias y Residuos Radiactivos (PNGMDR). El plan presenta un balance de los modos de gestión existentes, prevé las necesidades de instalaciones de almacenamiento temporal o definitivo, sus capacidades y los periodos de almacenamiento temporal. Este documento, que fue presentado por el director general de la Energía y el Clima

(DGEC) y el presidente de la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN), da continuidad al publicado en 2007 y contempla un plan de acción en nuevas áreas como la retirada de residuos en antiguos almacenes, el impacto de la reutilización de estériles de minería o la mejora global de la gestión de las materias y residuos radiactivos. Este segundo PNGMDR recoge, además, un programa de mantenimiento o intensificación de acciones ya emprendidas en relación con el almacenamiento profundo reversible, los residuos históricos, el impacto a largo plazo de los residuos de minería o las acciones a emprender con los residuos que no tienen definido aún un modo de gestión defini-

da. De acuerdo con la legislación francesa, y a semejanza de lo que se lleva a cabo en España, el documento deberá ser revisado cada tres años.

El plan de gestión recoge las conclusiones de un grupo de trabajo multidisciplinar que, bajo la presidencia conjunta del DEGC y el ASN, agrupa a los productores de residuos, representantes políticos y administrativos, asociaciones sociales y organizaciones responsables de la gestión de residuos radiactivos. ■

El Foro Nueva Energía reúne a las principales voces del sector

La presidenta de la Comisión Nacional de la Energía (CNE), María Teresa Costa, inauguró el pasado mes de mayo el Foro Nueva

España mejorará el control del tráfico ilegal de material radiactivo en sus puertos

Mejorar la vigilancia y detectar el tráfico ilícito de material radiactivo en los puertos marítimos es el objetivo del protocolo de actuación suscrito el pasado 16 de junio por el Gobierno, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y Enresa. Este acuerdo, pionero en Europa, establece las funciones y procedimientos de cada organismo en el caso de que, en algún puerto español, se localicen

contenedores que porten material radiactivo.

Este protocolo, firmado por los ministerios del Interior, Economía, Fomento e Industria, junto al Consejo de Seguridad Nuclear y Enresa, se enmarca dentro de la Iniciativa Megaport, un proyecto estadounidense de política de seguridad nuclear, basado en la detección del tráfico ilícito de material nuclear y radiactivo en el

comercio mundial a través de portales detectores instalados en entradas y salidas de los puertos.

El cometido de Enresa dentro de este acuerdo es apoyar técnicamente a los demás agentes implicados, llevando a cabo la caracterización radiológica detallada de los materiales radiactivos detectados y coordinando su retirada, custodia y gestión final.

Treinta de los principales puertos de todo el mundo cuentan ya con equipos tecnológicos para la detección de dicho material, como por ejemplo, portales detectores de radiación que, situados en puntos estratégicos, miden los niveles de radiación de los contenedores y, en caso positivo, activan una alarma. El objetivo es que en 2015 más de cien puertos cuenten con este sistema que permita escanear el 50% del tráfico marítimo mundial. En España, el sistema Megaport está ya instalado y operativo en el puerto de Algeciras y está previsto que se instale en otros puertos nacionales. ■

Rivero, pronunció una conferencia sobre el presente y el futuro del sector eléctrico español donde destacó “las ventajas que aporta el ATC” para el futuro de la gestión de los residuos de alta actividad de nuestro país.

Antonio Cuevas, presidente de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados fue la figura de la tercera jornada con la conferencia 2035: *hacia un nuevo modelo energético*, en la que profundizó en la necesidad de llegar a un gran acuerdo en materia energética. El diputado señaló que “el reto no es tanto alcanzar ese acuerdo como mantener un punto de encuentro para el análisis continuo de la evolución de las tecnologías futuras”.

La evolución del sector también centró la última de las conferencias, que corrió a cargo del secretario de Estado de Energía, Pedro Marín. En sus palabras, “estamos viviendo un momento crucial” en el que se han ido creando elementos técnicos para acometer “un salto tecnológico en la próxima década que cambie la forma de producir y de consumir energía”. Marín dibujó también las bases del horizonte energético español, sustentado en el fomento de la competitividad del sector, la garantía de la seguridad de suministro y el cumplimiento de los compromisos medioambientales, en consonancia con los compromisos alcanzados en la Unión Europea.

El ciclo de conferencias del Foro Nueva Energía se reanudará tras el verano. ■

ENRESA



Portal de detección radiológica en un puerto.

Energía que ha reunido en los últimos meses a las principales voces del sector eléctrico y energético. Desde su puesta en marcha, el Hotel Ritz de Madrid ha sido ya escenario de cuatro conferencias de estos encuentros,

que patrocina Enresa, junto a la Asociación Española de la Industria Eléctrica (Unesa) y la consultora Ernst & Young.

La representante de la CNE comenzaba el ciclo de conferencias con un repaso

del Mercado Ibérico de la Electricidad, del que destacó su “carácter innovador” y de modelo de experiencia integradora en toda la Unión Europea.

En el mes de junio, el presidente de Unesa, Pedro



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.

Cualquiera de las opciones de gestión final del combustible nuclear gastado requiere una o varias etapas de almacenamiento temporal. Ello ha llevado al desarrollo de diversas tecnologías de almacenamiento, en piscina y en seco, cuya selección depende, fundamentalmente, de las cantidades a almacenar y de los plazos. El almacenamiento en seco en bóvedas se considera el más adecuado para periodos muy largos, por poder realizarse de forma pasiva y presentar una gran resistencia estructural. Es la tecnología adoptada en el proyecto del futuro ATC español. ■ **POR Pablo Zuloaga, Juan Martínez Abad, Maribel Rivera, ENRESA.**

El sistema de bóvedas es el previsto en el proyecto del ATC español

Tecnologías de almacenamiento temporal de combustible gastado

EL COMBUSTIBLE NUCLEAR ESTÁ formado por unos elementos (figura 1), compuestos de barras de combustible, formadas a su vez por vainas de una aleación de zirconio, en cuyo interior hay pastillas cerámicas de óxido de uranio. Al irradiarse, las reacciones nucleares de absorción y fisión transforman el material. Además del óxido de uranio contiene óxidos de otros actínidos y, también, productos de fisión y de activación. Los elementos combustibles irradiados tienen niveles elevados de radiactividad, por lo que se necesita disponer de blindajes para la radiación gamma y para neutrones, así como de confinamiento frente a la eventual dispersión de los radionucleidos. También hay que tener en cuenta que el combustible irradiado desprende una cantidad apreciable de calor y que, por otro lado, contiene materiales fisiles, por lo que los aspectos de criticidad deben ser tenidos en cuenta para prevenir reacciones en cadena.

Existen tecnologías probadas que permiten el almacenamiento del com-

combustible gastado teniendo en cuenta los criterios de confinamiento, blindaje, extracción del calor residual y criticidad. Las tecnologías disponibles pueden agruparse en dos grandes grupos: almacenamiento en húmedo y almacenamiento en seco.

La adopción de una u otra tecnología depende de varios factores, entre los que hay que destacar los de integración en los procesos productivos, la generación de calor residual debido a la desintegración de los productos radiactivos, el volumen de combustible a con-



Figura 1. Vista de un elemento combustible.

FORO NUCLEAR

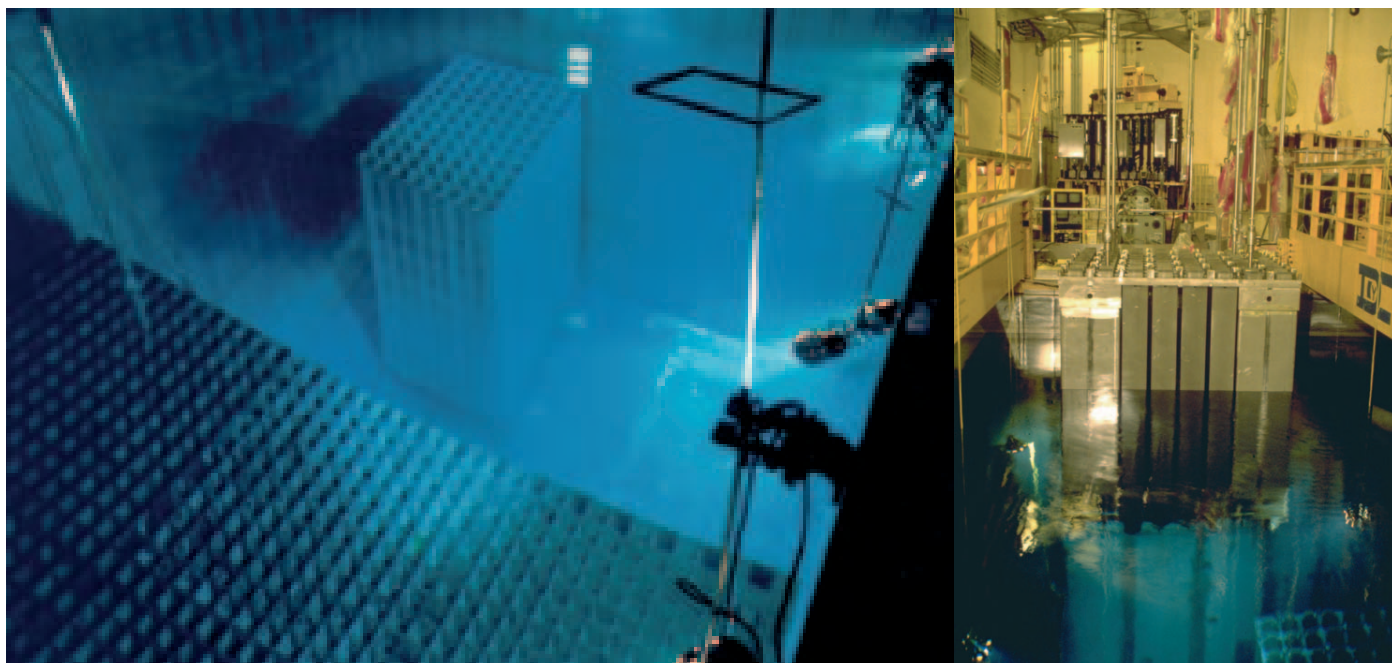


Figura 2. Cambio de bastidores en una piscina de almacenamiento.

siderar, la necesidad de almacenar residuos de alta actividad, y los plazos de almacenamiento previsible.

El almacenamiento en húmedo se realiza, básicamente, en piscinas. Éstas existen en todas las centrales nucleares y resultan imprescindibles en los primeros años posteriores a la extracción del combustible gastado del núcleo del reactor tras las recargas, cuando el combustible irradiado desprende un calor residual considerable. Igualmente, las piscinas son típicas de las instalaciones de reproceso en las que el combustible va a ser manejado y tratado bajo el agua. Su utilización en almacenamiento prolongado es menor, si bien es empleado en varias instalaciones. Por ejemplo, es la tecnología escogida en el almacén centralizado de Suecia.

El almacenamiento en seco de combustible gastado es el tipo de tecnología elegido de forma generalizada en los últimos años para almacenamientos a mayor plazo, tras un periodo de enfriamiento en piscinas. Es el caso de diversos almacenes centralizados, de centrales en las que se prevé su saturación —incluso después de haber realizado un cambio de bastidores— y en casos en que se preveía el vaciado de las piscinas para poder acometer su desmantelamiento.

Las tecnologías de almacenamiento en seco pueden, a su vez, dividirse en tres tipos de soluciones: contenedores, nichos y bóvedas.

La selección de uno u otro depende, fundamentalmente, de las cantidades a almacenar pues, en función de éstas, los costes resultan menores para una u otra solución.

Las piscinas de almacenamiento

Las piscinas de almacenamiento de las centrales presentan la ventaja de proporcionar una buena capacidad de extracción del calor y un material de blindaje de neutrones y radiación gamma bueno y barato: el agua.

Una piscina típica (figura 2) es una estructura de hormigón armado de medio a un metro de espesor, forrada con acero inoxidable y proyectada para resistir el terremoto de parada segura de la central. Esta piscina está situada, según los casos, dentro del recinto de contención del reactor o en un edificio de combustible anejo. La piscina tiene conexión con un canal de transferencia, conectado, a su vez, con la cavidad de recarga existente sobre el reactor, que se inunda durante las paradas de recarga de la central para permitir el movimiento de combustible fresco desde la

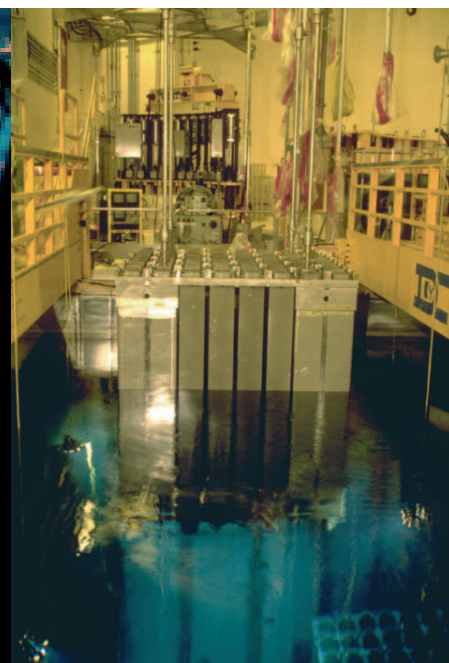


Figura 3. Comparación del mallado de los viejos bastidores (izquierda) y de los nuevos.

piscina al reactor y del combustible irradiado desde éste a la piscina.

Como sistemas auxiliares destacan los de purificación y refrigeración, en los que se recircula el agua de la piscina para mantenerla limpia y a la temperatura adecuada. En caso de fallo de este sistema, el nivel de agua iría descendiendo a causa de la evaporación, pero la temperatura no subiría por encima de los límites si el nivel se repone en un periodo de aproximadamente un mes.

El riesgo de criticidad se puede prevenir simplemente por la configuración de la colocación del combustible en la piscina. También puede contribuir la presencia de absorbentes de neutrones, bien disueltos en el agua de la piscina o formando parte de los materiales de construcción de los bastidores en los

que se coloca el combustible. Para lograr una disposición más compacta, los bastidores se sustituyen (figura 3) por otros en los que el combustible se coloca en una malla más tupida y fabricada con materiales más absorbentes de neutrones. Los bastidores instalados inicialmente en las piscinas eran de acero inoxidable. En los distintos cambios de bastidores realizados para aumentar la capacidad de las piscinas se han utilizado aceros inoxidables borados o diversas aleaciones o materiales compuestos de aluminio y boro, tales como boral, boraflex o metamic.

Almacenamiento temporal en contenedores

Hoy en día existen en el mundo diversos diseños de contenedores en uso, tanto metálicos como mixtos de acero y hormigón. Es una de las soluciones más extendidas, por resultar económica cuando se trata de gestionar cantidades limitadas de combustible. El reglamento español sobre instalaciones nucleares y radiactivas¹ exige que la utilización de estos contenedores cuente con la aprobación de su diseño

¹ Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, modificado por el Real Decreto 35/2008, de 18 de enero.

por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, previo informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear. Existe reglamentación específica² aprobada al respecto. Por brevedad nos referimos aquí tan sólo a los dos sistemas cuyo diseño está aprobado en España: el contenedor ENSA-DPT —con capacidad para ventiún elementos combustibles—, utilizado en la central nuclear de Trillo, y el sistema de contenedores HOLTEC —para 32 elementos combustibles—, adoptado para la central nuclear José Cabre-ra y previsto para Ascó.

■ El contenedor ENSA-DPT

Se trata de un contenedor metálico de doble propósito (almacenamiento y transporte), con doble envoltente, desarrollado para Enresa por ENSA, cuya aprobación de diseño data de

² Consejo de Seguridad Nuclear. Instrucción de 28 de enero de 2009, del Consejo de Seguridad Nuclear, número IS-20, por la que se establecen los requisitos de seguridad relativos a contenedores de almacenamiento de combustible gastado.

³ Resolución de la Dirección General de la Energía, de 23 de octubre de 1997, por la que se aprueba el contenedor de doble propósito ENSA-DPT como modelo de bulto para transporte tipo B(U)F y se aprueba su diseño como componente nuclear para almacenamiento.

1997³. Esta aprobación ha sido revisada en diversas ocasiones con el objetivo de adaptarse a las necesidades de la central, en especial en lo que se refiere al grado de quemado máximo. Actualmente está autorizado para combustible de alto quemado, de 49 MWd/kgU.

La masa total del contenedor cargado es 118 toneladas, con los limitadores de impacto, y está diseñado para almacenar y transportar hasta ventiún elementos combustibles PWR tipo KWU. Dispone de un sistema de contención doble, cuya estanqueidad se puede probar, capaz de alojar el combustible en condiciones normales de operación y en condiciones de accidente. Es cilíndrico y consiste, básicamente, en una envoltente interior y otra exterior, ambas de acero inoxidable, separadas por un blindaje de plomo. Las envoltentes exterior e interior están soldadas a la forja superior y, respectivamente, a la forja interior y a la exterior del fondo. La envoltente externa tiene soldado un recipiente anular de acero inoxidable, en cuyo interior se han dispuesto 36 aletas de acero inoxidable y cobre. En el espacio entre aletas se cuela un polímero sintético sólido de blindaje neutrónico.

The vault system will be used in the Spanish CTS project

Technologies for the temporary storage of spent fuel

Regardless of whatever option is adopted for the definitive management of spent nuclear fuel, one or several stages of temporary storage will be required. This has led to the development of various storage technologies, in pools or under dry conditions, the selection of which depends fundamentally on the quantities to be stored and the time periods

involved. Dry storage in vaults is considered to be the most adequate method for very long periods, since it may be accomplished passively and presents a very high degree of structural resistance. This is the technology that will be adopted in the future Spanish CTS facility project. ■

BY Pablo Zuloaga, Juan Martínez Abad, Maribel Rivera, ENRESA.

Nuclear fuel is made up of assemblies (figure 1) that are formed by a series of fuel rods with a cladding of zirconium alloy and that house ceramic pellets of uranium oxide in their interior. When these assemblies are irradiated, the nuclear absorption and fission reactions transform the material. In addition to uranium oxide, they now contain oxides of other actinides and also fission and activation products. Irradiated fuel assemblies have high levels of radioactivity, for which reason shielding is required for gamma radiation and neutrons, along with confinement against the dispersion of radionuclides. It should also be borne in mind that irradiated fuel gives off an appreciable amount of

heat and that it contains fissile materials, as a result of which the issue of criticality must be taken into account in order to prevent chain reactions.

There are proven technologies that allow for the storage of spent fuel taking into account criteria of confinement, shielding, residual heat removal and criticality. The technologies available may be classified in two major groups: wet storage and dry storage.

The adoption of one technology or another will depend on several factors, among which mention should be made of integration in the production processes, the generation of residual heat as a result of radioactive product

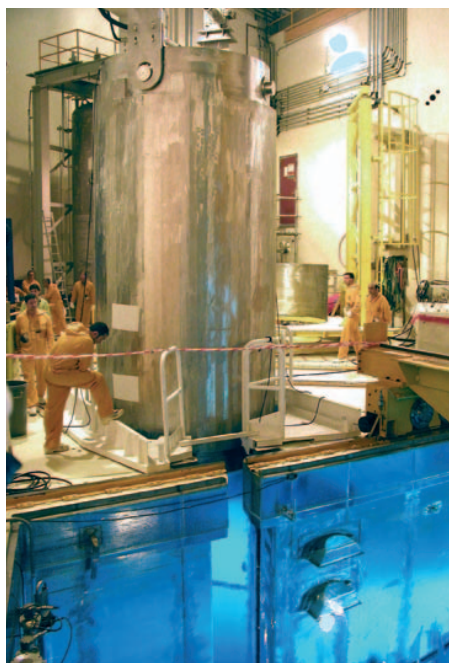


Figura 4. El contenedor ENSA-DPT.



Figura 5. Vista del interior del almacén temporal de combustible de la central nuclear de Trillo.

El contenedor ENSA-DPT (figura 4) se ha diseñado con un sistema de izado redundante, constituido por cuatro muñones de elevación fijados con pernos, de los que dos se utilizan en la operación normal, y otros dos sólo se instalarían en caso de necesidad.

El bastidor, fabricado con acero inoxidable de alta resistencia, aloja hasta un máximo de veintún elementos combustibles. Dispone de discos de soporte, fabricados en acero inoxidable endu-

recido por precipitación para soportar los tubos del combustible en los que se colocan los elementos combustibles. Estos tubos incorporan el veneno neutrónico (aluminio borado o metámic). En el bastidor tiene incorporados discos de aluminio para facilitar la evacuación de calor residual.

Para amortiguar las fuerzas de aceleración que actuarían sobre el contenedor durante el transporte, como consecuencia de las cargas de impacto derivadas de

los ensayos de caída, se han diseñado dos limitadores de impacto, incorporados en los extremos del contenedor. Estos limitadores de impacto están constituidos por una carcasa de acero inoxidable con madera en su interior.

Una vez llenos, los contenedores se trasladan al edificio de almacenamiento temporal de la central. Éste es un edificio de hormigón armado, de diseño sísmico y muros de setenta centímetros de espesor, proyectado para evacuar el

decay, the volume of waste to be considered, the need to store high level wastes and the storage periods foreseen.

Wet storage is performed basically in pools. These exist at all nuclear power plants and are essential during the first years following the removal of the spent fuel from the reactor core during refuelling outages, when the irradiated fuel gives off a considerable amount of residual heat. The pools are also typical of reprocessing facilities, at which the fuel is handled and treated under water. Their use for prolonged storage is not so widespread, although they are used at several installations. For example, they constitute the technology used at the Swedish centralised storage facility.

The dry storage of spent fuel is the technology that has generally been chosen in recent years for longer-term storage following a period of cooling in pools. This is the method used at several centralised storage facilities, at nuclear power plants where saturation of the pools is foreseen, even following re-racking, and in those cases in which the emptying of the pools has been performed with a view to dismantling.

The dry storage technologies may in turn be divided into three types of solutions: casks, niches and vaults.

The selection of one or another of these options will depend fundamentally on the amounts to be stored, since the costs will be lower for one solution or another depending on this variable.

Storage pools

The plant storage pools present the advantage of providing a good heat removal capacity and a neutron and radiation shielding material that is both good and inexpensive: water.

A typical pool (figure 2) is a reinforced concrete structure measuring between half a metre and one metre in thickness, lined with stainless steel, and designed to withstand the plant safe shutdown earthquake. Depending on each individual case, this pool may be located inside the reactor containment building or in an adjacent fuel building. The pool is connected to a transfer channel, which is in turn connected to the refuelling cavity located above the reactor, which is flooded during plant refuelling outages to allow fresh fuel to be moved from the pool to the reactor and irradiated fuel from the reactor to the pool.

Particularly important among the auxiliary systems are those for cleansing and cooling, in which the water in the pool is recirculated in order to keep it clean and at the correct temperature. In the event of failure of this system, the water level would drop as a result of evaporation, but the temperature would not rise above the limits as long as the level were recovered within approximately one month.

The risk of criticality may be prevented simply by the configuration of the fuel in the pool. The presence of neutron absorbers, either dissolved in the pool water or as part of the materials used for the construction of the racks in which the fuel is placed, may also contribute in this respect. In order to achieve a more

calor residual del combustible por convección natural. El manejo en su interior se realiza con un puente grúa (figura 5, en la página 13).

■ **El sistema HOLTEC International de contenedores herméticos de acero dentro de módulos de blindaje de hormigón**

Este sistema es el utilizado en la central José Cabrera⁴, en la que la totalidad del combustible existente previamente en su piscina fue almacenada, en 2009, en la instalación de almacenamiento temporal (figura 6), en la que se han depositado doce módulos. También está solicitada la aprobación de un sistema similar para su utilización en la central de Ascó.

Se trata de un sistema de contenedores, en el que los principales componentes son:

- La cápsula de almacenamiento multipropósito (MPC).
- El módulo de almacenamiento que proporciona blindaje, permitiendo la refrigeración por convección natural (HI-STORM).

⁴ Dirección General de Política Energética y Minas. Resolución por la que se aprueba el diseño del sistema de almacenamiento en seco HOSTORM 100 para el combustible de la central nuclear José Cabrera, de 8 de agosto de 2006.



Figura 6. Colocación del último módulo de almacenamiento en seco de combustible gastado en el almacén temporal de la central nuclear José Cabrera.

- El contenedor de transferencia entre la piscina y el módulo de almacenamiento y entre éste y el contenedor de transporte (HI-TRAC).

El sistema se complementa con un contenedor de transporte al exterior (HI-STAR).

La cápsula es un contenedor de acero inoxidable, con un bastidor de acero inoxidable para 32 elementos combustibles PWR que tiene un grado de

quemado máximo de 55 MWd/kgU d. El bastidor usa el material compuesto borado metamic como absorbente neutrónico. La cápsula vacía, colocada dentro del contenedor de transferencia, se sumerge en la piscina, para su llenado. Una vez llena, se traslada a una zona de operación en donde, siempre dentro del contenedor de transferencia, se procede a las siguientes operaciones:

- compact arrangement, the racks are replaced (figure 3) with others in which the fuel is placed in the form of a finer grid manufactured with more neutron absorbing materials. The racks initially installed in the pools were of stainless steel. In the different re-racking operations performed to increase the capacity of the pools, borated stainless steels have been used, along with different alloys or composites of aluminium and boron, such as boral or boraflex or metamic.

Temporary storage in casks

There are currently several different cask designs in use across the world, both metallic and mixed steel and concrete units. This is one of the most widely used solutions since it is economically effective when limited quantities of fuel are to be managed. The Spanish regulations on nuclear and radioactive facilities¹ require that in order for these casks to be used, their design should be approved by the Ministry of Industry, Tourism and Trade, following a favourable report by the Nuclear Safety Council. Specific regulations² have been approved in this respect. In the interests of brevity, we shall refer only to the two systems whose design has been approved in Spain: the ENSA-DPT cask, with a capacity for 21 fuel assemblies, used at Trillo nuclear power plant, and the HOLTEC system of casks, for 32 fuel assemblies, adapted for the José Cabrera nuclear power plant and foreseen also for use at Ascó.

■ **The ENSA-DPT cask**

This is a dual purpose (storage and transport) double wrapper cask developed for Enresa by ENSA, the design approval of which dates back to 1997³. This approval has been revised on several occasions for adaptation to the needs of the plant, especially in relation to the maximum degree of burnup. At present it is authorised for high burnup fuel, of 49 MWd/kgU.

The total mass of the loaded cask is 118 tons, with the impact limiters, and it is designed to store and transport up to 21 KWU type PWR fuel assemblies. The cask has a double containment system, the leaktightness of which can be checked, capable of housing the fuel under normal operating and accident conditions. The cask is cylindrical and consists basically of an inner liner and an outer wrapper, both of stainless steel, separated by a layer of lead shielding. These inner and outer shells are welded to the upper forging and, respectively, to the lower inner and outer forgings. The outer wrapper has welded to it an annular recipient of stainless steel, inside which 36 stainless steel and copper fins are arranged. A solid synthetic neutron shielding polymer is inserted in the space between fins.

The ENSA-DPT cask (figure 4) has been designed with a redundant hoisting system consisting of four lifting trunnions attached by means of bolts; two of these are used during normal operation and the other two would be installed only if necessary.

— Colocación de la tapa de acero inoxidable.

— Soldadura automática de la tapa a la cápsula, previo vaciado parcial de agua.

— Drenaje y llenado con helio a presión.

— Secado mediante recirculación de helio a través de una máquina de deshidratación por condensación mediante enfriamiento.

— Cierre de los tapones y retirada de las tubuladuras de venteo y drenaje.

— Colocación y soldadura de las tapas de las tubuladuras de venteo y drenaje.

— Colocación y soldadura de la doble tapa de sellado redundante.

— Traslación del contenedor de transferencia hasta colocarlo sobre el módulo de almacenamiento.

— Transferencia de la cápsula del contenedor de transferencia al módulo de blindaje (figura 7).

— Traslación del módulo de almacenamiento a la losa de almacenamiento con ayuda de un vehículo pesado de traslación

— Depósito en la zona de almacenamiento

El combustible queda, pues, almacenado dentro de la cápsula hermética

ca en una atmósfera inerte de helio seco.

Almacenamiento en nichos

La tecnología de almacenamiento en nichos como la de Nuhoms (figura 8), es muy similar a la descrita para los contenedores. El combustible está, igualmente, depositado en cápsulas, y las funciones de blindaje son principalmente proporcionadas por una estructura fija de hormigón armado.

Almacenamiento en bóvedas

El sistema de almacenamiento en bóvedas ha sido utilizado en muchas instalaciones europeas para el almacenamiento temporal de combustible gastado y de residuos de alta actividad. El combustible se almacena en un sistema de barreras múltiples, básicamente compuesto por: una cápsula de almacenamiento y un tubo de almacenamiento. La cápsula y el tubo o pozo de almacenamiento son de acero inoxidable.

De forma resumida, las cápsulas —que tienen un bastidor donde se aloja el combustible, y que contienen helio seco— se almacenan dentro de unos tubos soldados rellenos de argón o nitrógeno, de modo que también se

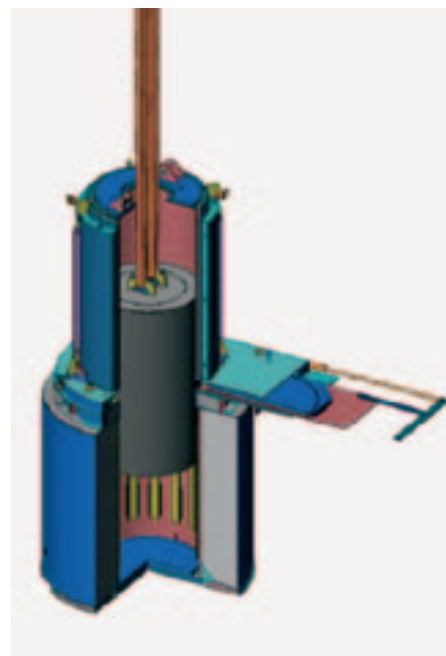


Figura 7. Esquema de la transferencia de una cápsula multipropósito HOLTEC al módulo de almacenamiento.

tiene una atmósfera inerte, tanto en el interior como en el exterior de la cápsula, permitiendo simultáneamente la detección de fugas de helio. Los tubos de almacenamiento están montados dentro de unos tubos concéntricos de refrigeración por los que circula aire por tiro natural, de modo que se extrae el calor residual del combustible y los residuos de alta actividad sin que se

The racks, manufactured from high strength stainless steel, house up to 21 fuel assemblies. They have precipitation hardened stainless steel disks to support the fuel tubes in which the fuel assemblies are placed. These tubes incorporate the neutron poison (borated aluminium or metamic). The racks incorporate aluminium disks to facilitate the removal of residual heat.

Two impact limiters are incorporated at the ends of the cask, designed to dampen the forces of acceleration that would act on the cask during transport, as a result of the impact loads deriving from drop testing. These impact limiters are made up of a shell of stainless steel with a wooden filling.

Once filled, the casks are transferred to the plant temporary storage building. This is a seismic class reinforced concrete building with walls measuring 70 centimetres in thickness, designed to remove the residual heat of the fuel by natural convection. Handling operations inside this building are performed using a gantry crane (figure 5).

■ The HOLTEC International system of leaktight steel casks inside concrete shielding modules

This system is used at the José Cabrera plant⁴, at which in 2009 all the fuel previously existing in the pool was transferred to the temporary storage fa-

cility (figure 6), where twelve modules have been installed. Approval has also been requested for a similar system for use at the Ascó plant.

The system is made up of a series of containers, the main components of which are as follows:

- The multi-purpose storage capsule (MPC).
- The storage module, which provides shielding and allows for cooling by natural convection (HI-STORM).
- The cask for transfer from the pool to the storage module and from here to the transport cask (HI-TRAC).

The system is complemented with a cask for transport off site (HI-STAR).

The capsule is a stainless steel container with a stainless steel rack for 32 PWR fuel assemblies with a maximum degree of burnup of 55 MWd/kgU d. The rack uses the borated composite material metamic as a neutron absorber. The empty capsule, placed inside the transfer container, is submerged in the pool for filling. Once full, it is transferred to an operating area where, always inside the transfer container, the following operations are performed:

- Positioning of the stainless steel cover.
- Automatic welding of the cover to the capsule, following partial removal of the water.
- Drainage and filling with pressurised helium.



Figura 8. Instalación de almacenamiento temporal en nichos. A la derecha, introducción de un contenedor.

superen las temperaturas máximas admisibles para el almacenamiento prolongado en seco.

Se dispone, así, de una estructura compacta, adecuada para cantidades considerables de combustible.

Éste es el sistema óptimo para las cantidades de combustible del programa español, unas 7.000 toneladas, por lo que es el previsto para el Almacén Temporal Centralizado (ATC) y la base del diseño genérico⁵ de dicha instalación, apreciado favorablemente por el Consejo de Seguridad

⁵ Enresa. Almacén Temporal Centralizado (ATC). Descripción, criterios de diseño y evaluación de la seguridad. 042-ET-IA-0002, Rev. 0. mayo de 2006.

Nuclear en 2006⁶. La figura 9 de la página siguiente muestra una instalación típica de almacenamiento en bóvedas.

En la figura 10, en la página 18, se muestra una sección longitudinal de la instalación del ATC, en la que se observa cómo se podría implantar esta tecnología de bóvedas.

Las bóvedas presentan espesores de blindaje cercanos a los dos metros que, además, proporcionan al sistema de almacenamiento una gran resis-

⁶ Consejo de Seguridad Nuclear. ARAA-ATC-O6-01, de 29 de junio de 2006, por la que se comunica el acuerdo del CSN de apreciar favorablemente la solicitud de Enresa sobre el diseño genérico de la instalación ATC.

tencia estructural ante riesgos naturales y acciones del hombre.

Además de las bóvedas de almacenamiento, la instalación del ATC dispone de zonas de recepción y descarga de los contenedores de transporte, zonas de proceso para la apertura de dichos contenedores y su acoplamiento a las celdas de manipulación, así como una celda de manipulación en la que se realiza la transferencia y encapsulamiento del combustible. Esta celda tiene gruesos muros de blindaje y su ambiente está confinado. Todas las operaciones previstas en su interior se hacen a distancia.

El combustible se extrae del contenedor de transporte y, posteriormente, se introduce en el interior de la cápsu-

- — Drying through recirculation with helium by means of a dehydration machine based on condensation by cooling.
 - Closure of plugs and removal of venting and drains tubing.
 - Positioning and welding of vent and drains tubing covers.
 - Positioning and welding of the double redundant sealing cover.
 - Movement of the transfer container and positioning over the storage module.
 - Movement of the transfer container capsule to the shielding module (figure 7).
 - Transfer of the storage module to the storage slab with the help of a heavy transfer vehicle.
 - Depositing in the storage area.
- Consequently, the fuel remains stored inside the hermetically sealed capsule in an inert atmosphere of dry helium.

Storage in niches

The technology of storage in niches, such as the Nuhoms technology (figure 8), is very similar to that described above for casks. In this case also the fuel is placed inside capsules and the shielding function is provided mainly by a fixed structure of reinforced concrete.

Storage in vaults

The vault storage system has been used at many European facilities for the temporary storage of spent fuel and high level wastes. The fuel is stored in a multiple barrier system consisting basically of a storage capsule and a storage tube. Both the capsule and the storage tube or well are made of stainless steel.

In summary, the capsules, which include a rack housing the fuel and contain dry helium, are stored inside welded tubes filled with argon or nitrogen, such that there is an inert atmosphere both inside and outside the capsule, allowing simultaneously for the detection of helium leaks. The storage tubes are mounted inside concentric cooling tubes through which air circulates by natural draught, such that the residual heat is removed without the maximum permissible temperatures for long-term dry storage being exceeded.

This provides a compact structure suitable for considerable quantities of fuel.

This is the optimum system for the quantities of fuel involved in the Spanish programme, some 7,000 tons, and is therefore the system contemplated for the Centralised Temporary Storage (CTS) facility and the basis for the generic design⁵ of this installation, which was favourably appraised by the Nuclear Safety Council in 2006⁶. Figure 9 shows a typical vault storage installation.

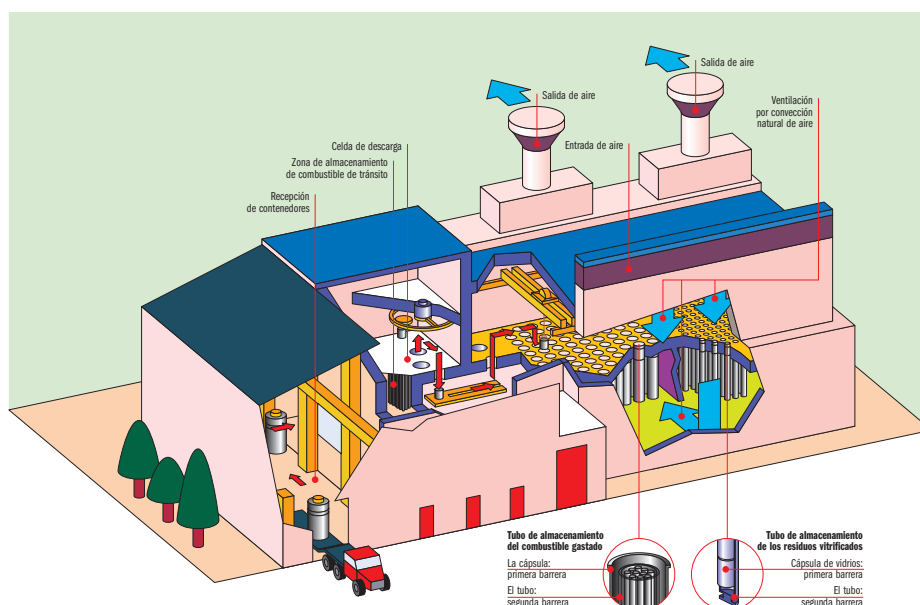


Figura 9. Esquema típico de una instalación de almacenamiento en bóvedas.

la de almacenamiento. Ésta se llena de helio y se sella, enviándose a la zona de almacenamiento en bóvedas con ayuda de un contenedor blindado de transferencia. La cavidad formada entre los tubos de almacenamiento y de refrigeración permite la circulación del aire de enfriamiento sin que éste entre en contacto con la cápsula ni, con mayor razón, con el combustible almacenado. El aire de cada una de las bóvedas sale por una chimenea, a unos 72 °C. En el diseño del ATC se han previsto doce

bóvedas, de las que una sería de reserva. El calor residual máximo del combustible gastado, al ser introducido en las bóvedas, es de unos 2 kW por elemento. En el caso de una bóveda que se llenara con el combustible más caliente, se tendría un calor residual máximo de unos 1.400 kW por bóveda, que iría disminuyendo paulatinamente hasta unos 100 kW por bóveda al cabo de sesenta años.

Un ATC se completa con las instalaciones de almacenamiento tem-

poral de residuos de media actividad que, por su menor actividad, no requieren ser depositadas en los tubos refrigerados, y de instalaciones auxiliares, que dan apoyo al funcionamiento del conjunto.

En el proyecto del ATC español se ha previsto⁷ que la instalación de almacenamiento forme parte de un parque tecnológico que incluiría, además, un centro tecnológico con un laboratorio de combustible y residuos destinado principalmente a la investigación sobre el comportamiento del combustible y los materiales en el largo plazo, y el estudio de las distintas posibles vías de gestión. El conjunto integraría, además, un parque empresarial que contribuirá a disponer de un entorno industrial.

Conclusiones

Existen tecnologías probadas para almacenar de forma prolongada el

⁷ Resolución de 23 de diciembre de 2009, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se efectúa la convocatoria pública para la selección de los municipios candidatos a albergar el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos de alta actividad (ATC) y su centro tecnológico asociado. BOE, 29 de diciembre de 2009.

Figure 10 shows a longitudinal cross-section of the CTS facility, where it may be appreciated how this vault technology might be implemented.

The vaults have shielding thicknesses of almost two metres, which also provide the storage system with a high degree of structural resistance to natural risks and the actions of mankind.

In addition to the storage vaults, the CTS facility has areas for the reception and unloading of the transport casks, processing areas for the opening of these casks and their coupling to the handling cells, and a handling cell in which the transfer and encapsulation of the fuel is performed. This cell is equipped with thick shielding walls and its environment is confined. All the operations carried out inside this cell are performed remotely.

The fuel is removed from the transport cask and is subsequently placed inside the storage capsule. This is filled with helium and sealed and is transferred to the vault storage area with the help of a shielded transfer cask. The cavity formed between the storage and the cooling tubes allows cooling air to circulate without coming into contact with the capsule or, even more important, with the fuel stored inside. The air from each of the vaults leaves via a stack at a temperature of some 72 °C. Twelve vaults have been foreseen in the design of the CTS facility, one of which would be kept in reserve. The maximum residual heat of the spent fuel, on being placed in the

vaults, is some 2 kW per assembly. In the case of a vault filled with the hottest fuel, the maximum residual heat would amount to some 1,400 kW per vault, which would gradually decrease to around 100 kW per vault after sixty years.

A CTS facility is completed with installations for the temporary storage of intermediate level wastes, which in view of their lower activity do not need to be placed in cooled tubes, and with auxiliary installations providing support for the operation of the facility overall.

The Spanish CTS project contemplates⁷ the storage facility being part of a technology park that would also include a technology centre equipped with a fuel and waste laboratory to be used mainly for research into the long-term behaviour of the fuel and materials and the different possible management routes. The overall complex would also integrate a business park contributing to providing an industrial environment.

Conclusions

Proven technologies exist for the prolonged storage of the spent fuel from nuclear power plants, both in pools and under dry conditions.

Dry storage is considered to be the most adequate option for very long periods since it may be passive and, therefore, have fewer surveillance re-

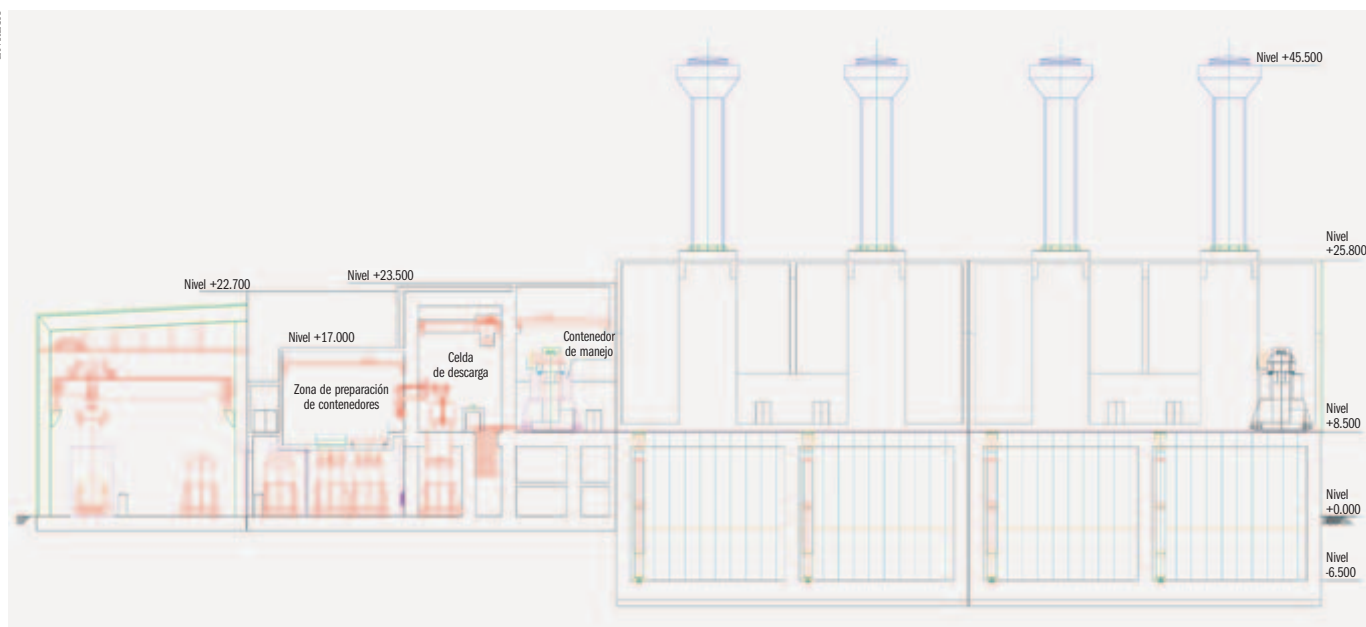


Figura 10. Sección longitudinal del Almacén Temporal Centralizado (ATC).

combustible gastado de las centrales nucleares, tanto en piscinas como en seco.

El almacenamiento en seco se considera más adecuado para periodos muy largos por poder realizarse de forma pasiva, por lo que tiene menos requisitos de vigilancia. Además, el almacenamiento en seco presenta, en general, una gran resistencia estructural.

Todos los sistemas de almacenamiento en seco se desarrollan con los

mismos objetivos de seguridad y la misma referencia normativa. Cada sistema (diversos tipos de contenedores, nichos o bóvedas) representa una variante, cuya elección depende de factores tales como la cantidad de combustible a gestionar. El sistema de bóvedas es el más adecuado para las cantidades y plazos de almacenamiento previsto para el ATC español. En este sistema, el combustible queda almacenado en condiciones que permiten plazos prolongados, encap-

sulado en gas inerte seco, a temperaturas relativamente bajas: las cápsulas se almacenan en las mejores condiciones desde el punto de vista de conservación. Disponer de celdas de manejo permite prever la recuperabilidad del combustible almacenado en el momento en que se considere conveniente independizando la gestión a medio plazo del combustible de la adopción de decisiones sobre opciones futuras de gestión a largo plazo. ■

► requirements. Furthermore, dry storage generally presents a high degree of structural resistance.

All dry storage systems are developed with the same safety objectives and the same reference standards. Each system (various types of casks, niches or vaults) represents a variation and a possible option whose choice depends on factors such as the quantity of fuel to be managed. The vault system is the most adequate for the quantities and storage periods foreseen for the Spanish CTS facility. In this system the fuel is stored under conditions that allow for long periods, encapsulated in dry inert gas at relatively low temperatures. The capsules are stored under the best conditions from the point of view of conservation. The availability of handling cells would allow the stored fuel to be recovered whenever this might be considered appropriate, thus making the medium-term management of the fuel independent from the adoption of decisions regarding future long-term management options.

Notes:

¹ Royal Decree 1836/1999, of December 3rd, approving the Regulation on Nuclear and Radioactive Facilities, modified by Royal Decree 35/2008, of January 18th.

² Nuclear Safety Council. Nuclear Safety Council Instruction IS-20 of January 28th 2009, establishing safety requirements applicable to spent fuel storage casks.

³ Resolution of the Directorate General for Energy of October 23rd 1997, approving the ENSA-DPT dual purpose cask as the B(U)F type transport package model and approving its design as a nuclear component for storage.

⁴ Directorate General for Energy Policy and Mines. Resolution approving the design of the HI-STORM 100 dry storage system for the fuel from the José Cabrera nuclear power plant, August 8th 2006.

⁵ Enresa. Centralised Temporary Storage (CTS) facility. Description, design criteria and safety assessment. 042-ET-IA-0002, Rev. 0. May 2006.

⁶ Nuclear Safety Council. ARAA-ATC-06-01, of June 29th 2006, communicating the CSN agreement to report favourably on Enresa's request regarding the generic design of the CTS facility.

⁷ Resolution of December 23rd 2009, by the Secretary of State for Energy, initiating the public call for the selection of candidate municipalities to house the site for the Centralised Temporary Storage (CTS) facility for spent nuclear fuel and high level wastes and associated technology centre. Official State Gazette of December 29th 2009. ■

30/9/2010 y 1-2/10/2010 Córdoba

PERIODISMO Y MEDIOAMBIENTE

XIII SEMINARIO INTERNACIONAL

JUEVES, 30 DE SEPTIEMBRE

- 11:30 h Inauguración oficial
- 12:00 h Presentación del XIII Seminario.
José María Montero, Director del Seminario Internacional de Periodismo y Medio Ambiente
- 12:30 h Conferencia inaugural
"El compromiso ambiental en la Europa del siglo XXI" **Manuel Marín**, Presidente de la Fundación Iberdrola. Ex - Presidente del Congreso de los Diputados. Ex - Vicepresidente de la Comisión Europea.
- 13:15 h Coloquio
- 14:00 h Presentación del almuerzo elaborado con productos ecológicos en colaboración con la Asociación CAAE
- 14:30 h Almuerzo
- 16:00 h Diálogos Prensa-Ciencia
"2010, el año de la biodiversidad: ¿llegamos tarde?" **Pilar Álvarez-Uría**, Responsable del área de Biodiversidad en el Observatorio de la Sostenibilidad en España (Universidad de Alcalá de Henares). **Arturo Larena**, Periodista ambiental y responsable de Efe Verde
- 16:45 h Coloquio
- 17:30 h Talleres: Presentación y sesión teórica Periodismo ambiental en Internet. **Clemente Álvarez** Televisión on line. **Graziella Almendral**
- 19:00 h Asignación de hoteles. Fin de la jornada

VIERNES, 1 DE OCTUBRE

- 08:00 h a 09:30 h
Visita opcional a la Mezquita Catedral de Córdoba
- 10:00 h Conferencia magistral
"Periodismo y compromiso" **Jesús Quintero**, Periodista
- 11:00 h Coloquio
- 11:45 h Café
- 12:15 h Diálogos Prensa-Ciencia. "Tiempo y clima en los medios de comunicación" **Ángel Alcázar**, Jefe del Área de Predicción Operativa, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). **Florenci Rey**, Meteorólogo. Responsable de la información meteorológica en Cuatro y Cadena Ser
- 13:00 h Coloquio
- 13:45 h Presentación de la revista *Métode*
Martí Domínguez, Profesor de Periodismo en la Universidad de Valencia y Director de la revista *Métode*
- 14:15 h Almuerzo
- 16:00 h Diálogos Prensa-Ciencia
"Los periodistas en España: cómo nos vemos, cómo nos ven". **Pedro Fariñas**, Profesor de la Facultad de Periodismo de la Universidad de Málaga y Director del Informe Anual de la Profesión Periodística en España (Universidad de Málaga-Asociación de la Prensa de Madrid). **Fernando González Urbaneja**, Presidente de la Asociación de la Prensa de Madrid.
- 16:45 h Coloquio

- 17:30 h Talleres
Periodismo ambiental en Internet. **Clemente Álvarez** Televisión on line. **Graziella Almendral**
- 19:30 h Presentación y sesión teórica
Taller de fotografía de naturaleza. **Antonio Sabater**
- 20:15 h Fin de la jornada
- 21:30 h Cóctel-cena ofrecido por el Ayuntamiento de Córdoba

SÁBADO 2 DE OCTUBRE

- 08:00 h Salida hacia El Cbril
- 10:00 h Taller de Fotografía de Naturaleza. **Antonio Sabater**
- 12:00 h Viviendo El Cbril
Presentación y visita a las instalaciones del Almacén Centralizado de Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad
- 13:30 h Almuerzo
- 15:30 h Regreso a Córdoba
- 17:30 h Llegada a Córdoba

Información:

La inscripción al Seminario debe realizarse antes del 31 de agosto de 2010 en la página web de enresa: www.enresa.es

Cuota de inscripción:

La cuota de inscripción es de 200 €, cantidad que cubre viajes, alojamiento y manutención según programa. Para las personas que asistan al Seminario directamente desde Córdoba, la cuota de inscripción será de 50 €. Existe un programa de becas con distintas facultades de comunicación y diversas instituciones autonómicas y nacionales. El precio de asistencia al Seminario, si goza de beca, es de 100€ en concepto de inscripción, viajes, alojamiento y manutención según programa.

Inscripción al Seminario:

El pago de la cuota ha de hacerse mediante una transferencia a la cuenta corriente 0182 3999 31 0000045386 bajo el concepto "Pago Seminario Periodismo de Córdoba", indicando tu nombre y apellidos. La inscripción será efectiva una vez se reciba en Enresa el justificante de pago, ya sea por correo postal a: Dirección de Comunicación, a la atención de Nieves Sánchez, Calle Emilio Vargas 7, 28043 Madrid; o por correo electrónico, nsal@enresa.es.

También es necesario hacer la inscripción en el taller. Una vez inscrito no se devuelve el dinero, pero sí se permite un cambio de asistente.

Créditos:

Los asistentes al seminario que estén interesados en obtener créditos de libre configuración deberán remitir un mensaje con sus datos personales a: seminario_enresa@yahoo.es

Para más información:

Nieves Sánchez Losa. TLF: 915 668 264. E-mail: nsal@enresa.es, www.enresa.es

Organizan: **enresa** **EFE**
Fundación



La ministra de Ciencia e Innovación, Cristina Garmendia (San Sebastián, 1962), hizo su doctorado en Biología Genética bajo la supervisión de la científica española de mayor relieve, Margarita Salas. Es decir, conoció de primera mano la excelencia científica aunque su inquietud también le llevó por el camino empresarial y, tras hacer un MBA (Master in Business Administration), fundó la compañía de biomedicina Genetrix. Llevaba años en consejos de administración, en el comité ejecutivo de la patronal Asebio y en fundaciones científicas cuando el presidente del Gobierno le confió la creación de un departamento que, según José Luis Rodríguez Zapatero, debía ayudar a las empresas a innovar y convertir el conocimiento científico y tecnológico en crecimiento económico. Cuando se han cumplido dos años de su mandato, Garmendia cree que es “el momento” de que el potencial científico de España —novena potencia científica mundial— se corresponda con la innovación —en la que ocupa el puesto decimoséptimo— y se traduzca en la riqueza y el bienestar que el país precisa justo en estos momentos de crisis. ■ POR **Concha Barrigós**, PERIODISTA.

*Cristina Garmendia,
ministra de Ciencia
e Innovación* “Es el momento
de **traducir en riqueza**
el potencial científico
español”

— *En el último Consejo de Ministros de Competitividad, en el mes de mayo, usted adelantó que no se preveía un recorte a finales de 2010 en los presupuestos globales dedicados a su cartera, y que España quería cumplir el objetivo europeo de inversión del 3% del PIB en esa materia para 2020. ¿Está garantizada la plena operatividad del sistema científico español?*

— Nuestro presupuesto global crece respecto a 2009 y esto es muy relevante en un contexto de necesaria austeridad al que estamos obligadas todas

las administraciones. Tenemos los recursos suficientes y el mejor presupuesto que este país se puede permitir en las actuales condiciones. El hecho de que el sistema pueda mantener plenamente operativas sus capacidades de ciencia, todos los programas en curso financiados y lanzar nuevos proyectos para este año 2010 es todo un privilegio para este país. Y ello es posible gracias a la apuesta de este Gobierno por un cambio de modelo productivo que es necesariamente lento, pero que ya había comenzado antes

de la crisis, y que ahora resulta más urgente culminar. Ésa es nuestra más destacada prioridad en el Ministerio.

— *¿Está pendiente la reestructuración de los Organismos Públicos de Investigación (OPI). ¿Se va a poder hacer y en los términos planteados originalmente?*

— La reestructuración de los OPI está contemplada en la nueva Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación y se llevará a cabo después de su aprobación. Los términos en los que se desarrolla están abiertos a debate y se fija-



rán teniendo en cuenta los puntos de vista de los implicados y buscando el beneficio para todos ellos. El elemento más importante para poder realizar una reestructuración de los OPI viene dado por el personal. En la actualidad, existen en los OPI un número importante de escalas de personal, sujetas a regímenes jurídicos diferentes, lo que impide, de hecho, la reestructuración, dado que hacerla pudiese significar situar en uno de ellos a personas que realizan iguales o parecidas funciones pero con regímenes dis-

tintos. El primer paso, pues, para la reestructuración es la homogeneización de las escalas de personal.

— *Está también pendiente la implantación de la Agencia Estatal de Financiación, que afectará a más de la mitad de su departamento. ¿Para cuándo estará listo?*

— Ya se está trabajando en los estatutos de la Agencia para que estén preparados en el momento en el que se apruebe la ley. No hay una fecha exacta fijada, pero la elaboración de estos estatutos se finalizará en paralelo a la

propia tramitación parlamentaria de la ley.

— *¿Cómo quedará el diseño de la carrera investigadora?*

— En la primera etapa de la carrera, la ley prevé un nuevo sistema de contratación para los jóvenes investigadores, sustituyendo el sistema de becas por contratos con todas las prestaciones sociales, algo que, por el momento, sólo tienen los países social y científicamente más avanzados. Con ello esperamos despertar nuevas vocaciones científicas y retener a los mejores. En la etapa de acceso al sistema de I+D se plantea un contrato temporal de cinco años de duración máxima, con una evaluación que se podrá realizar a partir del segundo año de contrato. El resultado de esta evaluación se tendrá en cuenta como mérito en los procesos selectivos para los contratos laborales fijos que convoquen las Universidades, los OPI o los centros de investigación autonómicos.

— *¿Cómo está España en cultura científica? ¿Podemos medirnos con otros países de nuestro entorno?*

— El cambio de modelo productivo por el que trabajamos no puede ocurrir si no involucramos a la ciudadanía. En España, la cultura científica —el nivel de interés e información— ha crecido desde 2004, según el último estudio de percepción social de la ciencia de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Ha disminuido el número de personas que creen que la formación científica recibida es muy baja y ha aumentado la proporción de quienes consideran ese nivel normal. Para este departamento es clave fomentar la cultura científica de la ciudadanía y por eso pusimos en marcha el Plan Nacional de Cultura Científica y de la Innovación, y en el Proyecto de Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación se ha incluido el objetivo de promover esa cultura a través de la educación, la formación y la divulgación. El Eurobarómetro de 2005, el último disponible sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad, sitúa a España en la media europea en asistencia a museos de ciencia y además, y como dato curioso, los españoles tienen una visión más positiva

Objetivo: innovación

La ministra de Ciencia e Innovación está decidida a conseguir que en 2015 España iguale en materia de innovación, al menos, el puesto que ocupa en el *ranking* mundial como potencia científica; es decir, que avance desde el decimoséptimo lugar al noveno, y para ello su ministerio ha definido lo que denominan la Estrategia Estatal de Innovación.

La primera actuación que han puesto en marcha desde el ministerio para conseguir ese objetivo es el Plan Innovación 2010, donde se recogen las líneas estratégicas y las acciones concretas de este departamento para el fomento de la innovación y contribución al cambio de modelo productivo.

El Plan Innovación 2010 supone una inversión directa en I+D+i de 2.600 millones de euros para todas las actuaciones convocadas en el año 2010. Se estructura en siete convocatorias competitivas, cuatro acciones financiadas y tres iniciativas de carácter no financiero. Con esa iniciativa esperan que se generen más de 93.000 empleos cualificados y 3.900 nuevas empresas innovadoras o empresas que empiecen a innovar. Además, pretenden retornar cerca de 700 millones de euros de la Unión Europea y movilizar 5.000 millones de euros de inversión privada en I+D+i.

La Estrategia Estatal de Innovación se desarrolla también a través de los programas de ayudas del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI, organismo adscrito al Ministerio de Ciencia e innovación), de las acciones interministeriales, o las acciones en cooperación con comunidades autónomas, entre otras actuaciones. ■

de la ciencia que sus conciudadanos europeos: el 57% de los españoles consideran que los beneficios de la ciencia están por encima de los perjuicios, frente al 52% de la media europea.

— *Su departamento espera movilizar más de 2.600 millones de euros para fomentar la innovación en 2010, con lo que pretende que 3.900 empresas se sumen a esta actividad para generar 93.000 empleos cualificados. ¿Qué cree que le falta al sistema científico español? ¿Eficiencia?*

— España es la novena potencia científica mundial gracias al esfuerzo presupuestario que ha realizado el Gobierno en los últimos años. Sin embargo, en materia de innovación estamos en una posición alejada de estos puestos —en el decimoséptimo— y creemos que es el momento de traducir el potencial investigador con el que cuenta nuestro país en innovación, y lograr que los resultados de la investigación se incorporen a productos, servicios y procesos que generen riqueza y bienestar. Con ese objetivo se ha definido la Estra-

tegia Estatal de Innovación, con la que pretendemos posicionar a España en el noveno puesto de la innovación a nivel mundial en 2015.

— *¿Hay en España el conocimiento suficiente para construir el cambio de modelo productivo que parece necesario? ¿Es más importante que nunca trabajar en los “refejentes y fortalezas” del país?*

— Somos conscientes de la gravedad de la crisis, pero también del papel que la innovación puede tener en este momento para salir reforzados de ella. Precisamente ahora es el momento de apostar, como país, por la innovación como palanca de recuperación económica. La crisis no ha hecho sino poner en evidencia la necesidad de avanzar en el cambio de modelo. Pero es que además, y a diferencia de lo que ocurría hace apenas unos años, es justamente ahora cuando estamos preparados para ello. Y lo estamos gracias a la apuesta por la ciencia que ha realizado nuestro país en los últimos años, una apuesta que nos ha permitido acumular un importante capi-

tal científico y tecnológico que hoy podemos poner en valor. Nuestro compromiso es optimizar los recursos y las capacidades acumuladas en los últimos años por el Sistema Español de Ciencia y Tecnología para que contribuyan a nuestra recuperación económica y a construir un nuevo modelo productivo y de desarrollo social para nuestro país. Hay que recordar que somos uno de los pocos países del mundo que están por encima de la media de la OCDE en inversión pública en I+D respecto al PIB, mientras que hace sólo unas décadas ocupábamos el puesto número treinta.

— *¿La universidad hace sus deberes? ¿Han identificado correctamente sus “fortalezas”?*

— La universidad hoy ejecuta el 60% de los presupuestos de investigación y desarrollo. Es un agente fundamental en la generación de conocimiento. Las universidades españolas deben entrar en el camino de la especialización, identificar sus fortalezas y proyectarlas internacionalmente.



MICINN

— ¿Está satisfecha con el desarrollo de la Presidencia Europea en lo que se refiere a ciencia e innovación?

— España tiene un modelo de política científica y tecnológica que está dando importantes frutos, y así lo ha considerado Europa a lo largo de esta presidencia, con una recepción muy positiva de todas nuestras propuestas. En este sentido, estoy plenamente satisfecha con los resultados alcanzados. Tras los dos Consejos de Competitividad celebrados durante nuestra presidencia —en marzo y en mayo—, hemos cumplido con éxito la totalidad del programa comprometido al inicio de nuestro turno, y ello teniendo en cuenta que al comenzar el mandato sabíamos que por delante teníamos retos difíciles, al entrar en vigor un nuevo Tratado y una nueva Comisión.

— Entonces, ¿se han cumplido sus objetivos?

— Sí. El balance es muy positivo porque, a pesar de las dificultades, hemos cumplido íntegramente nuestro programa, contribuyendo a mejorar aspectos

muy concretos como, por citar algunos, la investigación básica de excelencia, las oportunidades de los investigadores y tecnólogos, la gestión y despliegue del mapa europeo de infraestructuras científicas, la conexión entre las políticas de investigación y de innovación, o las oportunidades de los excluidos para que la I+D ofrezca respuestas a sus necesidades.

— Usted ha defendido que la ayuda a la cooperación conectada con las políticas de innovación hacen vislumbrar una salida para la pobreza y la exclusión. ¿Hay en la ciencia y la innovación instrumentos inéditos para procurar la salida de la crisis?

— Uno de los ejes de nuestro programa de la Presidencia ha sido la implicación más decidida de la ciencia en los grandes retos sociales y económicos. No cabe duda de que el mayor de ellos en estos momentos es la salida de la crisis económica. En este sentido, la I+D+i debe jugar un papel fundamental; tenemos que pensar en la investigación, no sólo como una inversión a largo plazo cuyos frutos únicamente pueden ser

recogidos en un futuro indefinido, sino también en su capacidad para ofrecer soluciones inmediatas para las demandas y necesidades de los ciudadanos.

— Ha anunciado la puesta en marcha de un proyecto piloto de prevención de desastres naturales, que el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) llevará a cabo en Haití para apoyar la reconstrucción del país. ¿Es éste un ejemplo de cómo la ciencia conectada con la solidaridad propicia el desarrollo?

— El terrible terremoto de Haití puso a prueba nuestra capacidad para responder de una forma eficiente a grandes desafíos de esta clase. Por eso España invitó al resto de estados miembros y a la propia Comisión a que se emprendieran proyectos concretos de apoyo a la reconstrucción del país. Hemos considerado importante empezar a trabajar ya y de ahí ese proyecto. Esa iniciativa del IGME forma parte del compromiso de España con la idea de la dimensión social de la ciencia, que hemos impulsado por primera vez en Europa a lo largo de nuestro semestre de presidencia. Con ella hemos conseguido, entre otros puntos, que los programas de investigación e innovación europeos tengan en cuenta a partir de ahora el impacto social y el enfoque de cooperación en sus procedimientos.

— ¿Qué opina de un proyecto como el de la Agenda Ciudadana de Ciencia e Innovación, en la que los ciudadanos han votado por los retos científicos que consideran más importantes para facilitar su vida?

— Independientemente de cuál haya sido el resultado de la votación, creo que lo más importante ha sido dar voz a la ciudadanía en materia de ciencia e innovación, algo que cada vez resulta más importante. Con esta iniciativa hemos creado un nuevo formato participativo, a través del cual más de cien mil ciudadanos han llevado directamente hasta el corazón de la decisión política europea cuáles son los retos de estos ámbitos que consideran prioritarios. Se trata de un gran éxito de participación que nos hace pensar que es una buena práctica exportable a otros países e incluso a otras temáticas. ■



*La ONU aprobará la
ampliación de la soberanía
española sobre 370.000 km
de plataforma marina frente
a las costas atlánticas*

ESPAÑA CRECE BAJO EL MAR

España aumentará en los próximos años la mitad de su actual superficie. No es que se amplíen las fronteras arrebatándoles territorio a los vecinos, sino que será bajo el fondo del mar frente a nuestras costas. De acuerdo con la Convención de Naciones Unidas sobre Derecho del Mar, nuestro país extenderá sus fronteras —y los derechos de exploración y explotación de los recursos no vivos— desde los límites submarinos con Irlanda por el norte y hasta Mauritania por el sur, salvo el tramo que corresponde a Portugal. ■ POR **Gustavo Catalán Deus**, PERIODISTA AMBIENTAL.

LA ONU, DE HECHO, YA HA APROBADO esa ampliación de la frontera submarina nada menos que en 71.000 kilómetros cuadrados (km²) al noroeste del Cantábrico, la zona que los pescadores gallegos denominan Gran Sol. La propuesta española se hizo ante la ONU en agosto de 2006, y el 24 de marzo de 2009 nuestro país adquirió su soberanía sobre este territorio sub-

marino para la exploración y explotación de sus recursos minerales —incluidos el gas y el petróleo— bajo el fondo del océano.

Estos derechos se extienden entre las 200 millas de Zona Económica Exclusiva (ZEE) sobre las que todos los países tienen la soberanía de explotación de todos los recursos, incluidos los de pesca, y las 350 millas. En este terri-

torio submarino de 150 millas de ancho, que hasta ahora era Patrimonio de la Humanidad, la Autoridad Internacional de Fondos Marinos de la ONU gestiona y vigila los derechos de uso. Este organismo global tiene bajo su jurisdicción unos fondos marinos internacionales que ocupan 260 millones de km², lo que representa más o menos la mitad de las tierras emergidas del planeta. A cam-

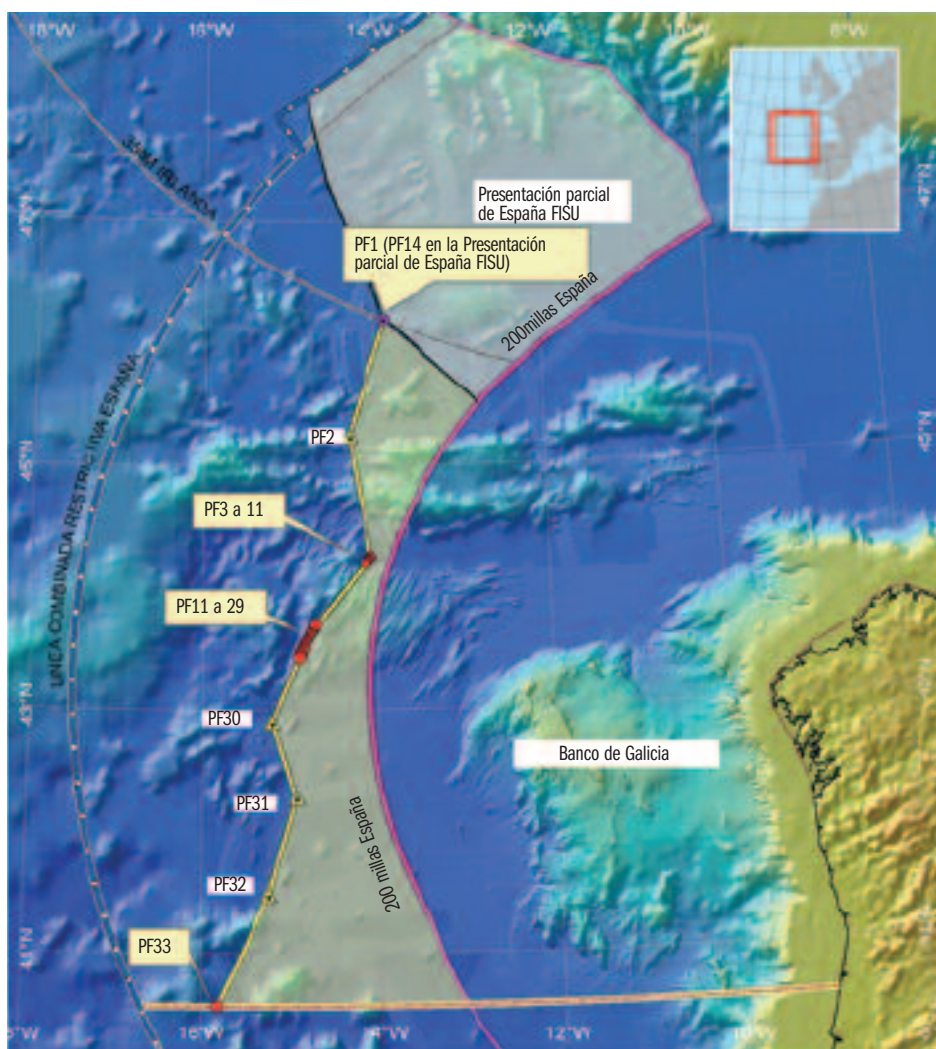
bio, los países deberán compensar con una tasa la explotación minera a partir de los cinco primeros años.

La propuesta ante la ONU fue presentada conjuntamente con otros países ribereños, en este caso Francia, Reino Unido e Irlanda, tras varios años de investigación geológica que demuestra fehacientemente que la zona es una prolongación de la plataforma continental de la península Ibérica. Para ello hubo que realizar una amplia campaña oceanográfica con el buque *Hespérides*, que se denominó Breogham (primer dios celta de Iberia), junto a los demás países citados. Las cuatro naciones hicieron la defensa científica ante la ONU de manera conjunta, lo que fue un hito de cooperación en el seno de la Convención del Mar.

Nuevas propuestas de ampliación

El pasado 7 de abril, España defendió ante la ONU una nueva propuesta de ampliación frente a las costas de Galicia. Se trata de otra región submarina de 79.000 km², delimitada al sur por la propuesta portuguesa. La respuesta de la ONU tardará aún dos o tres años, pero se da por hecho su ampliación de soberanía. Ésta implica no sólo un gran aumento de la jurisdicción sobre los recursos naturales energéticos como son el petróleo, el gas natural y los gases hidratados, sino también sobre potenciales recursos de metales como son los nódulos y costras polimetálicas localizados dentro de la plataforma continental en profundidades de hasta 5.300 metros. Estos derechos también obligan a la conservación ambiental de los fondos.

Las investigaciones llevadas a cabo desde 2005 a bordo del buque oceanográfico *Hespérides* en dos grandes campañas descubrieron importantes recursos potenciales frente a Galicia. Por ejemplo, se halló un cráter de más de cinco kilómetros de diámetro a casi 2.000 metros de profundidad, que ha sido bautizado como el *Gran Burato*. Se baraja la "erupción" de gas "congelado" contenido bajo el subsuelo marino como hipótesis para la formación de este espectacular cráter.



Límite exterior de la plataforma continental española por el norte, frente a las costas de Galicia.

La existencia de numerosos cráteres submarinos por emanaciones de gas natural contenido bajo el subsuelo es uno de los campos de investigación abiertos posteriormente por científicos españoles. También se han descubierto nódulos y costras polimetálicas y fosforíticas, de potencial interés económico.

Por último, España tiene de plazo hasta 2013 para presentar una nueva propuesta ante la ONU de ampliación de la plataforma continental al oeste de Canarias, en fondos de entre 3.500 a 5.200 metros de profundidad. Luis Somoza, investigador del Instituto Geológico Minero de España (IGME), coordinador científico de las tres ampliaciones y asesor del Ministerio de Asuntos Exteriores, relata en su despacho a *Estratos* los planes de la nueva exploración: "En el mes de agosto navegaremos a bordo del *Hespérides* prospectando la zona más

profunda que se encuentran más al norte, haciendo límite con Madeira".

En mayo-junio de 2011 se llevará a cabo otra campaña en los bancos submarinos en la zona más meridional, cerca de Mauritania, en el buque *Miguel Oliver* del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino. "La tercera campaña tendrá lugar en septiembre de 2011 en el *Sarmiento de Gamboa*, del Instituto Oceanográfico Español (IEO), con un potente sistema sísmico, en la parte central", señala Somoza.

En total se explorará una zona de unos 220.000 km² al oeste de Canarias, sobre la que se reclamará la soberanía española tras demostrar que esos fondos son la continuación de la plataforma de las islas Afortunadas, de origen volcánico al igual que los numerosos cráteres submarinos dispersos en la región.

Según confirmó Somoza, el uso de

La versatilidad de los metales del mar

- El níquel es resistente a la corrosión, se utiliza en motores marinos e industria química, en robótica, como catalizador y en la acuñación de monedas.
- El cobalto, también resistente a la corrosión, se usa para turbinas de gas en aviación, para la catálisis del petróleo, como secante para pinturas, para pigmentos, en los electrodos de baterías, etcétera.
- El molibdeno se emplea en aleaciones de alta resistencia que soporten temperaturas y corrosiones muy elevadas, y también en la construcción, como componente de motores, como catalizador en la industria petrolera, para pigmentos o lubricantes de motores.
- El cobre se utiliza en múltiples aleaciones; en la industria eléctrica y de las telecomunicaciones; en componentes de la industria automovilística, naval, aérea y ferroviaria.
- La aplicación más habitual para el hierro-manganeso es la composición para aceros, así como para tintas, papel para heliográficas y pigmentos pulidores.
- Y el aluminio presenta alta conductividad calorífica que resulta ideal para utensilios, pistones de motores, embalaje de alimentos, transmisión eléctrica o recipientes criogénicos. ■



El cobre es un elemento esencial para la industria.

sónares y otros equipos de aire comprimido y sísmicos se realiza bajo un protocolo internacional estricto si se observa la presencia de cetáceos. “Estamos muy interesados en el medio marino y en ningún caso podemos poner en riesgo la fauna. Y debo señalar que trabajando en la Antártida a bordo del *Hes-*

pérides, hemos observado que las ballenas seguían cerca del barco durante días sin ningún problema aparente cuando teníamos que seguir explorando los fondos”.

España está muy interesada en la ampliación de su plataforma marina, para lo que ha desplegado el concurso de

cuatro ministerios (Ciencia e Innovación, Medio Ambiente, Rural y Marino, Defensa y Asuntos Exteriores) y numerosas instituciones científicas como el IGME, el IEO, el Instituto Hidrográfico de la Marina, e investigadores de varias universidades. Los costes de los estudios son de lo más reducido, si se tiene en cuenta que cada kilómetro cuadrado logrado para la soberanía española ha costado sólo dos euros. “Ya me gustaría a mí comprar 100 hectáreas por ese dinero. Sale tan barato porque exploramos con nuestros buques y medios científicos y humanos”, dice Somoza.

Sin embargo, la actual crisis está sometiendo a recortes el proyecto. “Espero que la tijera no lo corte todo y nos quedemos a medias con lo de Canarias”, añade el investigador del IGME.

En la misma línea que España hay otras 51 naciones con litoral que han hecho y logrado, en la mayoría de los casos, reclamaciones similares. Pero hay una excepción muy singular: Estados Unidos. Como este país no ha ratificado la Convención de la ONU sobre Derecho del Mar —al igual que otras convenciones globales—, no puede reclamar su soberanía más allá de las 200 millas.

Es el caso de la *tarta* del Ártico, que se disputan los seis países ribereños más septentrionales —Estados Unidos, Canadá, Dinamarca (por Groenlandia), Noruega, Suecia y Rusia— desde que el cambio climático ha comenzado a dejar libre de hielo durante el verano gran parte del Océano Ártico. Estados Unidos está obligado a ratificar la Convención del Mar si quiere seguir en el reparto del botín submarino, donde es muy probable que haya grandes cantidades de petróleo.

Riqueza sumergida

Pero no sólo es petróleo lo que hay en el subsuelo marino. Para entender la importancia económica de la explotación en alta mar y la carrera emprendida por esos 51 países, hay que considerar que el medio marino contiene cerca del 60% del centenar largo de elementos químicos de la tabla periódica. La aplicación



El Hespérides contribuye, con sus investigaciones, a extender nuestras fronteras bajo las aguas.

de cada uno de ellos y de sus compuestos responde a la gran mayoría de las necesidades que presenta nuestra vida moderna.

Algunos de los recursos minerales marinos que se encuentran mar adentro

son prolongaciones lógicas de los yacimientos de tierra firme, como es el caso de los áridos (arenas y gravas), que se utilizan en la industria de la construcción y en la restauración de playas, y se encuentran ampliamente distribuidos



Luis Somoza, en su despacho del IGME.

en muchas zonas de la plataforma continental (región que geomorfológicamente pertenece al continente pero que está sumergida bajo el mar).

“Los fondos marinos son una nueva frontera”, afirma Jesús Silva, embajador español en Jamaica y ante la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos de la ONU. “La irrupción de los países emergentes y la gran demanda de minerales ha hecho que algunos de los precios de estos recursos se hayan incrementado hasta un 500% en algunos casos. Si después de la crisis seguimos con el mismo ritmo, vamos a tener que mirar a los fondos marinos para obtener estos recursos”, añade el embajador.

En los trabajos de exploración preliminares se han descubierto varios tipos de zonas de fondos marinos susceptibles de ser explotados a efectos de extracción de minerales, entre los que podrían destacarse los campos de nódulos de manganeso, las chimeneas de sulfuros masivos y las costras ricas en cobalto. En ellos los porcentajes de concentración de elementos valiosos como el oro, la plata, el níquel, el cobalto o el platino, son hasta diez veces superiores que en los yacimientos terrestres, debido a la gran

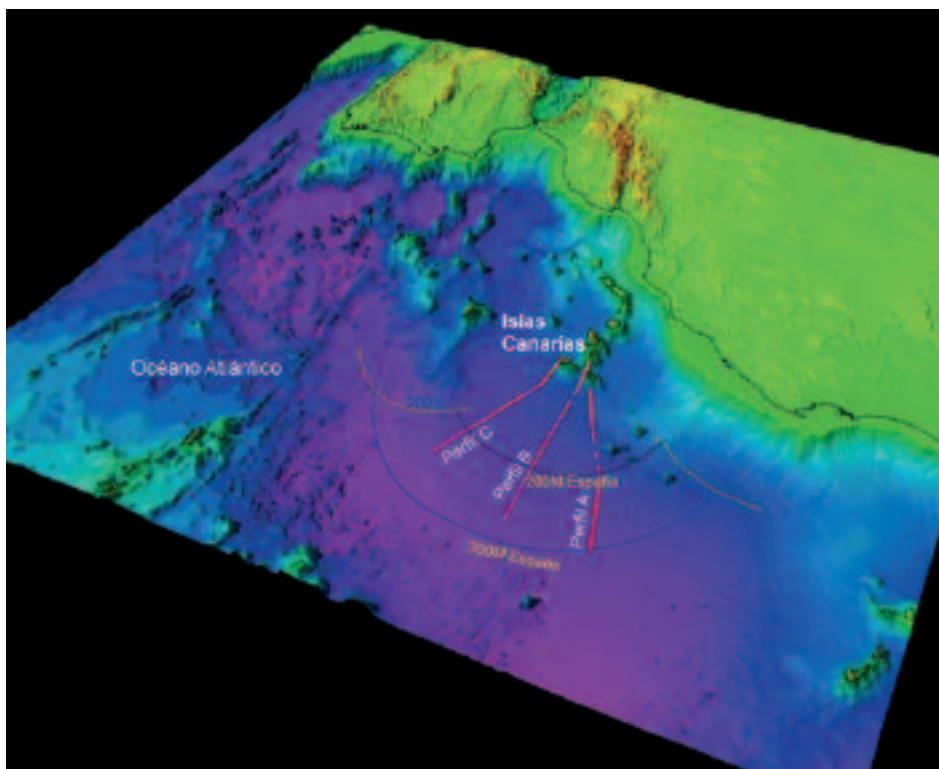


Imagen tridimensional de Canarias con los nuevos límites marinos que se aprobarán en breve.

La nueva frontera

No hace falta ir a la Luna o a Marte a buscar minerales, como justifica la NASA en muchos de sus proyectos espaciales. Es posible encontrarlos bajo el mar en grandes cantidades y con concentraciones mucho más elevadas que en tierra. Es lo que los especialistas llaman “la nueva frontera”, un espacio tan grande como la mitad de la superficie continental, con 260 millones de kilómetros cuadrados.

La demanda creciente de recursos ha llevado a las naciones y a las empresas a mirar bajo el agua salada. De hecho, ya son numerosos los yacimientos de gas y petróleo a grandes profundidades. Pero la extracción minera submarina avanza poco a poco y un mercado floreciente podría comenzar en década y media si el avance tecnológico de la prospección y la demanda confluyen.

A raíz de ello, la ONU creó hace diez años la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), con sede en Jamaica, para regular, gestionar y controlar esa actividad en fondos bajo las aguas internacionales. Recientemente han celebrado su XVI Asamblea, bajo la presidencia del español Jesús Silva, embajador de España en Jamaica y ante la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos de la ONU, para dotarse de un Código Minero y unas prácticas ambientales respetuosas con una parte del planeta inalterada. “Nos preocupa mucho la protección ambiental y la regulación de los distintos yacimientos”, declaró recientemente en Madrid el secretario general de la ISA, el ghanés Nii Allotey Odutón.

“Ya hay países que están tomando posiciones, como China, India, Alemania o Japón. España tiene que empezar a situarse”, asegura Jesús Silva. Es más, España aspira a tener en el futuro alguna concesión de exploración en el Pacífico, como las actualmente existentes que se realizan de manera conjunta en grandes áreas centrales de ese océano por países tan dispares como Francia, Japón, Corea, Alemania, India, China y Rusia, y también la del consorcio liderado por Polonia, junto a la Federación Rusa, Eslovaquia, República Checa, Bulgaria y Cuba.

Por su parte, las organizaciones ecologistas se muestran reticentes. Oceana no quiere ni oír hablar de explotaciones mineras en aguas profundas; y WWF se muestra crítica, aunque considera que el código de buenas prácticas ambientales es bienvenido. Ambas ONG creen que antes de la explotación habría que lograr el máximo reciclado en tierra de los minerales a extraer. ■



Existen importantes yacimientos de gas y petróleo a grandes profundidades.

presión del mar durante millones de años.

Otros componentes que han ido adquiriendo una particular relevancia en la vida cotidiana y que aparecen asociados a depósitos marinos son el titanio, el circonio y las tierras raras —de las que forman parte nueve elementos pesados, como el torio radiactivo, y ocho ligeros—. El rutilo (bióxido de titanio), por ejemplo, ofrece una extraordinaria resistencia al desgaste y al ataque químico. El titanio proporciona un pigmento blanco para el papel o el plástico, un componente muy importante para la aeronáutica, los palos de golf o las raquetas de tenis.

El circonio está clasificado como metal estratégico gracias a sus propiedades refractarias, y se utiliza en las toberas de los aviones de reacción. En cuanto a las tierras raras, que aparecen en minerales como la monacita, el granate, el circón y el apatito, intervienen en tecnologías avanzadas como el pigmento rojo de las pantallas de televisión o la catálisis de los gases de escape de los motores.

Los yacimientos de nódulos polimetálicos o nódulos de manganeso son cuerpos de forma esférica o esferoide, de color negruzco o castaño oscuro, porosos y de talla y peso variables, que se componen de una docena o más de metales diversos; metales entre los cuales interesa industrialmente la proporción de níquel, cobalto, molibdeno, cobre, manganeso, hierro y aluminio. La mayoría de dichos nódulos con interés industrial suelen encontrarse a profundidades de 4.000 a 6.000 metros.

Parece evidente que la extracción de estos minerales puede resultar muy provechosa desde el punto de vista económico. Sin embargo, la minería marina no está muy desarrollada para las extracciones tan profundas en el lecho marino, ya que hasta la fecha han resultado más costosas que las ubicadas en tierra. No obstante, conocer el potencial de recursos disponibles en un mercado que oscila constantemente resulta clave para valorar la viabilidad en el desarrollo de nuevas tecnologías mineras marinas. ■

Colabora:



Patrocina:



Sector Gasista Español

Consulte
nuestros
descuentos
para grupos

- Futuro del gas en relación con el mix energético y próximos desarrollos normativos
- Mercado secundario de gas: la visión del regulador, operador y comercializadores
- Balance de gas nacional e internacional: mercados de gas en Europa en relación con los precios en España
- Gas no convencional: shale gas. ¿Cómo ha cambiado el mercado mundial de gas?
- Desarrollo de infraestructuras para la seguridad de suministro

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO – GAS NATURAL FENOSA – CNE –
BP GAS – IBERDROLA – CEPSA GAS COMERCIALIZADORA – ENDESA ENERGÍA – SHELL –
ENAGÁS – PARLAMENTO EUROPEO



Madrid, 27 de octubre de 2010
Hotel Ritz



Publicaciones Colaboradoras:

Portales Colaboradores:



Nueva forma de inscripción a través de **conferencias**
y **formación.com**

Atención al cliente y ayuda a la navegación **902 99 62 00**



Un halcón peregrino sobrevuela los rascacielos de Madrid. A la derecha, técnicos controlan la suelta de ejemplares y comprueban el proceso de inseminación en el laboratorio.

*Tan urbanas como los semáforos
o el asfalto, un buen número
de especies animales singulares
han decidido convivir
con el hombre en las ciudades*

VECINOS SILVESTRES

Abruptos acantilados, bosques, roquedos, lagos... Aunque a simple vista nos resulte difícil imaginarlo, de esta manera ven nuestras ciudades algunas especies que, sin que muchas veces nos demos cuenta, conviven con nosotros entre las prisas y el tráfico. Para halcones, pequeñas rapaces nocturnas como los autillos, gaviotas e incluso murciélagos gigantes, nuestras avenidas, fachadas, parques y estanques no son otra cosa que una recreación de sus hábitats naturales.

■ **POR Carlos Egio, PERIODISTA CIENTÍFICO.**

✂ RABAJAMOS EN ELLAS; ALLÍ COM-
pramos, nos desplazamos median-
te el transporte público, llevamos
a nuestros hijos a la escuela, asistimos a
conciertos y exposiciones. Según el Fon-
do Monetario Internacional, en 2008
más de la mitad de la población mun-
dial habitaba ya en las ciudades. Se tra-
ta de una proporción que no ha dejado
de crecer en las últimas décadas. Esto
tiene una explicación, la urbe se ha con-
vertido en el ecosistema humano por ex-

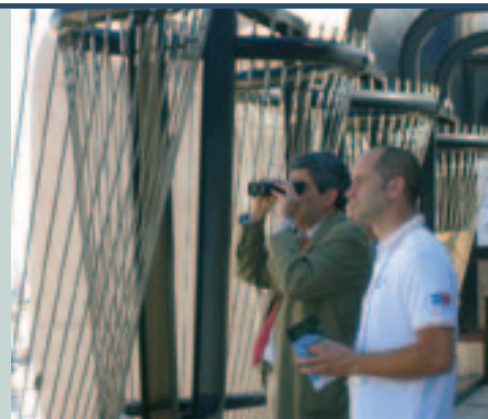
celencia. Aquí nos relacionamos con
otros individuos de nuestra especie, te-
nemos acceso a los alimentos, refugio y
una cierta seguridad... pero no sólo no-
sotros. Al igual que Don Quijote con-
fundía los molinos con gigantes, un buen
número de especies que podríamos con-
siderar silvestres cree ver acantilados
donde hay edificios, bosques donde hay
jardines o cuevas en las alcantarillas.

No es sólo que las construcciones
urbanas tengan cierto parecido con su

hábitat, es que incluso este entorno apa-
rentemente inhóspito puede reportarles
importantes ventajas, como “la ausencia
de los depredadores que sí están pre-
sentes en su medio original, mayor faci-
lidad para encontrar alimento o, en
invierno, una temperatura más benigna”.
Así lo considera Manuel Cremades, bió-
logo de la Dirección General de Patri-
monio Natural y Biodiversidad de la
Región de Murcia y autor del libro *Aves
urbanas de Murcia*.

El halcón peregrino sobrevuela Madrid

El papel del halcón peregrino es fundamental para el equilibrio de diferentes ecosistemas. Con esta idea presente y con el objetivo de reintroducir la especie en la Comunidad de Madrid, donde se estima que había descendido un 25% en los últimos años, en 2008 surgió el Proyecto Hacking. La Fundación para la Investigación y el Desarrollo Ambiental (FIDA), en colaboración con la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, realiza la introducción en la naturaleza y en la ciudad de aves criadas en cautividad, a través de nidos artificiales y sin tener contacto con el criador. En el casco urbano de Madrid hay tan sólo tres parejas de halcones que anidan de manera natural y estable y por ello, el proyecto propuso establecer en Torre Europa, en el complejo de Azca, uno de esos nidos artificiales. Tras comprobar el éxito de la iniciativa, en enero de 2010 se colocó una caja-nido natural en la azotea del edificio, de forma que se pueda establecer allí de manera definitiva alguna pareja de halcones. Los datos avalan el proyecto: la tasa de supervivencia de los pollos de esta especie en la naturaleza está en torno al 35% y el 40%, y sin embargo, el Proyecto Hacking ha logrado que de los dieciséis ejemplares soltados hasta la fecha sólo tres perecieran, es decir, una supervivencia que ronda el 80%. ■



FIDA



Uno de los pollos de halcón peregrino nacidos en la torre del Museo de América de Madrid.

Eso mismo debieron pensar Beltrán, Virtudes y Berta, los tres primeros halcones peregrinos (*Falco peregrinus*) que nacieron en la torre del Museo de América de Madrid. Al eclosionar el huevo, en su primer vistazo al mundo, pudieron fijar su mirada no sólo en las nevadas sierras del norte de la capital y en el bosque de El Pardo, sino también en un horizonte dominado por rascacielos como la Torre Picasso o los imponentes edificios de la Cuatro Torres Busi-

ness Area. En marzo de 2007, técnicos de la Sociedad Española de Ornitología (SEO/Birdlife) colocaron dos cajas nido en diferentes puntos de la torre para que las habitara alguna de las parejas de esta especie que se veían sobrevolando la zona y, apenas unos días después, ocuparon una de ellas. La pareja que la habitó se adaptó tan bien a su nuevo hogar que ha conseguido criar durante tres años consecutivos y ocupar un pequeño espacio en la agenda informa-

tiva de mayo, el mes en que esta especie lleva a cabo sus puestas.

Y no son los únicos de la capital. Según el grupo conservacionista, esta especie, considerada como vulnerable en el Catálogo de Especies Amenazadas de la Comunidad de Madrid, también puede encontrarse en el Retiro, en el Hospital Gómez Ulla y hasta en las proximidades de la mismísima M-30. Actualmente, el Gobierno regional, a través del Proyecto Hacking, ha conseguido que otra pareja anide en Torre Europa, en el complejo de Azca. Mientras, el resto de parejas que habitan en la región prefiere espacios como la Sierra de Guadarrama o los cortados fluviales de los ríos Henares, Jarama y Tajo.

Donde tú ves..., yo veo...

Que unos elijan habitar en edificios y otros en acantilados no es casual. Según explica Miguel David Aguilar, de la Asociación Hombre y Territorio, "las paredes y los muros de los edificios reproducen condiciones físicas comparables a las de los ambientes naturales rocosos". De hecho, "los centros históricos, con una gran variedad de edificaciones, con ale-



ros, tejados y pequeñas azoteas, son focos de atracción para la fauna por la riqueza y variedad de ambientes que ofrecen”.

No en vano, esta asociación, que surgió en Andalucía en 2003, cuenta entre sus proyectos de educación ambiental con uno dirigido exclusivamente a la fauna urbana. De este modo, han creado una base de datos con un listado de las especies que se pueden encontrar en cada uno de los entornos urbanos en esta comunidad.

Y no sólo los edificios son inesperados acantilados. Según nos cuenta el naturalista, las calles arboladas actúan como redes verdes de circulación que facilitan el movimiento de las aves; los parques y jardines, como bosques, e incluso los túneles del metro y el alcantarillado, como cuevas. Estos últimos, con una temperatura y humedad elevadas, constituyen un ecosistema singular ideal para los artrópodos (grillos, escarabajos, mariposas nocturnas, cucarachas...) y la rata gris.

El extraño caso del murciélago gigante

Entre los animales que habitan las ciudades se pueden encontrar verdaderas joyas de la fauna ibérica. Un caso muy particular, por lo escaso y lo llamativo, es el del nóctulo gigante (*Nyctalus lasiopterus*), el único murciélago carnívoro que habita fuera del trópico y que tiene una de sus mayores poblaciones europeas en el parque de María Luisa de Sevilla, con unos quinientos ejemplares.

Con casi 50 gramos de peso y 45 centímetros de envergadura, este mamífero volador ostenta el orgullo de ser el mayor murciélago de Europa. Y no sólo eso. Según demostró hace tres años un equipo de investigadores de la Estación Biológica de Doñana (dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas), se alimenta cazando pájaros en vuelo, algo que hasta entonces se creía exclusivo de algunas especies de halcones del Mediterráneo.

Esta especie representa claramente algunos de los problemas que sufren los animales que deciden hacer de los espacios humanizados su lugar de residencia. Según cuenta Carlos Ibáñez, profesor de investigación del Departamento de Ecología Evolutiva de la Estación Biológica, en 2001 se detectó en el jardín del Alcázar de Sevilla una segunda población de unos cincuenta ejemplares. Estos quirópteros que viven en los árboles, prefieren los más longevos, que además suelen ser los que poseen oquedades, donde se refugian.

Pero muchas veces la convivencia no es fácil. Los excrementos y la orina de los nóctulos gigantes aceleran la descomposición de las ramas de estos árboles, facilitando su rotura. Los árboles huecos “se consideran un problema tanto en los parques urbanos, donde pueden dar lugar a accidentes, como en las masas forestales, por posibles problemas fito-



Arriba a la izquierda, un nóctulo gigante, a su lado, una pareja de gorrones y debajo, una rata gris.

sanitarios o de plagas”, afirma Ibáñez. En enero de 2002 “se cortó uno de los dos árboles que albergaba esta especie de nóctulos porque estaba en mal estado y podía provocar algún accidente si se partía alguna rama”. Por eso, los científicos propusieron, y lo hicieron en colaboración con el Patronato del Real Alcázar, construir cajas refugio alejadas de los árboles que pudieran acogerlos. Sin embargo, “hasta el momento no han sido ocupadas por el *Nyctalus lasiopterus*, aunque no se pierde la esperanza de que lo hagan próximamente”.

Pero, ¿por qué estos animales escogen los jardines urbanos para anidar? Para el científico del CSIC, la principal explicación está en que en los jardines históricos hay un mayor respeto por los árboles añosos y con agujeros que en los bosques originales en los que habita-

Aves urbanas más comunes en España

Las más corrientes son el gorrión común (*Passer domesticus*), el avión común (*Delichon urbicum*), el vencejo común (*Apus apus*), la paloma bravía (*Columba livia*), ya sea en su forma doméstica o cimarrona, y la tórtola turca (*Streptopelia decaocto*).



Arriba, un mirlo y, sobre estas líneas, un vencejo.

ban, ahora “sometidos a planes de aprovechamientos y tratamientos fitosanitarios”. Por otro lado, puede que en el pasado, un bosque de galería próximo fuera su lugar de refugio histórico.

Echando una mano

Hay otras especies que reportan importantes beneficios. Para el biólogo Manuel Cremades, “debería valorarse el importante papel de las aves insectívoras, como los aviones y vencejos, en el control de algunos insectos perjudiciales y molestos”.

Este último, similar a una golondrina pero de mayor tamaño y plumaje totalmente oscuro, cumple una importante labor social. Desde SEO/Birdlife alertan: “En nuestro país, la práctica totalidad de los vencejos comunes (*Apus apus*) cría en grietas y agujeros en los tejados, y se están viendo afectados por la sustitución de edificios antiguos por otros más modernos, que raramente ofrecen lugares aptos para su nidificación”. Por eso, la Sociedad Española de Orni-

En jardines y parques suelen estar el mirlo (*Turdus merula*), el petirrojo (*Erithacus rubecula*), el carbo-

nero común (*Parus major*), el papamoscas gris (*Muscicapa striata*), la curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*) y la gaviota reidora (*Larus ridibundus*).

Si la ciudad la surca un río también encontraremos ejemplares de gallineta común (*Gallinula chloropus*), focha común (*Fulica atra*), garceta común (*Egretta garzetta*) y zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*).

En ciudades del centro-oeste español, sobre todo con un importante casco histórico, no es raro que haya cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*), cernícalo primilla (*Falco naumanni*), grujilla (*Corvus monedula*), chova piquirroja (*Pyrhocorax pyrrhocorax*) y urraca (*Pica pica*).

Fuente: Manuel Cremades.

tología propone “encarecidamente” a arquitectos, aparejadores y paisajistas la instalación de cajas nido en los edificios de nueva construcción, en la restauración de fachadas y en rehabilitaciones. El fin: mejorar la biodiversidad de los hábitats urbanos y controlar de una manera gratuita las poblaciones de moscas, polillas y otros insectos voladores, gracias a un ave que, a diferencia de otras de las que podemos encontrar en la ciudad, ni ensucia las fachadas, ni es excesivamente ruidosa. Y quién sabe, quizá además inspire a poetas; si lo pudieron hacer las golondrinas con Bécquer...

El naturalista Miguel David Aguilar, de Hombre y Territorio, recuerda que “los bloques de edificios de perfil recto y sin huecos son difícilmente colonizados por la vegetación pionera ni sirven para la nidificación de las aves, llegando a su extremo en los modernos edificios de fachadas lisas, con planchas y cristales, resultado de la reciente vorágine simplificadora, que merma enormemente la biodiversidad de nuestra ciudad”. No obstante para la arquitecta Ana Belén Fuentes se trata de un asunto “complejo”. “En general los desechos de las aves son corrosivos para los materiales de fachada, por lo que la tendencia es a ahuyentarlas”, argumenta. Aunque no es siempre así; proyectos innovadores como el jardín vertical de Herzon y De Meuron, junto al CaixaForum de Madrid, o el parque Enric Miralles, en Barcelona, podrían propiciar la presencia de estas especies, añade. “En gene-

ral los franceses tienen más tradición paisajística y esto se traduce en el diseño de jardines y parques urbanos, de manera que dan el paso a pensar en las especies que pueden instalarse”. También es interesante el ejemplo de los huertos urbanos autorizados por el ayuntamiento de la capital catalana y que empiezan a tener cierto éxito, comenta.

Aunque las aves son el grupo animal más reconocido en la fauna urbana, no son el único. También tienen su papel los mamíferos. Además del ya citado murciélago gigante, en los oscuros y malolientes túneles del alcantarillado y el metro habita una especie que, si bien rara vez inspirará a los poetas y está asociada a enfermedades, cumple una importante función. La presencia de una población controlada de rata gris (*Rattus norvegicus*), explican en la Fundación Hombre y Territorio, es positiva ya que, al remover los restos que se van haciendo en las alcantarillas, evitan acumulaciones peligrosas de gas metano y otros vapores explosivos.

Después de echar un vistazo a algunas de las especies emblemáticas que nos acompañan en la ciudad —aunque quedaron de lado muchas otras, como la cigüeña blanca, el cernícalo primilla o la gaviota reidora, esta última con una importante colonia en los vertederos de Madrid—, parece que el título de una de las obras maestras del cine negro de todos los tiempos, *La jungla de asfalto* de John Huston, podría aplicarse a cualquiera de nuestras urbes.

Éste es el primero de una serie de dos artículos en los que se analizarán los procedimientos y mecanismos empleados por varios países de la OCDE con centrales nucleares para conseguir una mejor aceptación social de sus proyectos de almacenes definitivos de residuos de alta actividad y de combustible irradiado mediante la consulta y participación de las poblaciones interesadas en los procesos de decisión. En esta primera entrega se comentan los casos de Estados Unidos, Finlandia y Suecia, tres países que decidieron que sus residuos de alta actividad y de combustible gastado se guardarían en un almacén geológico en profundidad. ■ **POR José Luis González Gómez y Mariano Molina Martín, DEPARTAMENTO DE RELACIONES INTERNACIONALES DE ENRESA.**

Estados Unidos, Finlandia y Suecia plantean procesos diferentes que van desde la elección “de arriba abajo” a la aplicación del “principio de voluntariedad”

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

LA DIFICULTAD DE QUE LA SOCIEDAD acepte la ubicación de las instalaciones de gestión de residuos radiactivos es un problema común a todos los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). La cuestión es especialmente importante cuando se trata de instalaciones para la gestión definitiva del combustible irradiado o de residuos de alta actividad. Por lo general, la población duda de que su gestión pueda ser segura y, consecuentemente, está dispuesta a oponerse activamente a cualquier decisión que localice los centros de residuos en sus municipios. Los responsables de la gestión son conscientes de esta actitud y, a lo largo del tiempo, han intentado modificarla o, al menos, hacerla compatible con las necesidades operativas de las instalaciones. Esto ha dado

lugar a distintas formas de entender la relación con el público y a la adopción de diversas estrategias de comunicación y de integración de los actores sociales en los procesos de toma de decisiones. Después de varias décadas, todos los países han adoptado fórmulas para facilitar la participación de las partes interesadas (*stakeholders*) y su implicación activa en los procesos de decisión.

En el caso de los tres países que se presentan, en Estados Unidos, el mecanismo de toma de decisiones seguido hasta el momento ha sido del tipo “de arriba abajo”, con escasa participación pública, fuera de lo reglamentado por ley. Por su parte, Suecia y Finlandia han seguido un camino distinto, con amplios y participativos programas de implicación pública. En estos dos últimos casos, se ha aplicado el principio de volunta-

riedad de los municipios para ubicar las instalaciones.

Como se describe a continuación, el programa estadounidense ha sido suspendido, tras una primera decisión en la que se designaba un emplazamiento, y busca ahora nuevas fórmulas para decidir sobre la gestión definitiva del combustible. En los casos de Finlandia y Suecia se cuenta con sendos lugares elegidos para construir los almacenes geológicos y los programas de desarrollo de estas instalaciones continúan avanzando de forma satisfactoria.

Estados Unidos

EE.UU. es el país con más centrales nucleares del mundo. Sus 104 reactores producen aproximadamente un 20% de la electricidad que consume. EE.UU. fue también el primer país en tener un



Yucca Mountain fue el emplazamiento seleccionado inicialmente por la Administración de EE.UU. para albergar su almacén geológico profundo.

programa significativo de desarrollo de la tecnología nuclear, basado originalmente en el sector armamentístico. Desde los orígenes de éste, en los años cuarenta, hasta la actualidad, se han producido residuos de alta actividad y de combustible irradiado en las centrales nucleares, en los centros de investigación y en los reactores de los submarinos de la armada. En 1957, el Gobierno solicitó la opinión de la Academia Nacional de las Ciencias sobre la mejor manera de eliminar permanentemente este tipo de residuos. Por entonces, la Academia consideró que el sistema más adecuado era su almacenamiento en formaciones geológicas profundas y esas recomendaciones se concretaron, posteriormente, en un programa de investigación de formaciones geológicas salinas durante los años sesenta y setenta,

liderado por el Departamento de Energía (DOE). Los esfuerzos de búsqueda en Kansas, Tennessee y otros estados toparon con una fuerte oposición de las poblaciones próximas y de las autoridades estatales. La respuesta del Gobierno federal, que previamente —en 1979— había decretado el cese de las actividades de reprocesado, fue redactar la Ley de Política de Residuos Nucleares (NWPA) que, tras su enmienda en 1987, propuso construir un almacén geológico en el emplazamiento de Yucca Mountain, en el estado de Nevada.

La propuesta de Yucca Mountain, en terrenos pertenecientes a la administración federal, significó que el DOE —responsable de la gestión de los residuos de alta actividad y del combustible gastado en EE.UU.— estaba autorizado para explorar y caracterizar este lugar. Si finalmen-

te se consideraba adecuado, el secretario de Energía debería recomendar la designación de este lugar al presidente, notificando su decisión al gobernador de Nevada y al poder legislativo —es decir, al Congreso y al Senado—. El gobernador de este estado tendría la posibilidad de oponerse a la recomendación del secretario de Energía, y a su vez el presidente podría desestimar el recurso de las autoridades de Nevada siempre que el Congreso le diera un respaldo mayoritario en los noventa días posteriores al escrito de oposición. De esta manera, el Congreso tiene la última palabra.

Siguiendo esas pautas, el presidente George W. Bush, tras recibir la propuesta del secretario de Energía, dio en 2002 su conformidad al emplazamiento en Yucca Mountain y planteó su aprobación al Congreso. El gobernador de

Nevada se opuso a esta decisión y declaró su disconformidad. En julio de ese mismo año, el Senado, en contra de la opinión del gobernador, refrendó la propuesta presidencial y designó oficialmente Yucca Mountain como el lugar en donde construir el almacén para un total de 70.000 tU de residuos radiactivos de alta actividad y de combustible irradiado. Posteriormente, en junio de 2008, el DOE presentó al organismo regulador, la Nuclear Regulatory Commission (NRC), la solicitud formal para autorizar su construcción.

La elección del presidente Barack Obama en 2009 y la toma de posesión de la nueva Administración federal dieron un giro radical a la situación. A comienzos de 2010, el Presidente anunció que el proyecto quedaba suspendido y que en su lugar se creaba la Blue Ribbon Commission, una comisión de alto nivel con el encargo de evaluar las mejores opciones para la futura gestión del combustible, teniendo en cuenta la situación actual y las expectativas de las nuevas tecnologías nucleares. La decisión presidencial ha provocado que varios estados, asociaciones de la industria nuclear y municipalidades que actualmente almacenan combustible nuclear presenten varias demandas judiciales por incumplimiento de la Ley de Residuos Nucleares. Por su parte, la NRC evalúa también si es posible que el Gobierno pueda retirar la solicitud de construcción a la vista de lo dispuesto en la Ley de Residuos Nucleares.

El proceso de designación de Yucca Mountain ha durado casi veinte años, mucho más de lo que originalmente había previsto el DOE. La principal razón ha sido la fuerte oposición del estado de Nevada, que siempre ha argumentado que no había participado en las distintas etapas de decisión del proyecto. A comienzos de los años noventa, el Gobierno de este estado se negó a dar algunas de las licencias mineras y de abastecimiento de agua necesarias para los trabajos exploratorios. La cuestión se resolvió en los tribunales a favor del DOE, pero Nevada persistió en la estrategia de obstaculización, por la vía legal, de cualquier trabajo posterior. Tras la



Acceso de la instalación de Onkalo, en el emplazamiento de la central de Olkiluoto, donde la empresa Posiva tiene su laboratorio de caracterización.

aprobación del emplazamiento por el Congreso, el estado amenazó con neutralizar su operación mediante la prohibición de los transportes de residuos a través de su territorio, cuestión que está dentro de sus competencias.

La situación del proceso de búsqueda para el emplazamiento de residuos de alta actividad y de combustible irradiado en EE.UU. está tremendamente condicionada por la actitud del estado de Nevada y, en un segundo análisis, por el peso que ha tenido la participación local del condado de Nye (Nevada) y de las otras comunidades próximas al emplazamiento. Como se aprecia en la Ley de Política de Residuos Nucleares, la designación de Yucca Mountain ha seguido un procedimiento regulado legalmente, “de arriba abajo”, en donde la participación pública se ha limitado a un mecanismo de interacción reglamentada entre la Administración federal —en Washington— y la Administración estatal —en Nevada—. En todo el proceso, la participación de las poblaciones próximas a Yucca Mountain y del estado de Nevada ha sido muy reducida. La información recibida de las autoridades estadounidenses indica que las principales actividades desarrolladas por el DOE se han dirigido a informar a las pobla-

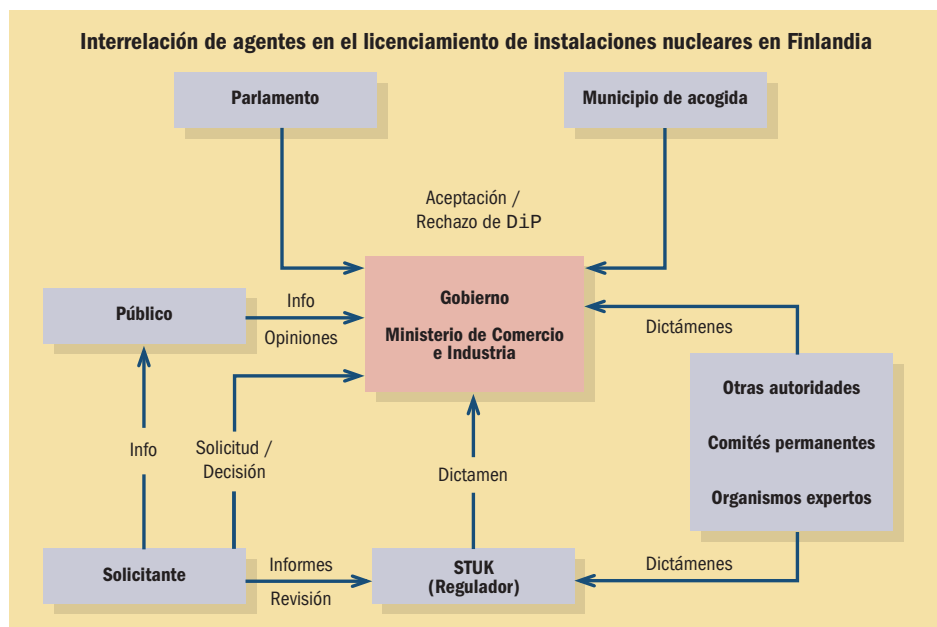
ciones, a realizar acciones educativas y formativas, excursiones a centros de información y visitas al emplazamiento.

Finlandia

La utilización comercial de la energía nuclear en Finlandia comenzó en 1977. En la actualidad hay cuatro reactores conectados a la red en las centrales de Loviisa y Olkiluoto, que generan alrededor del 26% de la electricidad consumida en el país. En mayo de 2002 el Parlamento finlandés ratificó la autorización concedida anteriormente por el Gobierno para la construcción de un nuevo reactor nuclear en Olkiluoto de 1.600 MWe de potencia. En 2008, las dos empresas propietarias de las centrales nucleares manifestaron su intención de solicitar un permiso para la construcción de dos nuevos reactores, el sexto y séptimo del país.

Finlandia no reprocesa el combustible irradiado y su sector nuclear está prácticamente reducido a la producción de electricidad y a la gestión de residuos radiactivos. Esta última actividad la realiza la empresa privada Posiva, constituida en 1995 por las dos compañías propietarias de las centrales nucleares. Años antes, en 1983, una resolución del gobierno finlandés señaló la disposición permanente del combustible irradiado en un

Interrelación de agentes en el licenciamiento de instalaciones nucleares en Finlandia



almacén geológico en profundidad como la solución para su gestión definitiva, y encomendó su puesta en práctica a la compañía propietaria de la central de Olkiluoto. Las primeras investigaciones comenzaron en 1986 en cinco emplazamientos y pasaron a la fase de detalle en 1992. A partir de 1997 y hasta 1999, Posiva, siguiendo lo dispuesto en la legislación finlandesa, realizó un procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) de un posible almacén geológico para 9.000 tU —equivalente al combustible producido en seis reactores nucleares— en cuatro posibles localizaciones o municipios. La EIA se efectuó siguiendo las instrucciones del Ministerio de Industria y Comercio. Tras las consultas con las poblaciones involucradas, se propusieron los emplazamientos de Eurajoki y Loviisa, el primero en las cercanías del municipio de Olkiluoto y el segundo en el municipio que alberga la central nuclear del mismo nombre. El proceso de designación concluyó en 2001 con la obtención de una Decisión en Principio del Gobierno favorable para Eurajoki, que fue ratificada por el Parlamento. Finlandia tiene, por tanto, un lugar para su almacén geológico y su programa de construcción está pendiente de que Posiva presente la solicitud correspondiente, previsiblemente en 2012.

La política de participación pública en el proceso finlandés se ha organiza-

do en torno a los procedimientos legales de la EIA y de la Decisión en Principio. A los dos se les ha dotado de una gran flexibilidad y contenido para poder recoger todas las opiniones y actitudes de los distintos actores locales hasta conseguir una posición mayoritariamente favorable del municipio seleccionado.

El procedimiento de la EIA se ha utilizado más allá de lo requerido legalmente con el fin de informar a la población, discutir con ella la propuesta del almacén y recoger todos sus comentarios y sugerencias. El contenido principal de la EIA fue la evaluación y comparación de alternativas —incluida la alternativa “cero” o no hacer nada— en los distintos aspectos éticos, medioambientales y técnicos. Durante tres años, desde la definición del alcance del EIA hasta la discusión y redacción del informe, se organizaron campañas de información, audiencias públicas y reuniones de grupo, recogida de comentarios escritos que podían hacerse llegar al Ministerio de Industria y Comercio, y contactos directos con los grupos de coordinación destacados en cada municipio. Según se iban produciendo resultados parciales del informe, Posiva los distribuía mediante boletines periódicos y otros canales de información.

La Decisión en Principio es la segunda gran figura normativa del sistema finlandés. Creada en la Ley de la Energía Nuclear de 1996, es un procedimiento

equivalente a una autorización previa de construcción de una instalación nuclear en el sistema legal español. Esta figura normativa da paso a la consideración de la licencia de construcción tras demostrarse de manera razonada la seguridad de la instalación propuesta. El Gobierno otorga esta Decisión en Principio pero, para ser válida, necesita ser ratificada por el Parlamento. Y no puede ser solicitada hasta que la EIA esté acabada y el ministerio correspondiente haya emitido su informe.

Según la Ley de la Energía Nuclear, cualquier decisión para designar un lugar en donde construir un repositorio debe contar con la aprobación del municipio correspondiente. La Ley deja abierta la forma en que ésta se produce formalmente, pero es una condición indispensable para que la Decisión sea aprobada por el Gobierno y, en cualquier caso, para que pueda ser debatida en el Parlamento nacional. En el caso finlandés, el Ministerio decidió que la aprobación se realizaría mediante un mecanismo decidido autónomamente por el ayuntamiento afectado. Así, en las dos localidades consideradas como más favorables tras la EIA, Loviisa y Eurajoki, la primera decidió celebrar un referéndum, mientras que la segunda consideró más oportuno realizar una votación en el seno del consejo municipal. La decisión de Posiva de proponer solamente a Eurajoki para una Decisión en Principio puso en marcha el mecanismo legal: el organismo regulador (STUK) efectuó una evaluación preliminar de la seguridad del emplazamiento, que al ser positiva dio paso a la votación en el municipio. El consejo municipal aprobó por veinte votos a siete la propuesta. Posteriormente, el acuerdo fue objeto de dos recursos que fueron resueltos en el año 2000 por el Tribunal Supremo de Finlandia; y, tras los informes elaborados por el municipio y el organismo regulador, el Gobierno informó positivamente la Decisión en Principio.

Suecia

Este país escandinavo cuenta con diez reactores nucleares en operación comercial, localizados en tres centrales nucleares. Con una potencia instalada de 8.900

MWe, aportan el 50% de la electricidad consumida en Suecia. La gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado es realizada por SKB, una empresa privada que es propiedad de las compañías eléctricas que tienen centrales nucleares. SKB anunció en julio de 2009 que solicitaría la licencia de construcción de un almacén geológico en profundidad para disponer su combustible irradiado en Forsmark, en el municipio de Östhammar. La decisión cuenta con la aprobación de la localidad y deberá ser ratificada por el Gobierno cuando admita a trámite la solicitud de construcción, previsiblemente a finales de 2010.

El plan de búsqueda de emplazamientos arrancó a principios de los años ochenta. Tras diversos incidentes en poblaciones en donde se pretendían realizar sondeos y trabajos de exploración geológica, SKB decidió replantear el proceso e integrar la participación social. La nueva estrategia aceptó el principio de voluntariedad y de veto de los municipios en donde se pudiera implantar esta empresa. Tras el visto bueno del Gobierno sueco en 1992, SKB dirigió y realizó un estudio general sobre el subsuelo profundo de Suecia. Éste debía proporcionar información a escala nacional para comprender qué partes del país eran inadecuadas, interesantes o apropiadas. En segundo lugar, permitiría realizar unos diez estudios de viabilidad en emplazamientos concretos de aquellos municipios que estuvieran interesados. Finalmente, se efectuarían investigaciones —incluyendo sondeos de prueba— en no menos de dos lugares. Se preveía que los trabajos de investigación en detalle podrían comenzar en 2002 para dar paso a la caracterización detallada de un emplazamiento. Sólo después de que se concluyera un procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) se podría construir la instalación de caracterización.

SKB se autoimpuso que los estudios de viabilidad sólo se efectuasen con el permiso y participación del municipio afectado e implicaran un proceso de información y debate con la población local. Por decisión del Gobierno, los

consejos administrativos de los departamentos en donde se realizaron estos estudios tenían la responsabilidad de coordinar los contactos con las autoridades municipales y las autoridades reguladoras, así como de iniciar el proceso de consulta pública previsto en la legislación sobre EIA. Una vez acabado el estudio, el municipio tendría derecho a rechazar más trabajos de SKB, si así lo decidía la población en referéndum.

Desde 1993, SKB ha trabajado en ocho municipios voluntarios. En varios de ellos, la población rechazó la continuación de los trabajos; en otros, la empresa encargada de la gestión de los residuos desestimó la viabilidad técnica y social del proyecto. Finalmente propuso, en 2002, iniciar las investigaciones específicas en tres de los ocho municipios iniciales: Östhammar, Oskarshamn y Tierp. La proposición fue examinada y aprobada por el Gobierno y otras partes interesadas. En aplicación del principio de voluntariedad, se realizó una consulta pública local. Östhammar y Oskarshamn aprobaron los planes de investigación mientras que el consejo de Tierp los rechazó.

Los trabajos en Östhammar y en Oskarshamn condujeron a la designación del primer lugar. En los siete años de investigaciones en detalle, SKB ha puesto en marcha un proceso de EIA que proporciona la estructura bajo la que se realizan otras actividades de participación. En concreto, en las dos poblaciones finalistas se han organizado el Foro de Evaluación de Impacto Ambiental de Oskarshamn y el Grupo de Evaluación del Impacto Ambiental y Consulta de Forsmark, que han celebrado una media de tres a cuatro reuniones anuales. Estos grupos están formados por representantes de SKB, el organismo regulador SSM y las respectivas corporaciones municipales. Los dos foros, aunque abiertos a todo el mundo, están apoyados por el trabajo continuo de dos asociaciones auspiciadas por los municipios implicados. La Oficina de Competencia Local de Oskarshamn (LKO) se estableció en 2002 con el objetivo de preparar documentación extensiva y básica para la decisión de la Corporación Muni-

cipal sobre una posible propuesta de SKB de emplazar el repositorio en el municipio. Dentro de ella dos grupos de trabajo han examinado el trabajo de SKB, mientras que el tercero ha trabajado sobre las posibilidades de desarrollo local en relación con el almacén geológico. Los gastos de su funcionamiento han corrido a cargo del Fondo de Gestión de Residuos Nucleares gestionado por el Gobierno. En Östhammar, un Grupo de Referencia se ha dedicado a organizar encuentros públicos y seminarios y a diseminar los resultados de los estudios de viabilidad de SKB. En estas reuniones también han participado SKB y el regulador (SSM).

La decisión final de emplazar el almacén de residuos en Forsmark se ha producido tras un acuerdo previo, conjunto, entre los dos municipios y SKB. Según sus términos, SKB y sus accionistas se comprometen a poner en práctica un Programa de Valor Añadido por un importe total cercano a los 200 millones de euros. El acuerdo está condicionado a que el gobierno sueco autorice la construcción del almacén geológico y sus instalaciones correspondientes. El importe se distribuirá de manera que el municipio en donde se instale el almacén (Östhammar) recibirá el 25% del valor añadido y el otro (Oskarshamn) obtendrá el 75% restante. En palabras de SKB y de los dos municipios, la fórmula de reparto está destinada a compensar a la localidad descartada por la pérdida de los beneficios inherentes a una instalación de gestión de residuos como la propuesta.

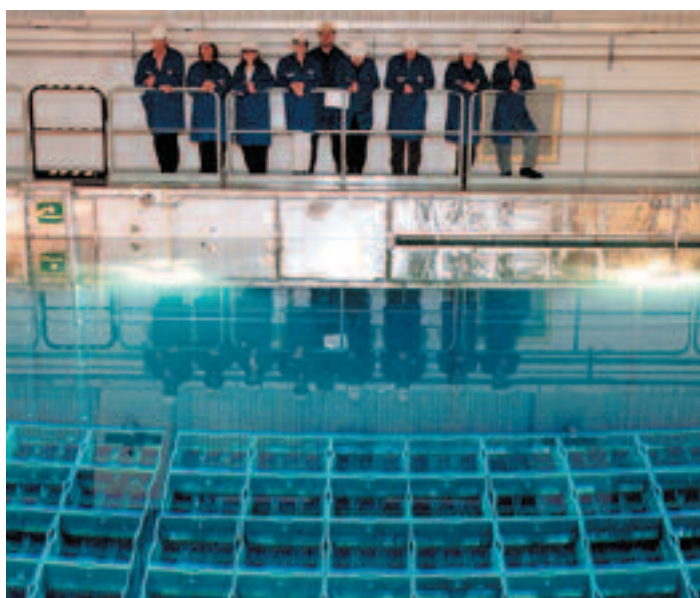
Conclusiones

Tras analizar los tres casos anteriores pueden extraerse las siguientes conclusiones:

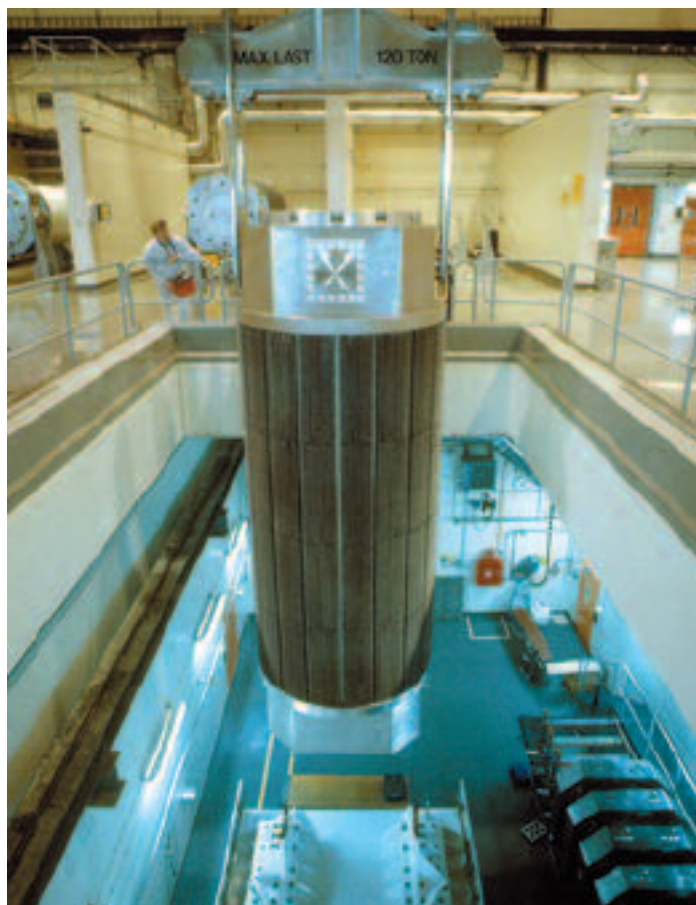
— La dificultad de que la sociedad acepte las instalaciones de gestión de residuos radiactivos ha llevado a la mayoría de los países de la OCDE a adoptar mecanismos y fórmulas específicas para favorecer la participación y la consulta de los actores sociales en la toma de decisiones a la hora de designar su ubicación. Esta tendencia se ha especializado en el caso de las instalaciones para la gestión definitiva del combustible gastado y de



SKE



SKE



Arriba, a la izquierda, vista panorámica de la instalación CLAB, el ATC de Suecia, ubicada en el emplazamiento de la central nuclear de Oskarshamn. Debajo, la piscina para la transferencia de elementos a las cápsulas de almacenamiento. Sobre estas líneas, una cápsula preparada para ser trasladada a la piscina de almacenaje.

los residuos de alta actividad. Los principios que deben estar presentes en los procesos de toma de decisiones para que éstas sean duraderas son: equidad, apertura, transparencia, asignación de roles y responsabilidades, y rendición de cuentas. Cada uno de ellos afecta positivamente a los ámbitos de los valores éticos, democráticos y de buena gobernanza que deben prevalecer en los procesos.

— Estados Unidos, Suecia y Finlandia son tres casos de países que optaron por almacenamientos geológicos profundos. En el primer caso, el proceso de designación se incluyó en una Ley de Residuos Nucleares aprobada por el Parlamento que decidió el emplazamiento candidato y limitó la participación de los actores públicos y sociales a procedimientos reglados dentro de las respectivas leyes y normativas, sin contemplar una participación específica en la toma de decisiones. Suecia y Finlan-

dia establecieron que los municipios que quisieran albergar los almacenes de alta actividad debían postularse voluntariamente como candidatos y su designación se efectuaría tras largos y exhaustivos procesos de participación pública. En estos casos, la decisión final, tras comprobar la viabilidad técnica y social de los correspondientes emplazamientos, debe ser refrendada y aceptada por los municipios correspondientes.

— En la actualidad, el programa estadounidense de designación de un emplazamiento para el almacén geológico se encuentra parado después de que la Administración Obama revocase la designación de Yucca Mountain (Nevada) por el presidente George W. Bush y el Congreso. Durante veinte años, el estado de Nevada y los municipios afectados han manifestado una feroz oposición al proyecto, que se ha traducido en muchos casos en la completa “judi-

cialización” de cualquier permiso o posible autorización administrativa. Los procesos finlandés y sueco avanzan desde mediados de los años noventa y, aunque con alguna dificultad inicial, ambos están en una buena situación en cuanto a aceptación social y política.

— La muestra de los tres países analizados refleja que los procesos largos, con tiempos de maduración de decenios, en donde se da cabida pronto y de manera intensiva a la participación de las partes interesadas y a los diferentes actores, consiguen mejores resultados para la aceptación social de las soluciones propuestas. Los procesos diseñados —como el de EE.UU.— “de arriba abajo” suelen derivar, a la larga, en enfrentamientos difíciles de resolver entre las partes implicadas ante la ausencia de condiciones de flexibilidad y de iteración entre los encargados de los programas de gestión y las poblaciones afectadas. ■

Artistas y tecnólogos se dan la mano en una exposición celebrada en Gijón

Tecno@rt 2010: el inevitable encuentro del arte y la tecnología



MONTAJE DE PEDRO GARCÍA

Durante los días 17 a 23 de mayo, la antigua Universidad Laboral de Gijón, ahora reconvertida en Ciudad de la Cultura, acogió buena parte de los actos de la Presidencia española de la Unión Europea relacionados con el mar, entre ellos la celebración del Día Marítimo Europeo y la exposición denominada *Tecno@rt: el inevitable encuentro del arte y la tecnología en un entorno sostenible*, en la que ambas disciplinas exploraron sus campos comunes y su progresiva confluencia. ■ **TEXTO Y FOTOS: Jesús Vicenti, PERIODISTA Y ASESOR TECNOLÓGICO.**

ARTISTAS Y TECNÓLOGOS COMPARTIERON en Gijón no sólo escenario, sino también objetos comunes de inspiración como maquetas, prototipos y equipos reales de investigación aportados por entidades como el Instituto Español de Oceanografía (IEO); el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (Cehipar), en Madrid; la Plataforma Oceánica de Canarias; el organismo Puertos del Estado; Azti-Tecnalia; Iberdrola; la Universidad de Cantabria; la Fundación Valenciaport; el Foro Marítimo Vasco; la Secretaría General del Mar; Praesentis; Aerovisión; Soermar; Astilleros Gondán; Sistemar; Prodintec; el Acuario de Gijón; Impulso y CEMMA, bajo el patrocinio principal del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Así, por ejemplo, un trineo de investigación marina del IEO inspiró al escultor Juan Luis Molero su robotizado *Hombre nuevo*; y un avión no tripulado de teledetección, unas enigmáticas “alas” de hierro bañadas en pan de oro.

Juan Francisco Pro, por su parte, creó toda una serie de bajorrelieves en cobre sobre chapa galvanizada en zinc inspirándose en el proyecto de energías renovables marinas Ocean Líder, promovido por Iberdrola.



Vicente Álvarez Areces, presidente del Gobierno asturiano, pronuncia su discurso inaugural en la muestra, acompañado —de izquierda a derecha— por el consejero de Industria y Empleo, Graciano Torre; el consejero de Medio Ambiente, Ordenación e Infraestructuras, Francisco González Buendía; el presidente de Puertos del Estado, Fernando González Laxe; el subdirector de Análisis de Sectores y Medio Ambiente Industrial, Timoteo de la Fuente; el presidente de Innovamar, José Manuel Manzanedo; el director general de Ordenación Pesquera, Ignacio Gandarias, y el director de Innovamar, Arturo González.

A su vez, un casco desnudo usado para la investigación hidrodinámica en el Cehipar fue el gran lienzo de madera sobre el que un joven artista asturiano conocido como “Sr. X” pintó con *spray* a un crispado Neptuno entre bidones de petróleo, defendiéndose de los vertidos incontrolados de crudo que asuelan sus dominios.

Adrián Cuervo, otro artista asturiano como “Sr. X”, también vinculado al centro de Arte y Creación Industrial de la Ciudad Laboral, que ahora dirige la ex directora de Arco Rosina Gómez Baeza, inundó las hornacinas de la iglesia de la Laboral de cascadas de olas que pasaban del azul al verde haciendo valer



Los príncipes don Felipe y doña Letizia, en la sesión inaugural del Día Marítimo Europeo, marco de Tecno@rt, junto al presidente asturiano, Vicente Álvarez Areces, y la ministra de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Elena Espinosa. A la derecha, iglesia de la Ciudad de la Cultura de Gijón, sede de 'Tecno@rt'.



Vista general de la exposición, en la que arte y tecnología comparten espacio escénico.

el lema de la exposición: “Blue ocean goes green”.

Muy impactante resultó también la serie de fotografías de José Lapasí, tituladas *Noray*, presentadas por la Fundación Valenciaport; siete obras realizadas en tela y montadas sobre bastidor, que realzan la poética existente entre lo aparentemente natural y cotidiano que sucede cada día en un puerto y la interpretación creativa del autor.

Tampoco faltaron composiciones musicales ni un creativo vídeo expuesto

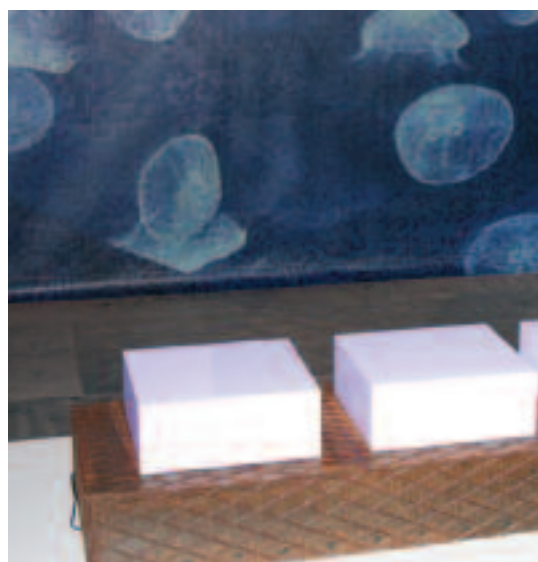
este año en la feria Arco por un colaborador de Berlanga, en el que dos veleros parecen bailar y fundirse en uno solo para, a continuación, atomizarse en un caleidoscopio sin fin. No cabe duda de que se trataba de un marco inesperado y poco común para productos tan innovadores desde el plano tecnológico como la Plataforma Oceánica de Canarias para investigación de aguas profundas, los radares de detección de impacto climático, los generadores de energías limpias, las cañas de pescar telescópicas, los

exploradores subacuáticos o las boyas medidoras de corrientes, temperaturas y presiones autoalimentadas por placas solares. “La relación del arte con la tecnología, las ciencias y el conocimiento —dijo el presidente del Principado de Asturias, Vicente Álvarez Areces, en la inauguración de la exposición— es absoluta, y afortunadamente tenemos un camino inmenso para hacer cosas”.

El escenario elegido para la muestra no pudo ser más emblemático: la iglesia del patio central de la Ciudad de la



El artista asturiano "Sr. X" utilizó como "lienzo" un casco de investigación del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (Madrid), para inmortalizarlo con este Neptuno sobre barriles de crudo.



Barco Elemental, del escultor J.L. Molero, que toma como modelo un remolcador de altura.



Hombre Nuevo, recreación artística de Juan Luis Molero, a partir del trineo fotogramétrico del Instituto Español de Oceanografía.



Remolcador de altura expuesto por la Universidad de Cantabria. Modelo de *Barco Elemental*.

Cultura, cuyo conjunto arquitectónico, completado con una majestuosa torre de 129 metros de altura, es todo un guiño a la confluencia histórica de espacios artísticos con las vanguardias técnicas y tecnológicas. La iglesia se inspira en la basílica de Santa Sofía de Constantinopla, construida en el siglo VI. La torre, con porte de Giralda, es un homenaje a la convergencia de culturas, arte y tecnología, pero también al mar, ya que toma como modelo el mítico Faro de Alejandría, una de las siete maravillas del mundo antiguo, con una historia de leyenda de casi 2.300 años. El recinto fue diseñado en 1945 por el arquitecto madrileño Luis Moya e incorpora una



Avión no tripulado de teledetección de Inasmet, que sirvió de inspiración para la obra *Alas*.



Serie Agua, de Juan Francisco Pro, compuesta a raíz del proyecto de energías renovables marinas Ocean Líder, de Iberdrola.



El escultor Juan Luis Molero posa ante su obra *Alas*, realizada en hierro y bañada en pan de oro.

gran plaza central, cuya superficie es una réplica de la de San Marcos de Venecia, y un teatro helenístico de medidas similares al Partenón, hoy convertido en auditorio. Este último fue sede, el pasado 20 de mayo, de la sesión inaugural del Día Marítimo Europeo.

Por unos días, y tomando prestadas las reflexiones que hizo el escritor Manuel Gómez con motivo de la exposición, se pudo constatar que, “como la tecnología o la ciencia, también la filosofía, la experiencia inmediata artística o mística, la imaginación, la simpatía y empatía, el sufrimiento o el amor son igualmente fuentes de conocimiento que siguen por caminos y parámetros diferentes, pero no

por ello necesariamente contradictorias de las científicas”.

A propósito de este debate, también intervino en su día Eduardo Chillida, cuando criticaron cómo las instalaciones portuarias de El Musel afeaban su *Elogio del horizonte*, construido sobre un promontorio de la costa gijonesa a modo de nuevo y vanguardista Coloso de Rodas. “El paisaje industrial también es arte”, sentenció el escultor.

En torno a la celebración del Día Marítimo Europeo, y además de la exposición *Tecno@rt*, se llevaron a cabo alrededor de cincuenta encuentros temáticos, bajo el lema “Innovación para un crecimiento sostenible”, promovidos des-

de la Comisión Europea y que contaron con la coordinación, por parte española, de la fundación Innovamar y del Gobierno del Principado de Asturias. “Un producto de alta tecnología —manifestó el director de Innovamar, Arturo González, durante la jornada inaugural de la exposición— también puede ser una obra de arte”. Así que *Tecno@rt* aspira a crear tendencia en futuras ediciones del Día Marítimo Europeo, que parecen verse abocadas ahora a mostrar los objetos industriales con lenguaje escénico de museo y no de feria comercial, haciendo buena la propuesta del inesperado pero inevitable encuentro entre arte y tecnología formulada en Gijón. ■

Erupción del Eyjafjall (Islandia)
vista desde un satélite.

*Las grandes erupciones
volcánicas pueden afectar
a la temperatura media
del planeta*

Cenizas para enfriar el clima

La erupción, a finales del pasado mes de marzo, del volcán Eyjafjall, en Islandia, originó en pocos días un verdadero caos en el tráfico aéreo del continente europeo y, por extensión, en las comunicaciones de medio mundo. El Eyjafjall, localizado sobre un glaciar, ha inyectado en las capas altas de la atmósfera grandes cantidades de ceniza, diminutas partículas abrasivas acompañadas de gases ácidos que, además de complicar el tránsito de aeronaves, pueden llegar a comportarse como un auténtico escudo frente a la radiación solar, fenómeno que en algunos casos ha llegado a ocasionar perturbaciones climáticas a escala global. ■ **POR José María Montero, PERIODISTA AMBIENTAL.**

EN 1992 DOS GEÓLOGOS ESTADOUNIDENSES, Michael Rampino y Stephen Self, apuntaron la posibilidad de que una erupción volcánica de enormes proporciones fuera la causante de una anomalía en la evolución del género humano. La catástrofe que pudo afectar a nuestros ancestros se produjo

hace unos 74.000 años cuando el volcán Toba, situado en la isla indonesia de Sumatra, explotó con una violencia que hoy es difícil de imaginar, arrojando a la atmósfera unos 800 kilómetros cúbicos de cenizas mezcladas con otros 2.000 kilómetros cúbicos de diversos materiales. La erupción, calificada de magnitud 8 (o

“megacolosal” en el argot de los vulcanólogos), puede considerarse la mayor de las registradas en los últimos veinticinco millones de años.

Las cenizas alcanzaron las capas más altas de la atmósfera y se extendieron por todo el planeta. Algunos autores consideran que la columna de humo volcánico

pudo alcanzar los cuarenta kilómetros de altura, y lo cierto es que se han encontrado estratos con importantes capas de cenizas, procedentes del Toba, en diferentes emplazamientos de India y China situados a miles de kilómetros de distancia del volcán.

El escudo de cenizas que se instaló en la atmósfera filtró la radiación solar hasta originar un acusado descenso en la temperatura media del planeta (descenso evaluado en unos 3 °C), lo que provocó un invierno volcánico global que pudo extenderse a lo largo de unos seis o siete años. En las regiones templadas, señalaron Rampino y Self, la temperatura media pudo llegar a descender unos 15 °C, lo que provocó una brusca alteración en las condiciones ambientales. Al margen de esos seis o siete años donde el impacto climático de la erupción del Toba pudo ser extremo, también se sospecha que las alteraciones atmosféricas causadas por el volcán provocaron una etapa de frío intenso que se prolongó durante unos 1.800 años y que afectó al conjunto de la biodiversidad terrestre.

Un antropólogo también estadounidense, Stanley H. Ambrose, combinó toda esta información con algunas evidencias obtenidas a partir de estudios genéticos en los que se señalaban ciertos “cuellos de botella” en la historia evolutiva de las poblaciones humanas, es decir, momentos en los que se manifestaron reducciones drásticas en el número de individuos. Y una de estas reducciones coincidía, precisamente, con la época en la que el Toba originó un invierno volcánico global. A juicio de Ambrose, la catástrofe colocó casi al borde de la extinción a las diferentes especies de humanos (*Homo sapiens* y neandertales) que entonces poblaban el planeta, de manera que sólo habrían sobrevivido las poblaciones de *Homo sapiens* que vivían en las zonas ecuatoriales.

Ambrose llegó a considerar que este fenómeno también influyó de manera decisiva en la diferenciación humana. El invierno volcánico, argumentó, terminó provocando el aislamiento de unas pocas poblaciones humanas que tuvieron que adaptarse a las condiciones de cada emplazamiento, lo que explicaría, según este

antropólogo, la escasa diversidad genética de nuestra especie y, sin embargo, los diferentes caracteres físicos que se manifiestan en las numerosas etnias. Como el propio Ambrose explica: “Cuando la diáspora de los humanos africanos modernos pasó a través del prisma del invierno volcánico del Toba, apareció un arco iris de diferencias”.

Las teorías de Rampino, Self y Ambrose han sido muy discutidas y hoy no se sabe a ciencia cierta cuál fue el verdadero impacto que la monumental erupción del Toba tuvo en las poblaciones humanas de hace 74.000 años. Incluso se discute la intensidad del invierno global originado por el escudo de cenizas que se instaló en la atmósfera, ya que algunos científicos chinos, como Meng-Yang Lee, han demostrado, estudiando los restos de otras megaerupciones ocurridas hace miles de años, que si bien el bloqueo de las radiaciones solares origina un enfriamiento del clima éste no causa alteraciones a largo plazo y mucho menos origina una glaciación. En el caso del Toba, señalan estas investigaciones, el clima del planeta ya se deslizaba hacia una etapa más

fría y la erupción sencillamente aceleró este tránsito.

El año sin verano

Aunque el ejemplo del Toba es una referencia habitual a la hora de conectar las erupciones volcánicas con ciertas alteraciones climáticas, no es necesario remontarse a sucesos que ocurrieron hace miles de años para certificar esta conexión.

Aunque modifiquemos la escala de nuestro calendario, de nuevo tendremos que situarnos en Indonesia, en una pequeña isla llamada Sumbawa donde se ubica el volcán Tambora, protagonista de otra de esas erupciones colosales. En este caso la gran explosión se produjo en los primeros días del mes de abril de 1815, aunque la actividad volcánica se prolongó hasta finales de agosto de ese mismo año, arrojando a la atmósfera unos treinta kilómetros cúbicos de cenizas y otros materiales. La erupción provocó un tsunami que barrió zonas litorales situadas a casi 2.000 kilómetros de distancia, provocando la muerte de más de 80.000 personas. Los vulcanólogos consideran que éste es el mayor cataclismo volcánico de los últimos diez mil años.



Cráter del Tambora (Indonesia). Su erupción en 1815 provocó anomalías climáticas documentadas.

En su libro *El hombre y el clima*, el físico francés Jacques Labeyrie se atreve a calcular el volumen de cenizas que el Tambora arrojó a la atmósfera: “Es lógico pensar que se hayan inyectado, por encima de los quince kilómetros de altura, por lo menos 150 millones de toneladas de estas partículas de polvo muy finas. Su dimensión de pocos micrones les impidió, durante varios años, caer al nivel del mar”. De acuerdo con los vientos predominantes en las capas altas de la atmósfera y su diferente orientación e intensidad según las distintas latitudes, Labeyrie explica cómo las cenizas del Tambora terminaron por cubrir todo el planeta y por eso se han encontrado estratos con cenizas procedentes de esta erupción en Groenlandia o en las mesetas heladas de la Antártida.

Pero lo cierto es que a comienzos del siglo XIX nadie se preocupaba por la influencia que una erupción volcánica, localizada en una remota isla del sudeste asiático, pudiera tener en el clima. La conexión entre ambas circunstancias ya había sido esbozada por Benjamin Franklin a finales del siglo XVIII, pero no se demostró como cierta, con las correspondientes evidencias científicas, hasta que en 1963 se estudiaron los efectos de la erupción del volcán Gunung Agung en la isla de Bali.

Sin embargo, y aunque entonces no pudiera establecerse esta relación, la erupción del Tambora provocó una serie de anomalías climáticas bien documentadas que dieron lugar, en 1816, a lo que los historiadores del clima denominan “el año sin verano”.

En un extenso artículo, publicado en la *Revista del Aficionado a la Meteorología*, la historiadora Carmen Gozalo de Andrés detalla las particulares condiciones ambientales que se registraron en diferentes puntos de Europa durante aquel año atípico. “La ciencia meteorológica de aquel momento —explica— no relacionó el continuo velo de polvo atmosférico ni los deslumbrantes crepúsculos con la erupción del volcán Tambora, cuya existencia probablemente desconocía. Se contemplaba con estupor el comportamiento del extraño verano que había

Vínculos con el cambio climático

La relación entre vulcanismo y cambio climático también puede establecerse a la inversa, considerando que éste último puede estar en el origen de algunas erupciones.

El vulcanólogo islandés Freysteinn Sigmundsson advierte de que la erupción del Eyjafjall tiene causas “totalmente naturales, pero el recalentamiento global y la consecuente disolución de los glaciares islandeses puede favorecer nuevas erupciones”.

En el caso de este volcán, precisa Sigmundsson, “no creemos que la reducción del hielo haya sido importante, pero nuestros estudios sugieren que en las próximas décadas habrá erupciones más grandes y frecuentes debido a la disolución de los hielos causada por el recalentamiento global”.

Idéntica opinión expresa David Pyle, profesor de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Oxford, quien explica que el derretimiento de los glaciares y la elevación del nivel de los mares son circunstancias que cambian la distribución de enormes cantidades de agua, que liberan y aumentan la presión en los suelos. Estos cambios de presión aumentan la posibilidad de movimientos sísmicos y rupturas. “Muchos volcanes de América del Sur —detalla— están cubiertos por hielo, y si el cambio climático hace retroceder a estos glaciares, los volcanes se volverán más susceptibles a los deslaves y la erosión, y esto puede desencadenar inundaciones”.

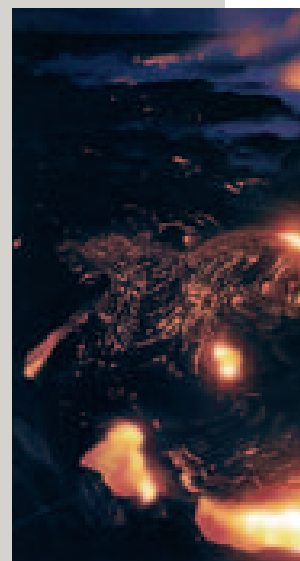
Juan López de Uralde, director de Greenpeace España, añade otro elemento de reflexión a este vínculo entre vulcanismo y cambio climático. “Por más que nos parezca imposible de igualar a un fenómeno de la magnitud de una explosión volcánica, las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero son mucho mayores que las de los volcanes. Cada año las erupciones volcánicas emiten entre 110 y 250 millones de toneladas de dióxido de carbono. ¿Parece mucho? Pues las actividades humanas multiplican por cien esa cantidad”.



Juan López de Uralde, director de Greenpeace España.

Aunque es cierto que se han manifestado fenómenos de enfriamiento global asociados a una erupción volcánica, como la del Pinatubo, López de Uralde señala que esos fenómenos “son puntuales y en ningún caso inducirán una reducción de la tendencia de calentamiento global consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero de la actividad humana”. Y desde luego la erupción del Eyjafjall, por sus características, no parece que vaya a contribuir a ese enfriamiento circunstancial y transitorio.

No cabe por tanto considerar, como han llegado a defender algunos especialistas, que la Tierra tiene mecanismos geológicos de compensación del cambio climático entre los que se anotan las erupciones volcánicas. Ese mecanismo, que ofrece un falso consuelo, no existe. Desgraciadamente, una vez más la mano del hombre desborda a la naturaleza. ■



Vista del Parque Nacional de los volcanes en Hawái.

retrasado las vendimias del sur de Francia hasta los últimos días de octubre y las de la cuenca del Rin hasta principios de noviembre. En París se registraban en el mes de julio temperaturas medias inferiores en 3,5 grados a las normales de aquel mes, y en agosto estos valores eran casi tres grados más bajos”.

Ya que no existen registros meteorológicos que lo puedan certificar, en España se ha recurrido al estudio de fuentes indirectas para comprobar si efectivamente aquel verano también fue anóma-

ganadera ya se habían estudiado en otros países de Europa, y en algunos casos aparecen también vinculadas a circunstancias climáticas inducidas por erupciones volcánicas.

No muy lejos del volcán Eyjafjall, que esta pasada primavera colapsó el tráfico aéreo de toda Europa, se encuentra el Laki, también en suelo islandés, cuya erupción, desde junio 1783 a febrero 1784, lanzó a la atmósfera más de diez millones de toneladas de dióxido de azufre que terminaron convirtiéndose en ácido sulfhídrico, un

tosfera, de manera que terminaron por distribuirse por todo el planeta permaneciendo, las de menor calibre, más de un año sin caer a tierra. Las cenizas llegaron a depositarse a cerca de 2.500 kilómetros de distancia del volcán. En este caso, los científicos pudieron determinar el impacto climático de la erupción: la temperatura media del planeta disminuyó en 0,5 °C. En cierto modo, la erupción frenó el calentamiento global, pero, al mismo tiempo, los gases expulsados a las capas altas de la atmósfera aceleraron la destrucción del ozono estratosférico.

La erupción del Pinatubo se combinó, además, con una duración más larga de lo habitual en el fenómeno de El Niño, un calentamiento periódico de las aguas del Pacífico, de manera que los climatólogos certificaron, en 1992 y en diferentes partes del mundo, un invierno excesivamente cálido y un verano con temperaturas demasiado frías.

Éstos son ejemplos excepcionales porque lo cierto es que, a corto plazo, no es fácil determinar la influencia de los volcanes en el clima, ya que habría que analizar otras muchas variables —desde la evolución de las capas de nubes hasta la acumulación de nieve en los casquetes polares— y, sobre todo, no se dispone de un registro completo y fiable de la actividad volcánica en todo el planeta. Sólo a lo largo del siglo XX se estima que el número de erupciones volcánicas pudo superar las 3.600, y muchas de ellas pasaron desapercibidas para los científicos.

La naturaleza del material expulsado durante una erupción, explica el meteorólogo Luis Carlos Baldicero, también dificulta identificar sus efectos climáticos. “Cuando se compone de poco dióxido de azufre y muchas partículas, las consecuencias probablemente no se extiendan más allá de seis meses, mientras que si hay abundante dióxido de azufre las repercusiones sobre el clima pueden durar más de dos años. Y otra variable importante es la dirección de los vientos”. Demasiadas circunstancias para poder determinar el impacto climático real de cada una de las erupciones que se producen en el planeta. ■



El volcán Chaitén (Chile) entró en erupción en 2008, tras dos siglos sin actividad.

lo. Los libros de tazmías, donde se anotaban los diezmos que, procedentes de la agricultura y la ganadería, los feligreses entregaban a sus parroquias, son un excelente indicador de la producción agropecuaria y de cómo ésta se veía mermada por circunstancias meteorológicas adversas. “Hecho un estudio comparativo entre las tazmías de los años 1815, 1816 y 1817 en cuarenta localidades cántabras —detalla Gozalo de Andrés— se puede asegurar, sin ninguna duda, que Cantabria no disfrutó en 1816 de su habitual verano confortable. Mucho frío, poco sol y excesivas lluvias contribuyeron a reducir las cosechas a cotas de miseria y retrasar su recolección hasta noviembre, ya bien entrado el otoño”.

Un volcán revolucionario

Las repercusiones sociales y políticas de estas anomalías en la producción agro-

agente muy tóxico que provocó daños gravísimos en la agricultura y la ganadería. Las cenizas expulsadas cubrieron una superficie de más de 8.000 kilómetros cuadrados, y el invierno, como ocurriría poco después con el Tambora, registró unas temperaturas medias más bajas de lo normal. Este cóctel de circunstancias, achacables a la erupción del Laki, provocaron una hambruna que se extendió por gran parte del continente, hambruna que algunos autores consideran el detonante de la Revolución Francesa.

En épocas más recientes se han registrado erupciones de gran calibre cuyo efecto climático ha podido analizarse con mucha más precisión. Los dos ejemplos que suelen citarse son el del Chichón (México, 1982) y el del Pinatubo (Filipinas, 1991). La erupción de este último, situado en la isla de Luzón, lanzó gran cantidad de cenizas a la estra-

La naciente Royal Society fue una de las instituciones en el punto de mira de Jonathan Swift cuando escribió su inmortal 'Los viajes de Gulliver'

Gulliver en el país de los científicos

De la implacable sátira vertida en *Los viajes de Gulliver* por Jonathan Swift no se libraron ni las iglesias, ni las monarquías, ni los nacionalismos, ni tampoco los científicos.

El episodio de la visita de su protagonista a la Academia de Lagado constituye la primera crítica de una actividad entonces en exceso especulativa y carente de sentido práctico, y también un indicador de la definitiva apertura de un abismo entre la fe y el saber científico. ■ POR **Pablo Francescutti**, PERIODISTA CIENTÍFICO.

CONVERTIDAS EN UN CLÁSICO DE LA literatura mundial, las aventuras del capitán Lemuel Gulliver —inicialmente tituladas *Travels into Remote Nations of the World*— han sido disfrutadas por grandes y pequeños, y diseccionadas minuciosamente por los eruditos. Dichas peripecias, señala su autor, el irlandés Jonathan Swift, se desarrollaron supuestamente entre 1699 y 1715 (el libro se publicó en Inglaterra en 1726), intervalo en el cual el protagonista recorrió extraños países e islas desconocidas para el público británico.

La sorpresa suscitada por lo que se presentaba como la relación fidedigna de unas travesías por los mares del Sur se dispó a medida que los lectores captaron los mensajes disimulados entre sus portentosas descripciones. Así, descubrieron en el mezquino emperador de Liliput a un sosias del rey Jorge I de Gran Bretaña; y vieron en la guerra desatada entre Liliput y Blefescu, a raíz de una disputa sobre cómo cascar un huevo cocido, un trasunto de las absurdas querellas entre católicos y protestantes.

A los lectores avisados no les costó

interpretar el disminuido estatuto de Gulliver en Brobdingnag, el país de los gigantes, como un recordatorio de cuán relativas son las grandezas y las posiciones de poder; y supieron tomar a los depravados *yahoos* (de cuyo nombre pro-



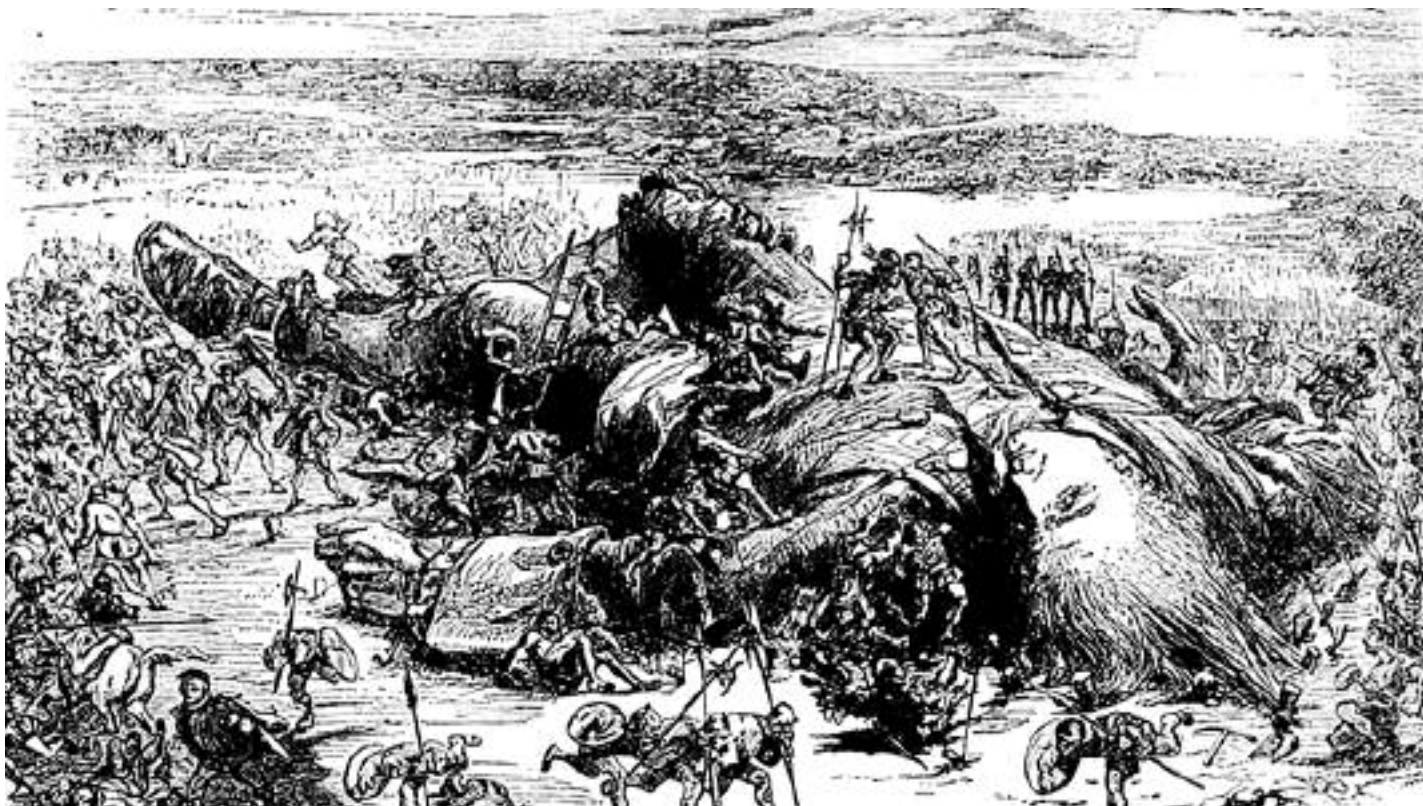
Gulliver mira la isla flotante de Laputa.

viene el del buscador homónimo de Internet) como exponentes del lado animal del ser humano que el Iluminismo pretendía soslayar, y a los virtuosos *houghnbnms* como un dechado de racionalidad que los europeos distaban de alcanzar.

Y a pocos de ellos se les escapó que la visita del capitán trotamundos a la Gran Academia de Lagado encerraba una crítica acerba a uno de los fenómenos más recientes y de creciente resonancia en la sociedad británica: el surgimiento de un colectivo de especialistas abocados a la especulación y a la experimentación científica. De examinar esta parte del relato, poco conocida por quienes accedieron a *Los Viajes de Gulliver* a través de las versiones *jibarizadas* para niños, nos ocuparemos en este artículo.

La Academia de Lagado

El tercer viaje de Gulliver se prodiga en experiencias prodigiosas. Su periplo le conduce a una isla flotante, Laputa, que levita en las alturas gracias a un campo magnético artificial. Sus rematadamente distraídos habitantes encarnan una



El episodio de Lilliput, donde todo era diminuto, es uno de los más conocidos de 'Los viajes de Gulliver'.

caricatura de los teóricos despreocupados de los resultados concretos de sus investigaciones. Tienden a sumirse tan hondamente en sus elucubraciones, que deben ser continuamente arrancados de ellas por sus criados, que para ello agitan cascabeles en sus oídos. Los laputenses han ideado una rebuscada lengua universal basada en la música y las matemáticas. "Si quieren celebrar la belleza de una mujer, o de algún animal, la describen mediante rombos, círculos, paralelogramos, elipses y otros términos geométricos, o por vocablos artísticos tomados de la música", comenta el maravillado visitante.

Su desinterés por los asuntos prácticos les lleva a dejar que sus casas se vayan abajo mientras divagan sobre la trayectoria del Sol y los cometas, aterrorizados ante la posibilidad de que el primero se apague o de que los segundos choquen contra la Tierra. Devotos de las matemáticas y la geometría abstracta, ignoran cómo aplicarlas a su vida cotidiana, al punto de que sus hogares no tienen un solo ángulo recto. Y aunque cortan su carne y su pan en figuras

geométricas, se muestran incapaces de producirlos por sí mismos, debiendo ser abastecidos por Lagado, la región situada bajo la isla voladora.

Es en el paseo por Lagado en donde Swift despliega su parodia de los excesos de las pesquisas teóricas y de la inutilidad del conocimiento puramente abstracto. En esos parajes los cultivos crecen de mala manera, la gente viste harapos y las viviendas se caen a pedazos. Eso sí, por influjo de los matemáticos laputenses cada pueblo cuenta con una academia en la cual sus moradores pasan el tiempo haciendo experimentos.

La Gran Academia visitada por Gulliver es una extraordinaria sucesión de laboratorios en donde se ejecutan los ensayos más extravagantes. Ante los ojos del viajero, que se declara "un gran admirador de las nuevas invenciones, pleno de curiosidad científica", los académicos intentan sin éxito extraer rayos solares de los pepinos, convertir los excrementos humanos en alimentos, arar la tierra con cerdos, producir mármoles suaves como relleno de almohadones, criar ovejas lampiñas, construir casas a partir del

tejado y enseñar matemáticas a los estudiantes atiborrándolos de gofres cubiertos de fórmulas.

La credulidad con la que Gulliver (nombre derivado de la palabra inglesa "gullible", crédulo, ingenuo, fácilmente engañable) presencia y transmite tales absurdos contribuye a intensificar el efecto paródico. Su recorrido por Laputa y Lagado consiste, en suma, en una burla de la ciencia tal como se presentaba en los siglos XVII y XVIII.

La Royal Society, en la picota

Al ridiculizar a los científicos de su época, el escritor viene a decir que la ciencia por la ciencia misma dista de ser un ideal sublime. Postula, en cambio, que ésta y el raciocinio se empleen con fines prácticos para resolver los múltiples problemas de la vida real.

Los eruditos son unánimes: el blanco apenas velado de tales críticas es la Royal Society, la célebre academia británica de ciencias, una derivación del Invisible College fundado a mediados del siglo XVII por eminencias de la talla de Robert Boyle, el inventor de la bomba

Un reaccionario humanista

Jonathan Swift (1667-1745) nació en un humilde hogar de Dublín (Irlanda), y se le puede considerar un hombre que se hizo a sí mismo. Su actividad pública se inició al servicio del partido *whig* (liberal), como secretario del político Sir William Temple, aunque acabó su carrera como asesor del gobierno *tory* (conservador) y director de *The Examiner*, un periódico progobernamental. En paralelo, escaló posiciones en el clero anglicano, ascendiendo de sacerdote a deán de la catedral de Dublín, pero su pluma mordaz arruinó sus planes de llegar a obispo. Aunque sus textos conservan huellas de su desengaño de la alta política, este intelectual conservador se afanó por dejar constancia de las injusticias sociales, como las hambrunas sufridas por la población irlandesa por causa de los latifundistas ingleses (magistralmente denunciadas en *Una modesta proposición para acabar con el hambre en Irlanda*). Su obra le ganó una reputación de misántropo que él siempre rechazó. Swift fue un reaccionario con todas las de la ley, lo que no le impidió ser, al mismo tiempo, el último de los humanistas renacentistas. ■



Retrato del escritor irlandés Jonathan Swift, realizado por Francis Bindon.

de vacío, y del matemático John Wilkins, promotor de un idioma universal (como hemos visto, Swift no olvida burlarse del proyecto lingüístico de Wilkins). Las minuciosas descripciones de los experimentos en *Lagado* revelan el conocimiento afinado que tenía el escritor de *Philosophical Transactions of the Royal Society*, el principal órgano de la comunidad científica anglosajona de aquellos tiempos.

La idea de pergeñar un relato de viajes imaginarios se le ocurrió al autor en el seno del grupo de publicistas *tories* al que pertenecía, en compañía de los afamados estilistas Alexander Pope, John Gay y John Arbuthnot (un botón de muestra: su panfleto de 1711, *El comportamiento de los Aliados*, acusando a los *whigs* de haber prolongado la Guerra de Sucesión española pensando únicamente en sus intereses, provocó la caída del duque de Marlborough, el jefe militar británico). Pero lo que perseguía en un principio una finalidad partidista (ridiculizar a los políticos liberales) acabó derivando en una sátira radical de las instituciones europeas y, en última instancia, del género humano, al cual el escritor devenido moralista quiso hacer “avergonzar de sus vicios”.

Su crítica acabó apuntando más allá de las excentricidades de unos sabios lunáticos. A Swift, un protestante refractario a la Ilustración, le interesaba dejar claro que existen dominios del conocimiento en los cuales los seres humanos no deben aventurarse. Hay límites, pensaba, y no podemos aspirar a saberlo todo. El hombre es un ser pecador, rezaba su postura, y no siempre utiliza su racionalidad en pos del bien; por lo tanto, el raciocinio no debe ser celebrado como la principal cualidad humana, tal como querían los pensadores ilustrados. Las pullas a los laputenses, desdeñosos de todo aquel que no vive sumido en teorizaciones, constituyen un tiro por elevación contra quienes se jactaban de poner su conocimiento teórico por encima de todo. La racionalidad debe ayudar a tener a raya la tendencia humana al pecado, y no a atizar su estupidez,

asevera el escritor. De su mordaz crítica a las elites británicas no se escapó el emergente colectivo científico. Las referencias escatológicas que salpican el texto responden al designio de exhortar a los intelectuales a no creerse superiores al hombre común. Igual que un carpintero o un zapatero, un filósofo expele gases, eructos y sudores.

Entender el porqué de semejantes ataques requiere su contextualización. Cierto es que la ciencia se encontraba en aquellos tiempos en pañales, y abundaban los charlatanes y delirantes que embarcaban a los ingenuos en experimentos absurdos y ruinosos. Pero Swift exagera cuando generaliza sobre la excesiva especulación de los científicos; los miembros de la Royal Society nunca perdieron de vista el potencial útil de sus hallazgos, aunque sus logros iniciales se situasen muy por debajo de sus aspiraciones. Con todo, Swift no rechazaba los principios científicos promovidos por su compatriota Francis Bacon, el padre del método experimental, si bien su *Laputa* es la réplica pesimista a la Nueva Atlántida, la utopía tecnocrática concebida por Bacon; sucedía que en el fondo la suya era una mentalidad cristiano-humanista, alarmada por el ímpetu de una revolución científica que amenazaba con alterar el orden “natural” de las cosas.

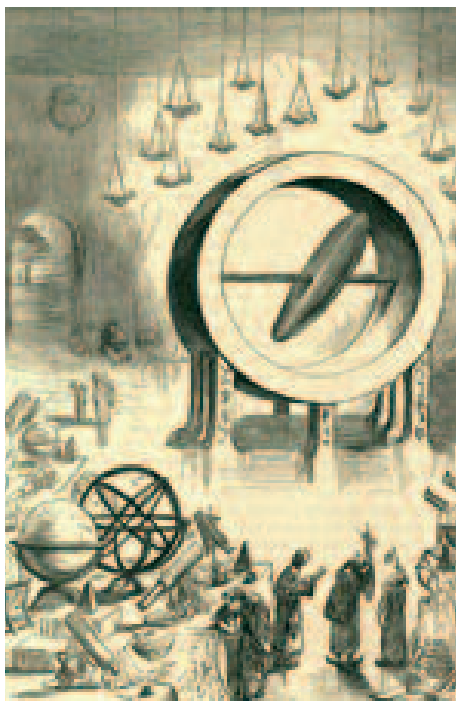
Como explica David F. Noble, la ciencia moderna es un desarrollo del programa de Bacon apoyado en una reformulación de la fe cristiana, reacia a transformar el mundo material. Tal reformulación, sólo posible en un entorno protestante abierto a las interpretaciones doctrinarias, legitimó la ambición del hombre sabio —el científico— a manipular la Creación y redimirse así del pecado original. Swift nunca aceptó ese corolario; de allí que viese en la ciencia una inclinación megalómana; él se decantaba por los oficios y las artes prácticas, conocimientos más prudentes, a su modo de ver.

Visto en retrospectiva, el ácido retrato de la Academia de Lagado se nos figura un punto de inflexión en la historia de las ideas; el punto en el que la

religión consume el alejamiento del estamento científico iniciado en los procesos a Galileo. Los discípulos de Bacon —héroes de la ciencia moderna— ya insinuaban su deseo de cambiar el mundo con sus criterios, para horror de clérigos como Swift que estaban convencidos de que la ciencia debía subordinarse a los valores éticos y religiosos, y no colocarse por encima de ellos.

Precursor de la ciencia ficción

Como ocurrió con todas las obras de Swift, *Los viajes de Gulliver* se publicaron sin mencionar su autoría para evitar la persecución gubernamental (se pretendía que el verdadero escritor era Lemuel Gulliver). Con el tiempo se supo la verdad y el libro pasó a ser conside-



Swift criticó en su obra a los científicos.

rado una de las mejores sátiras jamás escritas, y su autor, un maestro de la prosa inglesa. Sus agudas observaciones sobre la corrupción de las personas y las instituciones aún suenan creíbles, pese a los casi trescientos años transcurridos.

Sus hiperbólicas críticas a los hombres de ciencia, apunta el experto en literatura inglesa Carlo Pagetti, contribuyeron a sentar las bases de la ciencia ficción. En su narración recicla elementos de la literatura precedente, como el

relato de viajes y el tratado utópico, para explorar los límites de las leyes científicas y de sus aplicaciones a la realidad cotidiana, la rigurosa especulación y las confusas expectativas y temores del individuo común. Nos dice también que algunos científicos pueden ser grandes soñadores, a veces ridículos, a veces irresponsables, y sobre todo personas empeñadas en trasplantar sus sueños al terreno social e histórico, el más grande laboratorio abierto a sus experimentos.

Swift demostró ser un notable conocedor del género utópico, el formato literario consagrado a pergeñar sociedades perfectas emplazadas en islas imaginarias, que se remonta a *La República* de Platón y que popularizaron sus compatriotas Tomás Moro y Francis Bacon. Su desencantada sátira de los pretendidos mundos ideales le convirtió en el fundador de un género simétricamente inverso: la anti-utopía o distopía. En ese menester, acuñó temas que se han vuelto lugares comunes: el estereotipo del sabio loco, la ambición de los científicos de adquirir poderes cuasidivinos, la sed de conocimiento a cualquier precio, la sospecha de que existen saberes peligrosos, la especulación ajena a las preocupaciones del pueblo llano, además de un repertorio de imágenes y situaciones que integrarían el acervo de la ciencia ficción (de las aventuras de seres diminutos entre gigantes a las ciudades guarnecidas por campos magnéticos).

Su legado alimentó variadas corrientes ideológicas, del anarquismo al liberalismo radical; pero ha sido la ciencia ficción la que desarrolló su visión desangelada de las promesas tecnológicas y de las utópicas sociedades “racionales”, que suelen revelarse sueños fallidos. Sin duda, su visión de la inutilidad de los científicos se ha demostrado obsoleta; él mismo no reconocería el mundo que la innovación surgida de Bacon y la Royal Society ha creado. Pero en tanto fue de los primeros en percibir que la neutralidad ética de la ciencia la hace susceptible de ser empleada para el bien o para el mal, tuvo el mérito de plantear una problemática moral que tiene hoy más vigencia que nunca. ■

*El descubrimiento
de nuevos planetas extrasolares
pone de actualidad
la cuestión de existencia
de vida extraterrestre*

Vida fuera de la Tierra:

¿posible, probable, segura?

Hace medio siglo, el astrónomo Frank Drake propuso una curiosa fórmula para analizar matemáticamente los márgenes de probabilidad de la existencia de vida fuera de la Tierra.

Sigue siendo estudiada con una mezcla de admiración y escepticismo por los científicos, aunque es evidente que en la actualidad disponemos de una información mucho más completa, aunque todavía insuficiente, acerca de esa posibilidad. Por ejemplo, tenemos constancia de la existencia de planetas extrasolares, de los que ya hemos censado varios centenares. Pero aun así el debate sigue en pie: ¿es posible la vida fuera de la Tierra? Si es posible, ¿es probable? Incluso hay quien osa afirmar que es segura, e incluso que esas formas de vida ya nos han visitado... ■ **POR Manuel Toharia.**

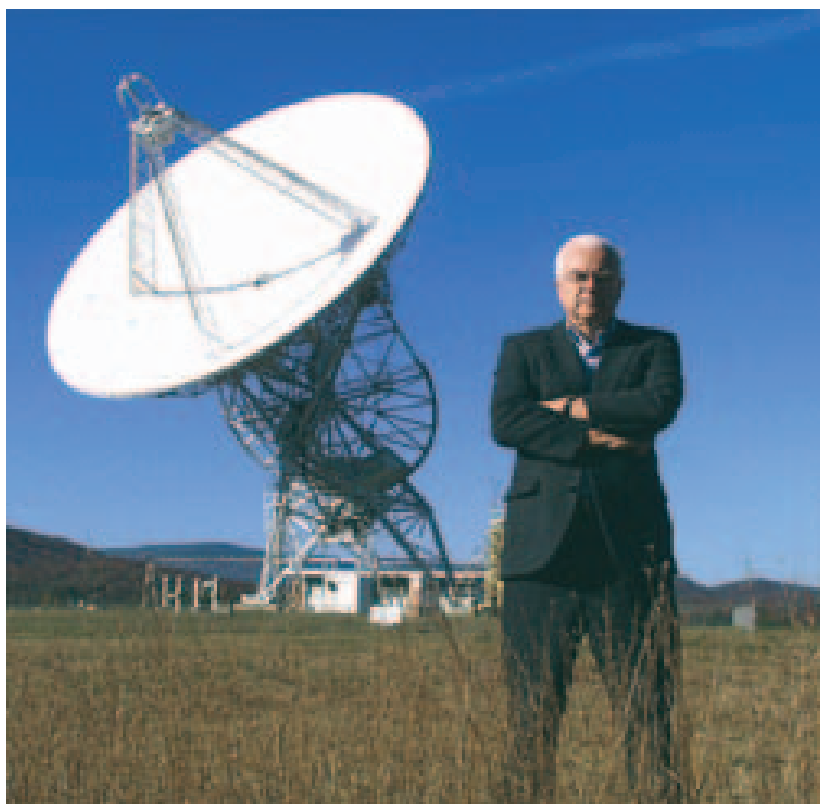
 **UANDO DRAKE**, A LA SAZÓN PRESIDENTE del Instituto SETI (siglas en inglés de búsqueda de inteligencia extraterrestre), se propuso estimar la cantidad de civilizaciones en nuestra galaxia susceptibles de poseer emisiones de radio detectables, es obvio que contaba con los mejores medios tecnológicos a su alcance en aquellos comienzos del decenio de los sesenta. Él mis-

mo era un experto radioastrónomo, una rama de las ciencias del Cosmos que comenzaba a dar sus frutos, cada vez más fecundos, como complemento a la tradicional astronomía óptica. Y en su ecuación, que concibió mientras trabajaba en el Observatorio de Radioastronomía de Green Bank, en Virginia (EE.UU.), quiso identificar los factores específicos que pensó que jugaban un papel importan-

te en el desarrollo de las civilizaciones, tomando como modelo lo ocurrido en la Tierra: primero, vida microscópica; luego vida multicelular; luego vida compleja; después inteligencia, y finalmente tecnología capaz de enviar señales al espacio interestelar.

La famosa ecuación era algo parecido a lo que sigue:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L$$



Sobre estas líneas, Frank Drake, ex presidente del programa SETI. A la derecha, el divulgador científico Carl Sagan, que apoyó este programa.

Veamos cada uno de los términos de esa fórmula:

— R^* representa el ritmo anual de formación de estrellas capaces de tener planetas en torno suyo. Las estrellas nacen y mueren, pero en una galaxia como la nuestra quizá sean más las primeras; en otras, no.

— f_p sería el número de esas estrellas que ya tienen planetas girando a su alrededor. El descubrimiento de planetas extrasolares está permitiendo afinar un poco más este factor.

— n_e es el número de esos planetas que se encuentran a una distancia de su estrella compatible con la posibilidad de que haya vida. Es decir, ni muy lejos, por el frío, ni muy cerca, por el calor. En nuestro Sistema Solar sólo serían candidatos Venus —apenas—, la Tierra y Marte.

— f_i es la fracción de esos planetas en los que la vida ha podido aparecer. En nuestro caso, uno de tres (hay dudas de que en Marte hubiera vida microscópica en un pasado muy remoto).

— f_c es la fracción de esos planetas en los que la vida pudo evolucionar has-

ta hacerse inteligente. Algo que en la Tierra requirió casi 4.000 millones de años...

— f_c es la fracción de esos planetas donde la vida inteligente pudo finalmente desarrollar una tecnología que le permitiera comunicarse a distancia. Algo que en la Tierra le supuso al *Homo sapiens* bastantes miles de años.

— Y, finalmente, L es el número de años en los que esa civilización tecnológica consigue sobrevivir antes de desaparecer.

Hoy conocemos mejor que hace medio siglo algunos de esos factores, aunque la mayoría son altamente especulativos. En todo caso, las estimaciones son bastante mejores que en la época de Drake. Eso sí, para cada factor lo más racional sería atribuirle un intervalo de máxima probabilidad en lugar de ofrecer una cifra concreta... Y aun así, poniendo un techo mínimo y un techo máximo a las probabilidades de que se produzca una u otra cosa, los resultados siguen siendo prácticamente igual de imprecisos que en la época de Drake. En esencia, y después de tanta ecuación y tanta complejidad teórica, sólo pode-

mos decir que el margen de que haya vida tecnológica va de cero planetas —en realidad, habría que poner un uno, porque ya sabemos que la hay en la Tierra— a quizá no más de cien.

Drake se atrevió a adoptar en 1961 una serie de valores para cada factor, y la cifra que le salía era diez. Es decir, entre 200.000 millones de estrellas de la Vía Láctea, el resultado es que apenas diez de ellas podrían albergar un planeta capaz de contener vida inteligente lo suficientemente avanzada, en lo tecnológico, como para enviar señales al Cosmos. Y de ahí el programa SETI que él presidía, y que luego fue apoyado calurosamente, y con dinero, por científicos famosos como Carl Sagan.

Pero aquello sonaba optimista incluso hace medio siglo. Y en el año 2002 algunos científicos se divirtieron calculando, en sus ratos libres, cómo sería esa cifra con los datos modernos disponibles. Muchos estimaban, y estiman, que el programa SETI es una pérdida de tiempo... y de dinero.

Aquello se generalizó y hace unos años se produjo una eclosión —modesta, eso

sí— de artículos científicos bastante interesantes sobre el tema. Todos ellos ofrecían, en líneas generales, resultados respecto a nuestra galaxia muchísimo más pesimistas que los de Drake. En lugar de diez civilizaciones extraterrestres tecnológicamente avanzadas, lo que los estudios ofrecían era, según que se adoptaran unos u otros valores para algunos de los parámetros más inciertos, cifras de 0,0000000676963; 0,0000000142162 o bien 0,00000000805908 posibles civilizaciones. Del orden de cien o mil millonésimas; una cifra sumamente pequeña, muchos millones de veces inferior a la que le salía a Drake.

En realidad, nuestra galaxia se queda pequeña para este tipo de cálculos. Y ello, conviene repetirlo, a pesar de albergar en su seno 200.000 millones de estrellas.

La tentación es abrir el campo de observación y considerar, ya puestos, todo el Universo. Hoy se calcula que hay entre medio billón y un billón de galaxias. Las hay enormes, mucho más grandes que nuestra Vía Láctea, y también pequeñas. Todo ello promediado, los mejores cálculos que podemos hacer en la actualidad arrojan, sobre la probabilidad de que haya civilizaciones tecnológicamente avanzadas en el Universo, una cifra que oscila entre un mínimo de ninguna (aunque hay que insistir que ya hay al menos una, la nuestra) y un máximo de menos de 300.

Un dato esperanzador, al menos en apariencia. Pero sólo en apariencia. Porque en asuntos astronómicos los números grandes son tan grandes que no sólo resultan engañosos sino incluso mareantes.

La barrera del tiempo

Si en toda la galaxia —que mide unos 100.000 años-luz de diámetro, o sea unos cuatro trillones de kilómetros, es decir, un cuatro seguido de dieciocho ceros— no hay más que una, cuando según los cálculos debería haber en promedio una fracción infinitesimal de uno, eso significa que, considerando todo el Universo, las posibles civilizaciones tecnológicas deben estar separadas entre sí por una distancia media del orden de 2.000 millones de años-luz. Expresado en kilómetros, y escri-

to con todos sus ceros, esa cifra sería la siguiente: 80.000.000.000.000.000 kilómetros. Es decir, 80.000 billones de kilómetros.

Para entenderlo mejor, si una señal de radio o televisión fuese emitida hoy por nosotros, sería captada en uno de esos lugares remotos dentro de... ¡2.000 millones de años! Por supuesto, su respuesta llegaría otros 2.000 millones de años más tarde hasta nosotros. En total, 4.000 millones de años entre pregunta y respuesta. ¡Menuda conversación...!

Y es que en el espacio, la mayor barrera no es la distancia, sino el tiempo. De hecho, pocas personas son cons-

minutos entre pregunta, respuesta y la siguiente pregunta) cuando Marte esté muy cerca de la Tierra (cada dos años), y cuando esté muy lejos, al otro lado del Sol (también cada dos años, de forma intercalada), el intervalo será de unos veinte minutos a la ida y otro tanto a la vuelta... Cabe imaginar la conversación, cuando yo le digo algo a alguien, y su respuesta me llega cuarenta minutos después... ¡Y eso ocurre entre Marte y la Tierra, dos planetas vecinos del mismo sistema estelar!

El reciente descubrimiento de planetas que orbitan alrededor de otras estrellas, por ahora estrellas relativa-



Radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico, que recoge información del programa SETI.

cientes de que cuando vemos ponerse el Sol por el horizonte, en realidad hace ya ocho minutos y pico que lo ha hecho... Su luz tarda ese tiempo en recorrer los 150 millones de kilómetros que nos separan. Y si algún día hay colonias humanas en Marte, las comunicaciones con la Tierra no serán instantáneas, como ocurre en las películas de ciencia ficción, en las que el planeta rojo está habitado, sino que se demorarán entre unos tres minutos a la ida y otros tantos a la vuelta (en total, seis

minutos entre pregunta, respuesta y la siguiente pregunta) cuando Marte esté muy cerca de la Tierra (cada dos años), y cuando esté muy lejos, al otro lado del Sol (también cada dos años, de forma intercalada), el intervalo será de unos veinte minutos a la ida y otro tanto a la vuelta... Cabe imaginar la conversación, cuando yo le digo algo a alguien, y su respuesta me llega cuarenta minutos después... ¡Y eso ocurre entre Marte y la Tierra, dos planetas vecinos del mismo sistema estelar!

El reciente descubrimiento de planetas que orbitan alrededor de otras estrellas, por ahora estrellas relativa-

una estrella pequeña llamada TYC-4799-1733-I), es algo mayor que la Tierra pero tiene una densidad muy similar. O sea que es rocoso... Pero lamentablemente, se encuentra muy cerca de su estrella, a menos de tres millones de kilómetros, muchísimo más cerca de lo que está Mercurio del Sol. El planeta rocoso Corot-7b (se llama Corot porque fue descubierto por el satélite artificial *Corot*) es un auténtico infierno: la cara que mira a su estrella está a más de 2.000 grados, y la que mira al Espacio está a 200 grados bajo cero...

Pero esto es sólo el principio. En los veinte años que llevamos desde el pri-



Paul Davies, de la Universidad de Arizona.

mer descubrimiento de un planeta extrasolar no deja de aumentar, y de manera acelerada, el número de hallazgos al respecto. Y los planetas que ahora se observan, gracias a la creciente precisión de los métodos utilizados, son de tamaño cada vez más pequeño. Quizá en los próximos años lleguemos a alguna conclusión más contundente respecto al número de planetas capaces de contener, al menos en teoría, vida como en la Tierra. Y así podríamos afinar un poco más la ecuación de Drake.

Otras vías

Quedan otros caminos. Por ejemplo, la posibilidad de que la vida extraterrestre no sea como la nuestra. Por ejemplo, que no requiera agua —como disolvente esencial de minerales esenciales para las células vivas—, que no dependa de la química del carbono —se ha sugerido que el silicio podría ser ese elemento, pero parece imposible que forme la enorme diversidad de compuestos de carbono a base de cadenas de todo tipo en las que los eslabones los formen precisamente esos átomos de carbono—, que no tenga nada que ver con el tipo de vida que esperamos ver... La crítica esencial es que, suponiendo que esa vida exista, al menos podríamos observar sus realizaciones, aunque fuéramos incapaces de detectar a esos seres vivos por extraños y, quizá, inobservables que sean. Por ejemplo, vida mineral pura, o bien vida en forma de algún tipo de radiación energética, como la luz... Pero esto es adentrarse ya, francamente, en el terreno de la ciencia ficción, incluso de la fantasía pura.

Otra vía de investigación que se ha sugerido muy recientemente parte de un investigador y divulgador bien conocido, Paul Davies, de la Universidad de Arizona, que por cierto trabaja en el proyecto SETI. Lo que él dice en su último libro, recién publicado en Estados Unidos, es que habría que ir más allá de la búsqueda de señales de radio procedentes de fuentes inteligentes de origen cósmico. Por ejemplo, aduce que habría que buscar en determinados lugares del Universo ausencias anómalas de algunas partículas generadoras de energía, lo que podría ser indicio de la existencia de civilizaciones tecnológicamente avanzadas que las hubieran gastado. Es obvio que cualquier forma de vida requiere energía para su propia subsistencia, además de la que pudiera utilizar para sus otras actividades, como, por ejemplo, comunicarse o desplazarse. Ese consumo energético podría ser detectable en forma de una menor presencia de determinadas partículas portadoras de esa energía (desde fotones hasta otras partículas con o sin masa,

con o sin carga eléctrica). La idea es sugestiva, pero suena irrealizable; al menos por ahora. Nuestra capacidad de observación del Universo lejano no llega a ese nivel de detalle; hoy apenas podemos detectar planetas como el nuestro en torno a estrellas vecinas nuestras...

Otra crítica que le hace Davies a SETI es que se trata de un programa excesivamente antropomorfo —demasiado enfocado a formas de vida como las que hubo y hay en la Tierra, capaces de evolucionar hasta dar al ser humano— y demasiado restrictivo —en las condiciones que le pone al propio concepto de vida—. Podría haber otros procesos evolutivos más rápidos, por ejemplo, en otros entornos planetarios muy distintos al nuestro, sin ir más lejos. Lo cual puede ser cierto, pero parece más que dudoso: en todo el Universo las condiciones de formación de estrellas y planetas son parecidas, y siempre presididas por una convulsión telúrica como mínimo formidable. Un planeta lleno de placidez, en el que la vida pudiera evolucionar sin retrocesos y con facilidad, suena bastante idílico, pero muy poco realista.

Es decir que, aun asumiendo que quien defiende esas ideas quizá, aunque sea remotamente, pudiera tener algo de razón, lo cierto es que supondría una investigación mucho más difícil incluso de lo que ya es la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Y en realidad bordea mucho más la ciencia ficción que la ciencia abordable. La inmensa mayoría de los científicos piensan que todo esto, después de todo, no es más que una pérdida de tiempo y de dinero, como antes apuntábamos. Y es difícil no estar de acuerdo con esa postura, especialmente en tiempos de crisis económica...

A no ser, claro, que uno dé rienda suelta a la fantasía delirante, como la que campa por sus respetos en revistas de ovnis y programas de ocultismos varios en radio o televisión. Pero todo eso, claro, no es ciencia. Como mucho, un divertimento; y detrás de ello suele haber un engañabobos que se lucra con ello. ■

La antigua explotación minera se ha convertido en un parque cultural donde el visitante puede conocer la historia de la que fue la mina salina más importante de la Península

LA MONTAÑA DE SAL DE CARDONA

Al llegar a Cardona, a una hora de Barcelona, la primera impresión que tiene el viajero es la poderosa ciudadela de piedra; baluarte medieval que engloba la basílica de San Vicente, la legendaria Torre Minyona y el moderno Parador de Turismo. En este hermético enclave, más aéreo que terrestre, no dudó en fijar su residencia y, al mismo tiempo, establecer su centro de operaciones mercantiles derivadas de la explotación de la sal, la influyente familia de los Duques de Cardona, verdaderos soberanos sin corona, cuyo poder y riqueza les llevaría a emparentarse con las más reputadas casas reales europeas. A sus pies, al fondo del fotogénico Valle Salino, se levanta la Montaña de Sal.

■ POR **Jesús Ávila Granados**, ESCRITOR Y PERIODISTA.

CARDONA, EN EL CENTRO GEOGRÁFICO de Cataluña, a poniente de la comarca barcelonesa del Bages, es una población que, desde tiempos medievales, ha estado relacionada con la explotación de la sal de montaña, aunque, ya desde la época prehistórica hay referencias de que los pueblos del Neolítico extrajeron sal de la superficie del suelo de este municipio, tarea que, desde entonces y hasta el año 1991, no ha dejado de llevarse a cabo. Visitar hoy este singular parque cultural constituye una inolvidable y grata experiencia en todos los sentidos. San Isidoro ya supo reconocer y definir la importancia de este mineral cuando dijo: "Nada hay más necesario que el sol y la sal".

La geología del lugar

Estaban extinguiéndose los últimos dinosaurios, hace unos 65 millones de años, cuando en esta zona del interior de Cata-



Panorámica de la ciudadela de Cardona.



La Montaña de Sal, tal como se ofrece hoy al visitante.

luña había un espléndido mar conectado con el Atlántico a través del Cantábrico. A medida que iban creciendo las cumbres del Pirineo, este mar interior se fue cerrando para convertirse en un gran lago, donde el agua se iba evaporando, mientras que las diferentes formas de sales se precipitaban hacia el fondo. Primero fue la halita (por la deposición del mineral en el interior de la Tierra, de color blanco; la sal gema es transparente; es la sal sódica); después lo hizo la silvinita (de color blanco en estado puro que, con la presencia del óxido de hierro, adquiere el característico color rojo; es la sal potásica), y finalmente, en el estrato más superior, la carnalita (blanca en estado puro, caracterizada por su cristalización rómbica, es la sal magnésica). Después, cuando las capas de sales estaban dispuestas horizontalmente, y debido a una serie de presiones, estas capas se ondularon hasta que parte del yacimiento afloró al exterior en forma de montaña: la Montaña de Sal, una impresionante obra de la madre naturaleza.

Pero no fue hasta la Edad del Bronce (hace 4.500 años), según los testimonios encontrados en la zona de Areny de la Sal, cuando se iniciaron las primeras explotaciones salineras en Cardona. Aquellas extracciones pioneras, y también las medievales, fueron realizadas a

cielo abierto, mediante unos cortes practicados en el terreno para buscar el macizo salino, a modo de grandes canteras de sal. La calidad de este mineral —sal gema—, así como la abundancia del mismo, contribuyeron a que las minas de las salinas de Cardona no tardaran en competir con las de Wieliczka, en Polonia, cuya sal se distribuía por los barcos de la Liga Hanseática.

La sal no tardaría en convertirse en moneda de cambio —*salario*—, cuya abundancia estableció los niveles de poder y riqueza de los pueblos. Al deambular por las calles y bajo los soportales del casco antiguo de Cardona parece que aún se oyen los gritos de los mercaderes y arrieros que en su plaza mayor comerciaban con la sal. El conde barcelonés Borrell II le concedió a Cardona, en 986, su Carta de



Vista parcial de la conocida como Sala Coral, caracterizada por sus columnas de sal.



El castillete María Teresa, junto a la zona de recepción de visitantes. A la derecha, monumento a los mineros fallecidos en la Montaña de Sal y vista de una sala del museo.

Población, en la cual se establece el derecho de Aíminas, que concedía a sus ciudadanos el “poder ir cada jueves, por siempre, a arrancar la sal para vosotros, tal y como ha sido costumbre desde el principio”, facultad que se ha mantenido hasta nuestros días. Por ello, los duques de Cardona fueron conocidos como “los ricos señores de la sal” o también “soberanos sin corona” que, desde su aérea fortaleza, supieron administrar toda esta riqueza para el bien de la comunidad.

Desarrollo de las explotaciones mineras

La industria química relacionada con la sal comenzó una fulgurante carrera tras el descubrimiento del cloro, en 1774, por parte del sueco Scheele, y de la sosa, en 1791, por el francés Leblanc. Hasta el siglo XVIII se mantuvieron vigentes las herramientas tradicionales de extracción del mineral —barrenas, picos y piquetas— que, progresivamente, darían paso a la pólvora. La cantidad de sal extraída, durante el siglo XIX, en la Montaña de Sal de Cardona se situaba entre las 3.500 y las 5.000 toneladas al año.

El interés de los científicos hacia esta zona de la comarca del Bages se pone de manifiesto cuando, en 1897, el ingeniero Silví Thos i Codina, manifestó la posibilidad de hallar sales potásicas (silvina y carnalita) en Cardona. En 1912, el ingeniero industrial Emili Viadè y el belga René Macari descubrieron la potasa en el pue-

blo de Suria, próximo a Cardona. Este singular hallazgo incrementó la producción de abonos inorgánicos, producto hasta entonces monopolizado por Alemania y Francia.

Había que esperar a la construcción del Pou del Duc (Pozo del Duque), con el cual se iniciaba la minería subterránea en todo el complejo de la Montaña de Sal de Cardona. Este pozo maestro tenía 50 metros de profundidad, y la explotación consistía en una cámara de 25 metros de altura, con otros 25 más de terreno macizo hasta el exterior. La explotación se llevaba a cabo mediante el sistema de vacíos y pilares, lo que favorecía la extracción del mineral por bancos. Después se impuso el sistema llamado “de Carrara”, consistente en el corte de la roca con una sierra de alambre que daba la vuelta a la cámara; los bloques cortados se hacían caer con explosivos, siendo cortados seguidamente por una sierra múltiple en piezas unitarias. Durante el primer tercio del siglo XX se llegaron a extraer más de 150.000 toneladas de sal.

Pero sería en la Mina Nieves donde se ampliaría la zona de excavación. Aquella primera plataforma, abierta en el año 1926, contaba con dos pozos, a 125 metros de distancia entre sí, y con 5,1 metros de diámetro cada uno. El primero se llamó Alberto, en homenaje a Alberto Thiébaud, directivo de la Unión Española de Explosivos (UEE), responsable de la apertura

de la nueva mina. Los trabajos avanzaban a la velocidad de cuarenta metros por mes. En 1928 se iniciaban los trabajos en el otro pozo, llamado María Teresa, nombre de la esposa de Thiébaud. En 1929 se producirían las primeras pruebas de explotación; la ruptura entre las galerías de comunicación de los dos pozos fue en 1931, con lo cual la ventilación de aire favoreció las explotaciones. Y dos años después, la Mina Nieves, orgullo y prestigio de la Montaña de Sal de Cardona, ya estaba en su plena producción, llegándose a los 550 y 620 metros de profundidad.

Entre 1940 y 1955, los niveles de excavación llegaban a los 720 metros de profundidad; en 1975, se alcanzaban los 820, y una década después, la potencia de excavación minera se situaba en los 1.007 metros. Las cámaras eran los agujeros que se hacían al arrancar el mineral mediante cargas explosivas; como referencia, cada día se gastaba una tonelada de explosivos. El mineral extraído por voladuras verticales controladas se precipitaba por la fuerza de la gravedad a unos depósitos preparados en la parte inferior de los terrenos, conocidos como planta de carga, donde eran colocados dentro de vagonetes que sacaban el mineral al exterior. De los rudimentarios sistemas de extracción de mineral utilizados a mediados del siglo XX —entre los cuales estaban las cucharas americanas para nueve toneladas—, se



Gorro y zapatillas de minero, tal y como se dejaron al cerrarse las minas. A la derecha, escalera de madera de los mineros, fosilizada en sal.

pasó al uso de modernas palas de fabricación alemana, capaces de extraer treinta toneladas.

El último periodo de explotación de la Montaña de Sal de Cardona —década de 1980 a 1990— se concentró en el nivel 1007/1107, de la zona de Salines Victòria, donde, a diferencia del resto, las capas se hallaban en posición horizontal, abandonándose el sistema de cámaras y el uso de cargas explosivas, por el minador continuo. A un kilómetro de profundidad, las condiciones de trabajo eran terribles —la temperatura del mineral era de 50 °C—, lo que obligó a hacer tres rotaciones laborales al día, de ocho horas cada una, y beber agua continuamente para evitar la deshidratación. Todo ello es preciso recordárselo a los visitantes actuales, para que se pongan en un momento en la piel de aquellos obreros, procedentes mayoritariamente de Murcia y Almería. La actividad extractiva en Cardona se mantiene en Las Salinas, mina ubicada bajo la colina de Sant Onofre, en el sector sureste, a pocos metros del pueblo, donde la empresa Salinera de Cardona obtiene excelente sal gema, y cuya planta de explotación se contempla perfectamente desde las almenas de la fortaleza.

La visita

El altísimo castillete de hierro del pozo María Teresa, que facilitó la salida al

exterior de las 4.050 toneladas diarias extraídas de mineral de sal, es la referencia para el visitante actual al llegar al complejo minero. Los obreros, en cambio, accedían a las entrañas de la montaña a través del pozo Alberto, por donde también se llegaron a extraer bloques de sal (unas 2.250 toneladas diarias). Al lado, junto al área de recepción, un monumento en bronce, con una corona de flores siempre frescas, rinde un justo homenaje a los mineros fallecidos.

La entrada se encuentra a 86 metros de la plataforma superior. Una vez colocados los cascos protectores, un mundo de sensaciones se ofrece a los extasiados ojos del visitante; un paisaje geológico subterráneo que podemos descubrir a lo largo de 400 metros de recorrido horizontal. En las paredes del primer tramo podemos apreciar la halita (sales sódicas), que se caracteriza por su tonalidad salmón o rosa. Después se accede a la Galería Minera, donde se entra en la zona de las explotaciones de los años treinta; es una galería sin salida, cuya manga de aire servía para distribuir oxígeno a los espacios más profundos. Seguidamente pasamos a la Sala Coral, la más íntima de la Montaña de Sal; la variedad de cromatismos de sus paredes y bóvedas superiores, donde domina la carnalita, resulta espectacular; la unión de estalactitas y estalagmitas han formando columnas de

sal. Por una galería llegamos a una sala cerrada con un juego de columnas que recuerda una carroza de la romería del Rocío; y muy cerca, dentro de una hornacina en la pared, una imagen de Santa Bárbara, patrona de los mineros, esculpida en silvinita.

“La Capilla Sixtina” es un distribuidor de galerías, llamado así por la belleza visual de cromatismos, que ofrece las más caprichosas formas de efectos y volúmenes en roca de sal. Al fondo, podrá ver las sales onduladas en forma de eme, resultado de la formación del diapiro, que se han adaptado caprichosamente a la disposición vertical de las vetas de mineral. En una de las estalactitas, podrá ver fosilizado a un murciélago que, al despertarse de su letargo hibernar, después de haber entrado al interior de la montaña, no pudo levantar el vuelo, al haber quedado atrapado por la sal.

Abandonadas las explotaciones de mineral en 1991, después de haber extraído del interior de la tierra más de 38 millones de toneladas de mineral, hoy, este complejo minero constituye el Parque Cultural de la Montaña de Sal, un lugar único en el mundo, verdadero libro abierto para conocer y comprender todo cuanto se ha desarrollado en torno a la explotación de la sal de montaña a lo largo de los tiempos en este valle del interior de la provincia de Barcelona. ■

El CO₂ sigue aumentando, a pesar de la crisis

ES OBVIO QUE LA CRISIS económica ha reducido la actividad económica global y, por tanto, las emisiones contaminantes en su conjunto. A pesar de Kioto y otras medidas de ahorro y eficiencia que se han ido poniendo en práctica, esencialmente con el objetivo de reducir el CO₂ que emitimos a la atmósfera del planeta, este gas —que no es contaminante sino fertilizante de la vida, aunque en exceso podría hacer aumentar el efecto invernadero— no ha dejado de aumentar. Como es sabido, desde hace más o menos un siglo y medio, la concentración de CO₂ ha pasado de unas 280 ppm (partes por millón) a 380 ppm. Este incremento supone aproximadamente un 30% por siglo, lo cual parece obviamente preocupante. Y, aunque la distribución de mares y continentes en los dos hemisferios terrestres hace que la acción fotosintética de las plantas se ejerza con desigual intensidad en los respectivos ver-

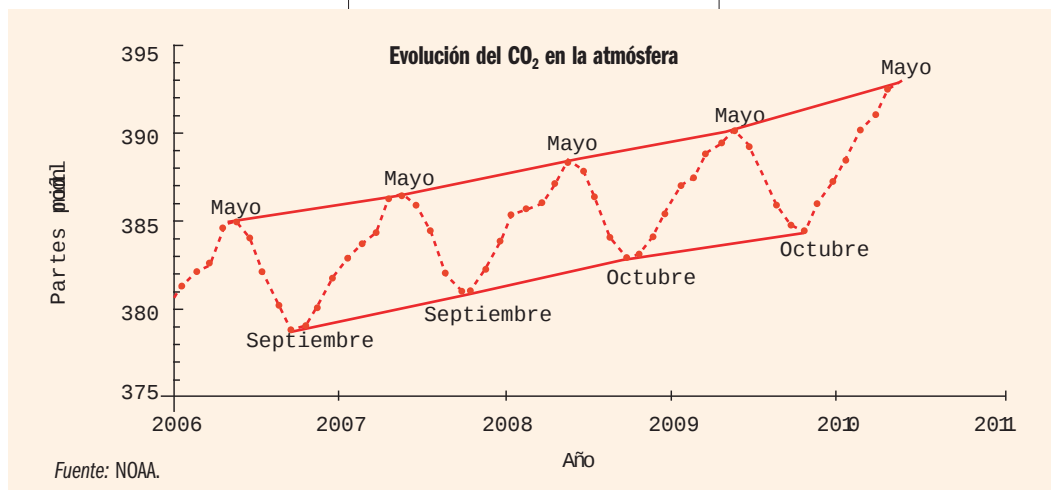
nos —lo cual induce una oscilación anual del CO₂ total—, lo cierto es que en promedio el CO₂ ha seguido aumentando año tras año.

La figura adjunta muestra esa evolución entre enero de 2006 y mayo de 2010. Y lo que vemos resulta preocupante. La NOAA, la agencia federal estadounidense de la atmósfera y los océanos, acaba de difundir este gráfico del aumento de CO₂ en los cuatro últimos años. Y con enorme sorpresa se puede observar que la crisis no ha afectado nada a esos niveles crecientes del gas emblemático del efecto invernadero —aunque hay otros más potentes, como el vapor de agua o el metano—. Si en otoño la curva de aumento muestra una ligerísima disminución en su pendiente ascendente, en cambio, en primavera la línea ascendente se intensifica y muy particularmente entre 2009 y 2010.

¿Son acaso los famosos brotes verdes? ¿Significa esto que los países industria-

lizados y los países en desarrollo más potentes —básicamente India, China, y en segundo plano Brasil y Rusia— se han puesto a obtener energía de cualquier manera con tal de paliar en parte la crisis? ¿Nos hemos olvidado ya del Protocolo de Kioto?

No es fácil encontrar una respuesta. Algunos científicos apelan a El Niño, que quizá pudo tener un efecto negativo de cara a la fertilización del fitoplancton marino, que absorbería, pues, menos CO₂ del normal. Pero sea lo que sea, el dato es incontrovertible. Y se presta a muchos debates; porque si, en efecto, la crisis ha reducido mucho la actividad industrial contaminante del Primer Mundo —que sigue siendo el que más contamina, y con mucho—, pero los niveles de CO₂ no dejan de aumentar, es que algo falla en el razonamiento según el cual es la industria, en general, la máxima responsable del incremento de los gases de efecto invernadero. ■



Física

Miden con precisión la masa de tres quarks

UN GRUPO INTERNACIONAL de científicos, pertenecientes a la Universidad de Cornell (EE.UU.) y otras instituciones americanas y europeas, dirigido por el doctor Lepage, director del Instituto de Artes y Ciencias de la citada universidad, ha conseguido reducir al máximo las incertidumbres en torno a la medida de la masa de los tres quarks más ligeros. Dos de ellos son los que forman parte de la materia habitual —quarks llamados *up* y *down*— y el tercero es uno de los quarks de la siguiente familia, mucho más energética y que sólo se manifiesta a altísimas temperaturas, el llamado quark *strange*.

Los quarks son las partículas elementales que, junto a los leptones, conforman la materia. En nuestro mundo y en el cosmos, existen dos quarks (los citados *up* y *down*) y dos leptones (el electrón y su neutrino). Con estas cuatro partículas se forman los neutrones, los protones y todos los demás componentes de la materia que luego se ensamblan en átomos y moléculas.

En circunstancias parecidas a las que hubo poco después del Big Bang, existieron otras dos familias de quarks y leptones, pero ahora sólo podemos encontrarlas en lugares muy localizados del universo —por ejemplo, en el interior de estrellas muy energéticas— donde se dan temperaturas inimaginablemente altas, o bien en determinadas colisiones muy

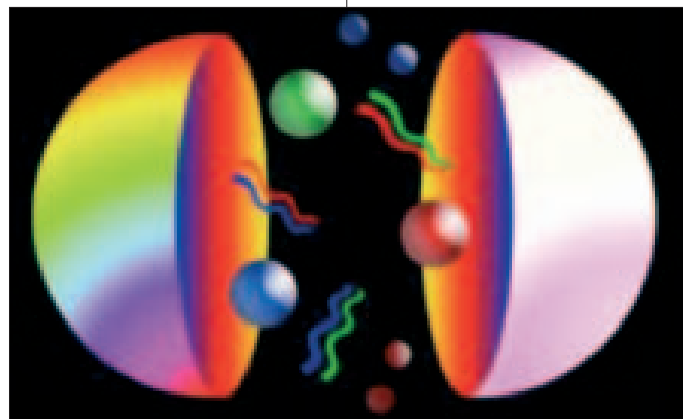
energéticas, como las que se producen artificialmente en los grandes aceleradores de partículas. La teoría del Modelo Estándar predice la masa de cada una de esas doce partículas (tres familias, con dos quarks y dos leptones cada una de ellas) con un intervalo relativamente amplio. El reto de los experimentadores consistió inicialmente en detectar esos quarks, para luego ir afinando al máximo la medida de su masa, es decir, de su energía, según la famosa ecuación de Einstein.

En este caso, los científicos dirigidos por Lepage han publicado en la famosa revista *Physical Review Letters* (vol. 104:13) en abril de 2010 sus datos, obtenidos a partir de muy detallados cálculos acerca de la unión de estos quarks mediante la llamada “fuerza fuerte”, la más intensa de las cuatro fuerzas del universo, que se manifiesta mediante unas partículas intermediarias (llamadas bosones). Gracias a la ayuda de poderosas compu-

tadoras, los científicos han logrado precisar al máximo el comportamiento de los quarks y sus bosones de tal modo que el error en la medida de la masa sea realmente mínimo.

En el artículo se afirma que el quark *up* es el más ligero de todos, con una masa de 2 MeV. Le sigue el quark *down*, que “pesa” algo más del doble, 4,8 MeV. Finalmente, el quark *strange*, que pertenece ya a otra familia, es obviamente más pesado: 92 MeV. Lo curioso es que la teoría predice que la masa de los quarks es muy variable; por ejemplo, el *up* “pesa” 2 MeV (470 veces más ligero que un protón, cuya masa se conoce muy bien), mientras que el más pesado, el quark *t* (por *top*, aunque algunos científicos lo llaman *truth*, —verdad—), pesa 180 veces más que un protón, casi tanto como el átomo de plomo... Estas disparidades son todavía un misterio de la naturaleza que los físicos no han conseguido aún desentrañar. ■

CHRISTINE DAVIES / U. GLASGOW



Los quarks, los antiquarks y los gluones forman una especie de “sopa” dentro de los protones y los neutrones.

Ciencia de la materia

Detectado el elemento 117 de la Tabla Periódica

UN EQUIPO DE INVESTIGADORES pertenecientes al Instituto de Investigación Nuclear de Dubna (Rusia), y al Laboratorio Nacional Oak-Ridge, en Knoxville (EE.UU.), ha conseguido producir y medir, por fin, el átomo número 117 de la Tabla Periódica de los Elementos. Ya se conocían los elementos 116 y 118, pero el 117 se resistía. El éxito ha costado bastante más de un año de experimentos, realizados en el ciclotrón de Dubna, uno de los más potentes aceleradores de iones del mundo. Consistió en bombardear con neutrones, durante 250 días, átomos de un isótopo del curio, que es el elemento 96, uno de los más pesados entre los que son relativamente fáciles de obtener. Consiguieron así obtener 22 miligramos del elemento 97, berkelio, aún más pesado pero mucho más raro. Bombardeando después el berkelio durante otros 150 días con iones de calcio acelerados a toda potencia en el ciclotrón, se pudieron “construir” y detectar finalmente al menos seis átomos del elemento 117. Duraron una fracción de segundo antes de desintegrarse en el elemento 115 y después en el 113, que a su vez se desintegró en dos isótopos más ligeros. Pero la identificación de los seis átomos del 117 quedó probada de manera definitiva. ■

S O B R E E

por
Manuel Toharia



Hielos eternos: un antropólogo en la Antártida

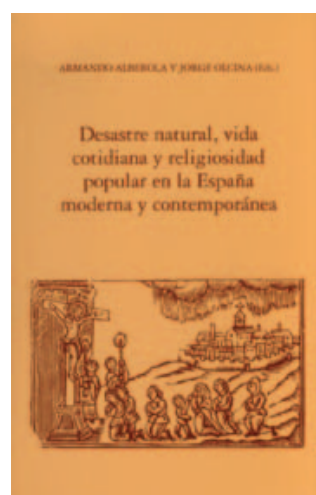
Camilo José Cela Conde
Le pourquoi-pas Éditions
La Coruña, 2009

Esta notable editorial gallega, cuyo nombre homenajea al famoso barco del no menos famoso explorador polar francés Jean-Baptiste Charcot, se caracteriza por publicar libros inconformistas, pero todos ellos de enorme interés: *Ésta es mi gente*, de Ramón Núñez, quizá el mejor museólogo de ciencia de Europa, contando peripecias curiosas de científicos; *Bajo un mismo cielo*, del astrofísico Javier Armentia, director del planetario de Pamplona, referido a la observación estelar a lo largo de la Ruta Quetzal; *Confieso que he comido, mis memorias metabólicas*, de quien suscribe estas líneas (el título lo dice casi todo)... Y ahora este inefable libro del novelista, marinero, filósofo, antropólogo, miembro de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias (AAAS), profesor de la Universidad de San Diego (EE.UU.)..., y además gran viajero y mejor conversador y articulista, que nos acerca al mundo antártico bajo una mirada nueva, lí-

pida, esclarecedora, terrible... Sencillamente, aventurera. Porque es un libro de aventuras moderno, con descripciones insólitas salpicadas de citas del pasado —obviamente no muy remoto—, de relatos y sucesos pequeños pero de trascendental importancia para el que los vive porque está viéndolos al límite de lo que el ser humano es capaz de aguantar. Y todo ello con una prosa envidiable, tan digna de un Nobel como la de su augusto padre, y me atrevo a decir que más universal, más de nuestro tiempo. Es uno de esos libros que hablan de ciencia, de geografía, de seres humanos, de exploración... Y nos habla con tal sinceridad, que acabamos leyéndolo de un tirón. ■

Desastre natural, vida cotidiana y religiosidad popular en la España moderna y contemporánea **Jorge Olcina y Armando Alberola, editores** **Universidad de Alicante** **Alicante, 2009**

Dos de nuestros mejores geógrafos actuales, ambos docentes en la Universidad de Alicante, pusieron en marcha años atrás un grupo de investigación multidisciplinar para estudiar las consecuencias de los desastres naturales —esencialmente los de origen climático— sobre las economías campesinas y los territorios de la España del siglo XVIII, en los inicios de la Edad Contemporánea. Las 470 páginas de este libro contienen lo mejor de esos trabajos científicos, puestos al alcance de todos los públicos con el máximo rigor pero también con



una envidiable facilidad divulgadora. No en vano los coordinadores de la obra, sobre todo Olcina, se asoman frecuentemente a los medios de comunicación hablando con autoridad y amenidad de su especialidad, la geografía y el clima. Basta reseñar los títulos de los nueve trabajos que incluye el libro para apreciar su interés y actualidad. “Imágenes y manuscritos de los desastres naturales españoles en el siglo XVIII”, por el propio Armando Alberola; “Dietarios, percepción del desastre y gestión del riesgo natural”, por María Antonia Martí Escayol; “Alimentación y desastres naturales”, por María de los Ángeles Pérez Samper; “La fragilidad de la vida cotidiana en la España Moderna”, por Gloria Franco Rubio; “El caso de la anomalía ‘Maldá’ en el Mediterráneo occidental a finales del siglo XVIII: fuerte variabilidad climática”, por Mariano Barriendos y Carmen Llasat; “Perspectiva histórica de las inundaciones en Girona”, por Anna Ribas Palom; “Religiosidad instrumental comunitaria en la ribera del Júcar: ejemplos de rogativas”, por Tomás Peris

Albentosa; “Cartografía histórica y alteración de cursos fluviales en la España mediterránea”, por Pablo Giménez Font, y “Percepciones de los cambios de clima en la historia”, por Jorge Olcina. ■



**L. E. Boltzmann,
el científico que se adelantó
a su tiempo**

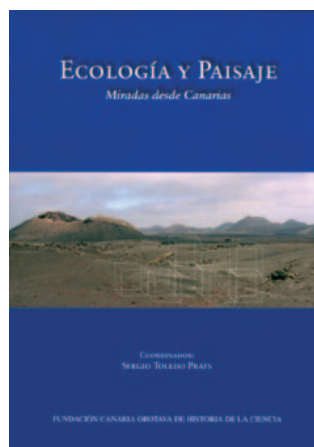
**Joaquín Sánchez Guillén
Colección El Aleph nº 4
Prensas Universitarias
de Zaragoza
Zaragoza, 2009**

La vida y la obra del austriaco Ludwig Boltzmann, el creador de lo que dio en llamarse mecánica estadística —y que abrió las puertas al territorio de la física cuántica—, es tan desconocida como apasionante. Su vida sólo aparece en este libro como telón de fondo imprescindible para conocer y estimar la obra, sobre todo en lo que se refiere al desarrollo de los conceptos y cálculos que lo convirtieron, en la segunda mitad del siglo XIX, en la figura clave de la transición entre la mecánica clásica —la de Galileo y sobre todo Newton— y la mecánica moderna —con Einstein, Planck y tantos otros a la cabeza—. Boltzmann fue un escritor más que brillan-

te, como lo demuestran sus *Escritos populares*, en los que repasaba cuestiones de interés en su tiempo, con especial dedicación a la ciencia y la tecnología, pero incluyendo otros elementos culturales. Dice mucho de su carácter sombrío y obsesivamente dedicado a la creación científica el hecho de que se suicidara, probablemente porque se sintió dolido porque la comunidad científica no aceptara, en 1906, sus postulados acerca de la estructura del átomo; contaba ya 62 años... El profesor Sánchez Guillén, catedrático de Física Teórica desde 1981 en la Universidad de Santiago de Compostela, ha querido plasmar en este libro su admiración por este genio, que sólo suele ser recordado por alguna de las leyes que nos dejó, como la famosa constante de Boltzmann, o la no menos famosa Ley de Stefan-Boltzmann (Josef Stefan había sido su maestro). Admiración que resulta inevitable compartir después de leer unas páginas llenas de ciencia y de hondura humana. ■

**Ecología y paisaje:
miradas desde Canarias
Sergio Toledo Prats,
coordinador
Fundación Canaria Orotava
de Historia de la Ciencia
La Orotava, 2009**

Los simposios acerca de cuestiones de interés científico general no sólo son abundantes sino que, quizá por esa misma razón, suelen pasar desapercibidos excepto para una minoría de personas implicadas en el tema. Y es una lástima porque, salvo que alguna publica-



ción venga al rescate y amplíe algo más el espectro de los que pudieran estar interesados, al final las aportaciones, a menudo importantes, se pierden en el olvido. Uno de esos simposios, “Ciencia, sociedad, paisaje”, celebrado en Lanzarote en diciembre de 2007 ha conseguido ahora, gracias al apoyo de una benemérita fundación dedicada a promocionar la historia de la ciencia, publicar sus conferencias dando lugar a este libro. Recoge doce informes de otros tantos especialistas, en torno a cuestiones como el paisaje antiguo, la percepción del paisaje en la Europa moderna, las miradas sobre Canarias de viejos viajeros, la relación entre Humboldt (descubridor científico del valle tinerfeño de la Orotava) y la evolución, la protección de la naturaleza, el cambio climático, la ecología de los procesos sociales y el paisaje, la naturaleza en la antropología moderna y la visión paisajística de un poblado marinerio canario, entre otros. Temas de interés local y general, en una disciplina, el paisaje, que puede ser asociado a la geografía descriptiva y/o humana. ■

SUSCRIPCIÓNestratos

Nombre y apellidos	Población
Domicilio	e-mail
CP	Provincia

De acuerdo con lo dispuesto en la vigente normativa, le informamos de que los datos que usted pueda facilitarnos a través del presente boletín de actualización quedarán incluidos en un fichero del que es responsable ENRESA, donde puede dirigirse para ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, oposición o cancelación de la información obrante en el mismo, bien a través de la dirección de correo electrónico registro@enresa.es 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.



Dos escarabajos peloteros en acción (*Scarabaeus granulatus*). La imagen está tomada en Gargantilla (Cáceres).

Eficacia limpiadora

FÁCILMENTE OBSERVABLES POR NUESTRA GEOGRAFÍA, ESTOS simpáticos escarabajos peloteros se quedan inmóviles cuando el fotógrafo se aproxima. Tras esperar un tiempo prudencial, continúan su afanoso trajín de rodar la pelota de excrementos hasta la madriguera. Allí, pondrán un huevo en el interior de la bola, de la que se alimentará la larva. Al igual que hacen los buitres eliminando cadáveres de nuestros campos, estos coleópteros reali-

zan una destacable labor controlando el exceso de excrementos de los herbívoros. Su impagable trabajo para el medio ambiente es tan necesario, que en Australia se llegaron a importar miles de ejemplares para controlar las heces producidas por una cabaña bovina sobredimensionada. Pero al igual que ocurre con los buitres, y en tantas ocasiones, su trabajo de limpiar el entorno no siempre ha sido reconocido. ■

LET YOUR FUTURE GROW WITH

Westinghouse



WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC

Westinghouse is the only company with a single focus on commercial nuclear power. Nuclear power emits no greenhouse gases during the production of electricity, so it is a technology that is available today to fight climate change and keep our air clean.

As the need for energy continues to grow, Westinghouse is experiencing unprecedented growth. Construction is underway in China for four units of our advanced-design nuclear power plant. The **AP1000** nuclear power plant has also been selected as the technology of choice by many U.S. utilities, and countries across the globe are looking into the feasibility of expanding their use of nuclear power with the **AP1000** plant.

Be a part of the solution to global growth in demand for clean electricity. Become a member of a company that is committed to customer success and providing future generations with safe, clean and reliable electricity.

Check us out at www.westinghousenuclear.com



Westinghouse

A Toshiba Group Company

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

BELGIUM

FRANCE

GERMANY

SPAIN

SWEDEN

UNITED KINGDOM



Passion_{for} improvement

Ensa, Spanish Company, whose main activities are manufacturing of: Nuclear components, mainly Steam Generators (S.G), Reactor Pressure Vessels (RPV) and RPV heads. Fresh and spent fuel containers, casks, spent fuel pool racks. Components for Research Centers: CERN, NASA, EURATOM, UKAEA, etc. Also: Metallurgy, welding, NDE, decontamination, decommissioning R & D activities. Technology assistance and heat exchangers.

PRODUCT LINES

Nuclear Components

Elements for spent fuel storage and / or transport

Components for research centers and development programs

Technology Services

SERVICES AREA

Plant Maintenance

**Radwaste Treatment-Conditioning and Decommissioning of
nuclear and radioactive installations**

EQUIPOS NUCLEARES S.A.

Head Office:
José Ortega y Gasset 20-5º
28006 Madrid (Spain)
Phone: +34 91 555 36 17
Fax: +34 91 556 31 49
commercial@ensa.es

Plant:
Avda. Juan Carlos I, 8
39600 Maliaño, Cantabria (Spain)
Phone: +34 942 20 01 01
Fax: +34 942 20 01 48
commercial@ensa.es

www.ensa.es