

# ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

## Misión Rosetta: descifrar el origen del sistema solar

Ubicación de  
almacenamientos:  
registro y memoria

---

José Antonio Lasheras,  
director del Museo  
Nacional de Altamira:  
“Queda mucho por  
hacer y por saber  
en Altamira”

---

La divulgación científica protagoniza la XVII edición del Seminario Internacional de Ciencia, Periodismo y Medio Ambiente



## **Apostando por la tecnología e I+D+i**

Centro de Tecnología Avanzada en constante innovación

## **Pasión por la mejora continua**

Excelencia operativa, mejores prácticas y cultura de seguridad

## **Consolidando nuestra internacionalización**

Flexibilidad, exportada más del 85% de la producción

**Passion**<sub>for</sub>  
**improvement**

# SIPMA, DIECISIETE AÑOS APOSTANDO POR LA ESPECIALIZACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

Los pasados días 8 y 9 de octubre tuvo lugar en el Rectorado de la Universidad de Córdoba el XVII Seminario Internacional de Ciencia, Periodismo y Medio Ambiente (SIPMA), un encuentro que renueva la apuesta de Enresa por la especialización de un colectivo tan importante como es el de los profesionales de los medios de comunicación. Para Enresa, la información de las soluciones técnicas que adopta la compañía en la gestión de los residuos radiactivos generados en España es una obligación y, por ello, se realizan encuentros periódicos con distintos colectivos para ofrecer detalles de sus actividades. Hace diecisiete años, cuando todavía el Periodismo Ambiental era una especialidad en ciernes y con poco espacio en los medios, Enresa decidió contribuir a dar un altavoz a los periodistas que se acercaban a esta disciplina tan ligada a su actividad. El compromiso con este tipo de información, y la puesta en marcha de una instalación como El Cabril, acabaron por definir el punto de encuentro para esta cita: Córdoba, donde sus medios informativos conocen y prestan atención a las actividades de gestión de residuos de muy baja, baja y

media actividad que se realizan en El Cabril, una instalación que aúna comunicación, tecnología y medioambiente. Con los años, SIPMA ha abierto sus contenidos a otra disciplina, muy unida a las actividades de Enresa y que cada vez va teniendo más presencia en los medios y una mayor atención en la sociedad: la Ciencia. El informe de la Fundación para la Ciencia y la Tecnología sobre el interés y conocimiento de los españoles por la ciencia ha venido a refrendar esa decisión.

Otro de los puntos fuertes de este evento es que supone una gran oportunidad para estrechar las relaciones de Enresa con la sociedad cordobesa. Este año, la Universidad de Córdoba ha sido parte activa en el diseño del programa y ha facilitado sus instalaciones para el desarrollo del Seminario. Además de asistentes de toda España, fueron muchos los cordobeses que participaron en las actividades de esta edición, interesados por la divulgación y por conocer mejor la labor de esta empresa pública, que muchos valoran como cordobesa.

También nos ha acompañado este año el Foro de la Industria

Nuclear Española, relacionado directamente con nuestra actividad como productores de residuos radiactivos. Tanto el Foro Nuclear como Enresa teníamos entre nuestros objetivos llevar a esas ciento cincuenta personas interesadas en temas ambientales y científicos a El Cabril, nuestra mejor carta de presentación. La visita a estas instalaciones sirve de broche final a las sesiones académicas y es el escaparate para conocer y comprender cómo se gestionan en España los residuos radiactivos de baja y media actividad.

Hoy en día es difícil que una iniciativa cumpla años, y más que los cumpla con tan buena salud como SIPMA. Quizá la clave esté en el empeño de la empresa en mantener este tipo de iniciativas, y en saber adaptarse a los tiempos y a las nuevas formas de comunicación. De ahí que su fuerza en las redes sociales haya sido notable, logrando que el día 8 de octubre por la mañana lo que sucedía en el Seminario fuera *trending topic* en España. Esa es la fuerza que necesitamos para llegar a la sociedad: seguir apostando por la especialización y por la información. ■

## REVISTA ESTRATOS

**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

**Publicidad:** Wolters Kluwer Juan Manuel Castro (jmcastro@wke.es)

**Realización:**  
Wolters Kluwer España S.A.  
C/ Collado Mediano, 9  
28231 Las Rozas (Madrid)  
916020008

**Consejero delegado:** Vicente Sánchez

**Jefe de Publicaciones:** Fernando Cameo

**Coordinadores:** Salomé González y Sergio Gavilán

**Redactores y colaboradores:**

Carlos Albornoz, Jesús Ávila, Bruno Díaz, Emilio García, Natividad Gavira, César de Hechagüe, Joaquín Farias, Germán Hesles, Belén Higuera, Rosa Martín y Rosa Tristán.

**Diseño, maquetación, producción e impresión:**  
Wolters Kluwer España

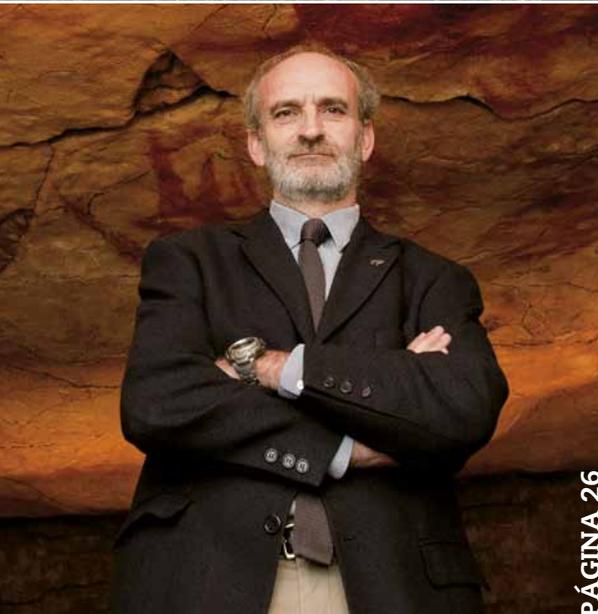
Depósito legal: M-7 411- 1986

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

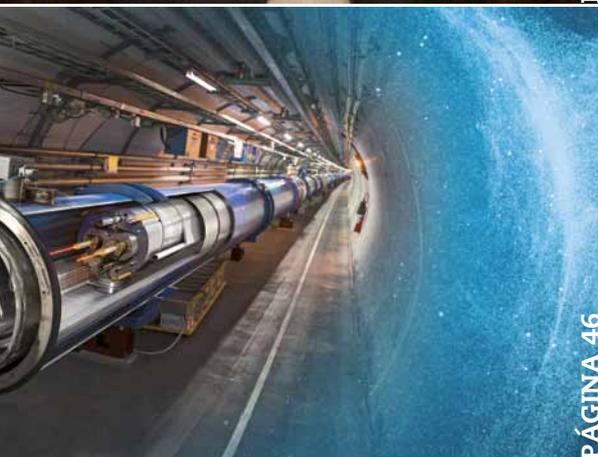




PÁGINA 12



PÁGINA 26



PÁGINA 46



PÁGINA 60

# SUMARIO

**EDITORIAL 03**

SIPMA, diecisiete años apostando por la especialización y la comunicación . . . . . 3

**ACTUALIDAD ESTRATOS**

El Gobierno considera el ATC como un proyecto “fundamental” e “imprescindible” para la seguridad nuclear en España . . . . . 5

Comienza el corte de los hormigones de las cavidades del reactor y la caracterización del emplazamiento en Zorita . . . . . 6

La prueba de estanqueidad del cajón del reactor Vandellós I confirma su perfecto confinamiento . . . . . 7

ANTSO y Enresa renuevan su acuerdo de colaboración técnica en gestión de residuos y desmantelamiento de nucleares . . . . . 7

En operación la primera instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de Corea del Sur . . . . . 8

España presenta el informe nacional sobre gestión responsable y segura del combustible gastado y residuos radiactivos . . . . . 8

**COMUNICACIÓN**

La divulgación científica protagoniza la XVII edición de SIPMA . . . . . 9

**I+D**

Preservación de los registros, del conocimiento y memoria de los emplazamientos de almacenamiento de residuos radiactivos . . . . . 12

**INTERNACIONAL**

Finlandia: construcción del primer almacén geológico del mundo . . . . . 19

**ENTREVISTA**

José Antonio Lasheras, director del Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira 26

**CIENCIA**

Misión Rosetta: descifrar el origen del sistema solar . . . . . 30

SIERRA DE ALBARRANA	
Pasado y presente de La Yutera . . . . .	38
Nueva campaña de la aceituna en Las Navas . .	41
Horno Don Roldán: en busca del pan perfecto .	42
Actualidad Sierra de Albarrana . . . . .	44

**CIENCIA**

Gran Colisionador de Hadrones, ‘la máquina de Dios’ busca el origen de la materia . . . . . 46

**TÉCNICA**

Gerri de la Sal, una mina de agua salada . . . . . 52

**INVESTIGACIÓN**

Sismosima: un proyecto pionero para la detección de terremotos . . . . . 56

A la ‘conquista’ de la Antártida . . . . . 60

**ACTUALIDAD CIENCIA** . . . . . 66

## EL GOBIERNO CONSIDERA EL ATC COMO UN PROYECTO “FUNDAMENTAL” E “IMPRESINDIBLE” PARA LA SEGURIDAD NUCLEAR EN ESPAÑA



© Casa de América

Fernando Martí Scharfhausen, presidente del Consejo de Seguridad Nuclear; Yukiya Amano, director general del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA); José Manuel Soria, ministro de Industria, Energía y Turismo; y José Manuel Sanz, director de Internacional de Agencia EFE.

El ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria, afirmó el pasado 27 de octubre, que el Almacén Temporal Centralizado (ATC) es una obra “fundamental”, y un equipamiento “imprescindible” para la energía nuclear y la seguridad nuclear en España. Soria hizo esas declaraciones en un intervención en un encuentro con el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Yukiya Amano, organizado por Casa América, en el que también aseguró, ya en declaraciones a los medios de comunicación, que

el Gobierno hará “lo que tenga a mano desde el punto de vista legal, por obligación y responsabilidad” para que el ATC pueda ser construido en España. “La obra no se puede parar”, añadió.

Entre los ‘pasos’ que está dando el Gobierno, explicó el ministro, el primero ha sido pedir un informe a la Abogacía del Estado con el que se interpondrá un recurso al respecto contra la decisión del gobierno de Castilla-La Mancha de declarar parte de la zona que albergará el ATC de especial protección para las aves

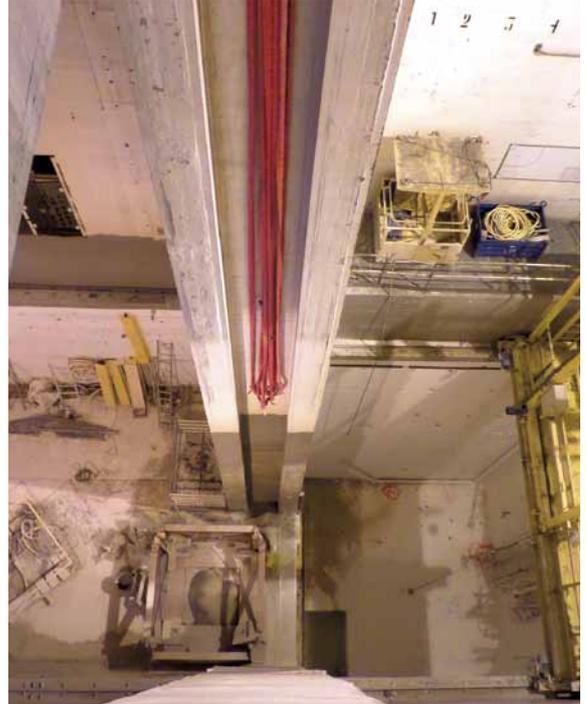
(ZEPA). El ministro también recordó que el Almacén Temporal Centralizado no es un proyecto de Gobierno sino “de España en su conjunto” que inició “con muy buen criterio” el Ejecutivo socialista anterior en 2006. El ministro valoró como “extraordinario” el trabajo socialista en pro del ATC durante cinco años y para que a finales de 2011 estuviera todo “absolutamente hecho” a falta de decidir el emplazamiento final entre cuatro finalistas preseleccionados, de entre los cuales, el presente equipo ejecutivo eligió Villar de Cañas. ■

Nueva fase del desmantelamiento de Zorita

## COMIENZA EL CORTE DE LOS HORMIGONES DE LA CAVIDAD DEL REACTOR Y LA CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO



Estado de la cavidad de recarga y del foso de combustible gastado durante los trabajos de segmentación bajo el agua de la vasija del reactor.



Estado de ambas cavidades tras su drenaje.

© Enresa

Tras finalizar la segmentación de la vasija del reactor y la retirada del resto de los componentes del circuito primario, el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera ha iniciado una nueva e importante fase en la que cobran todo el protagonismo los trabajos de corte del hormigón de las cavidades, donde se ubicaba el reactor, y las labores de caracterización de los terrenos del emplazamiento.

En los últimos meses se han venido realizando los trabajos necesarios para retirar el hormigón activado de la cavidad del reactor, del foso de combustible gastado y del blindaje biológico de la central. Para ello, se vació de agua del foso en el que se desarrolló el corte de los internos del reactor y de la vasija, que fue gestionada en el evaporador de la planta de

tratamiento de residuos líquidos de la instalación.

Tras el drenaje de estas cavidades, se realizaron trabajos de limpieza y saneamiento de las superficies y, entre otras actuaciones, se procedió al pintado de paredes y de suelos para fijar la contaminación existente y facilitar la gestión de estas zonas durante su corte mediante sierra de hilo de diamante. La previsión inicial es que de estas cavidades y del blindaje biológico se obtenga un total de 244 piezas, bloques de hormigón, de un peso total de 1.900 toneladas.

### TRABAJOS EN EL CANAL DE DESCARGA DE ZORITA

Por otro lado se realizaron sondeos en el fondo del canal de descarga de la central con el

objetivo de verificar el estado de los terrenos que ocupa esta zona del emplazamiento. En total, se ejecutaron diez perforaciones tanto en el interior como exterior del canal, con una profundidad comprendida entre los 1,20 y 1,60 metros. Los sondeos se llevaron a cabo con un equipo situado sobre una pontona modular de 10,50 metros de eslora que se montó en el cauce del canal, y sobre la que se situó la maquinaria de trabajo y el material de perforación.

Estas actividades se enmarcan dentro de los trabajos de planificación del plan de restauración del emplazamiento. Además de estos trabajos, también se han realizado sondeos en otros terrenos de la instalación y tomado testigos en las cotas inferiores de los edificios de contención y auxiliar. ■

## LA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD DEL CAJÓN DEL REACTOR VANDELLÓS I CONFIRMA SU PERFECTO CONFINAMIENTO

El pasado mes de octubre se realizó la prueba de estanqueidad del cajón del reactor de Vandellós I, un ensayo que tienen por objeto verificar y garantizar que el confinamiento del material radiactivo remanente en el interior del cajón del reactor cumple con los límites autorizados.

Las condiciones de aislamiento del cajón del reactor de Vandellós I son comprobadas cada cinco años. Para ello, se somete al cajón a una prueba global de estanqueidad integrada a presión que permite, a partir de la medición de sus condiciones

internas y de su evolución a lo largo del tiempo de prueba, determinar la pérdida de presión esperable.

Los ensayos, que tuvieron una duración de 24 horas, fueron realizados por Tecnatom, que desplazó una quincena de técnicos a la instalación.

Los resultados de las pruebas, que estuvieron supervisadas en todo momento por el Consejo de Seguridad Nuclear, confirmaron el cumplimiento del criterio de aceptación a un valor menor al establecido en la documentación oficial de la instalación. ■



Trabajos de preparación del cajón del reactor para la prueba de estanqueidad.

© OIEA

### Internacional

## LA AGENCIA AUSTRALIANA ANSTO Y ENRESA RENUEVAN SU ACUERDO DE COLABORACIÓN TÉCNICA EN GESTIÓN DE RESIDUOS Y DESMANTELAMIENTO DE INSTALACIONES NUCLEARES

Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) y Enresa renovaron el pasado mes de julio el acuerdo de colaboración técnica que ambas instituciones mantienen. ANSTO es un organismo administrado y financiado por el gobierno de Australia que tiene entre sus actividades gestionar y almacenar los residuos radiactivos del país.

Este acuerdo de cooperación técnica, que se inició en 2010, se extiende a las actividades que actualmente tiene en curso el programa de gestión de residuos radiactivos australiano. Entre ellas está la de construir un centro de almacenamiento para residuos de baja y media actividad en Aus-

tralia, y el desmantelamiento de instalaciones nucleares, incluidos los reactores de investigación ya en desuso, MOATA y HIFAR.

El Gobierno Federal australiano cerró en mayo de 2015 un proceso de presentación de candidaturas voluntarias para acoger el futuro centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad que ha tenido una alta respuesta en diversos territorios. Será ahora el Departamento de Industria y Ciencia quien llevé a cabo una evaluación in situ de las candidaturas, para determinar que emplazamientos son considerados más apropiados.

Para ello, este Departamento ha creado un Panel Asesor Indepen-

diente (IAP) que prestará asesoramiento técnico al proceso de evaluación para la elaboración de la lista de emplazamientos designados.

ANSTO es una de las instituciones públicas australianas más importante en el ámbito de la investigación. Este organismo opera gran parte de la infraestructura nuclear de Australia, incluyendo OPAL, uno de los reactores nucleares de investigación más modernos del mundo; un conjunto integral de fuentes de neutrones, el Sincrotrón australiano; el Centro Nacional de Ciclotrones de Investigación y el Centro de Aceleradores. ■

Ante la Comisión Europea

## ESPAÑA PRESENTA EL INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTIÓN RESPONSABLE Y SEGURA DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y RESIDUOS RADIATIVOS



© Ministerio de Industria

Fachada del ministerio de Industria.

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR) han preparado el informe nacional para dar cumplimiento a las exigencias del artículo 14.1 de la Directiva Europea del Consejo 2011/70/EURATOM, que establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible gastado y residuos radiactivos.

En este informe se detallan los progresos que ha hecho España en sus políticas nacionales y proporciona información sobre el enfoque adoptado (a través de la aplicación de los artículos 4 a 10) para el desarrollo e implementación futuro del programa nacional. El contenido de este informe se basa en los enfoques y políticas actuales ya contempladas en el existente Plan General de Residuos Radiactivos. ■

## EN OPERACIÓN LA PRIMERA INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIATIVOS DE COREA DEL SUR



© Korad

Galería de la instalación de almacenamiento de Gyeongju.

KORAD, la agencia nacional para la gestión de residuos radiactivos en Corea del Sur, inauguró recientemente la primera sección de

su instalación subterránea para almacenamiento de residuos de baja y media actividad.

El centro de almacenamiento, situado en Gyeongju, localidad del sureste del país, está excavado a 130 m. de profundidad y conectado con la superficie mediante un túnel de servicio de 1.500 m de longitud. La instalación consta de seis silos con capacidad para 22.000 m<sup>3</sup> procedentes de centrales nucleares, laboratorios y hospitales. KORAD prevé su ampliación modular hasta alcanzar una capacidad de 175.000 m<sup>3</sup>. ■



Momento de la inauguración en el que intervinieron el director técnico de Enresa, Álvaro Rodríguez Becceiro; el rector de la UCO, José Carlos Gómez Villamandos; el subdelegado del Gobierno en Córdoba, Juan José Primo Jurado; el delegado territorial de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Francisco de Paula; y el presidente del Foro de la Industria Nuclear Española, Antonio Cornadó.

MÁS DE 150 ASISTENTES EN CÓRDOBA AL ENCUENTRO ORGANIZADO POR ENRESA

## LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA PROTAGONIZA LA XVII EDICIÓN DEL SEMINARIO INTERNACIONAL DE CIENCIA, PERIODISMO Y MEDIO AMBIENTE

Los días 8 y 9 de octubre se celebró la XVII edición del Seminario Internacional de Ciencia, Periodismo y Medio Ambiente (SIPMA) que ha contado con el apoyo de la Universidad de Córdoba y el Foro Nuclear. Un año más, las jornadas han servido de punto de encuentro entre los profesionales de los medios de comunicación y el mundo de la ciencia, además de ofrecer la oportunidad a Enresa de dar a conocer la gestión de los residuos radiactivos.

FOTOS: **ENRESA**

**L**a divulgación científica y la concienciación medioambiental fueron la apuesta fundamental de la XVII edición del Seminario Internacional de Periodismo y Medio Ambiente (SIPMA) que reunió a más de 150 participantes en el rectorado de la Universidad de Córdoba los días 8 y 9 de octubre. En la inauguración de este evento, que en esta ocasión contó con el apoyo de la Universidad de Córdoba y el Foro Nuclear como coorganizadores, intervinieron el director técnico de Enresa, Álvaro Rodríguez Beceiro; el rector de la Universidad de Córdoba (UCO), José Carlos Gómez Villamandos; el subdelegado del Gobierno en Córdoba, Juan José Primo Jurado; el delegado territorial de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Francisco de Paula; el presidente del Foro de la Industria Nuclear Española, Antonio Cornadó, y el presidente de la

Asociación de la Prensa de Córdoba, Manuel Fernández, quienes coincidieron en destacar la necesidad de espacios de debate y divulgación científica y medioambiental como SIPMA.

El director general de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), José Ignacio Fernández Vera, inauguró las ponencias de esta edición de SIPMA analizando en su intervención el nivel de interés y conocimiento científico a través de los resultados de la VII Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología, que realiza esta fundación y en la que se observa una clara demanda de información científica, que ha ido corrigiendo la situación de déficit de interés de los ciudadanos por los contenidos científicos.

Tras esta intervención, Fernando Doblas, director de comunicación de la Agencia Espacial Europea (ESA), desveló alguna de las claves

relativas a cómo comunicar ciencia con éxito a través de las actividades de comunicación y divulgación científica que la ESA llevó a cabo para dar a conocer el periplo y las vicisitudes de la misión de la sonda Rosetta, y su módulo Philae, para saber las propiedades físicas, origen y comportamiento del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Una estrategia de comunicación que consiguió humanizar a las máquinas, la simplificación de los mensajes y una política de total transparencia fueron las claves del éxito divulgativo de este proyecto.

## **DIVULGACIÓN NUCLEAR**

La divulgación en el contexto nuclear fue el contenido de la mesa redonda moderada por el presidente del Foro Nuclear Español, Antonio Cornadó, que se celebró a continuación y que contó con la participación de la directora del centro de almacenamiento de El Cabril, Eva Noguero; del ex direc-



José Ignacio Fernández Vera, director general de FECYT, durante su intervención.



Vista del público asistente en el salón de actos del rectorado de la Universidad de Córdoba durante la jornada.

## Según los datos de la VII Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología que se analizaron en SIPMA, se observa una clara demanda por parte de los ciudadanos por los contenidos científicos

tor general de COVRA (la agencia de gestión de residuos holandesa), Hans Codée; del director del centro de almacenamiento de L'Aube (Francia), Patrice Torres; y del alcalde de la localidad francesa de Soulaines Dhuys y presidente de la comisión local de información de la instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de L'Aube, Philippe Dallemagne. Acortar la distancia entre percepción y realidad, la importancia de adecuar el lenguaje específico nuclear a los ciudadanos para un correcto entendimiento y la necesidad de que los portavoces del mundo nuclear se conviertan en los referentes en este tipo de información fueron algunas de las conclusiones que se alcanzaron en el debate.

El análisis de los nuevos canales de divulgación científica fue el tema

abordado por Jose A. Perez Ledo, director y creador del programa Orbita Laika, de La 2 de TVE. Pérez Ledo explicó cómo nació y cómo se hace este programa que aúna humor y entretenimiento con la ciencia como hilo conductor y telón de fondo y, según su director, que tiene como objetivo principal enganchar y entretener a un público que no tiene intención de consumir un programa que incluya la palabra ciencia.

### PAPEL DE LAS REDES SOCIALES

Tras esta intervención, las redes sociales y su papel en la comunicación fue el tema central de una mesa redonda en la que participaron Alberto Redondo, profesor de Zoología de la Universidad de Córdoba y realizador de documen-

tales de ciencia y naturaleza; Ana Santos, fundadora de Eventosfera y experta en comunicación y marketing digital; y Clara Grima, divulgadora científica, quienes debatieron sobre el papel de las redes sociales en la divulgación de la ciencia y los temas medioambientales a partir de sus experiencias personales y profesionales en el uso de estas nuevas formas de comunicación on-line.

Las actividades académicas de esta jornada se cerraron con una mesa redonda dedicada a los logros y retos de la ciudad sostenible, la arquitectura y los nuevos desarrollos técnicos y ambientales que contó con la intervención del responsable del Plan Nacional de Ciudades Inteligentes del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Enrique Martínez; Manuel Domínguez, cofundador de Zuloark, empresa especializada en arquitectura y urbanismo; y Manuel Fernández, consultor en políticas urbanas de Human Scale.

El viernes 9 de octubre, las actividades de SIPMA se trasladaron a El Cabril, donde los participantes pudieron conocer la gestión de los residuos radiactivos y cómo se conjugan en la instalación tecnología, comunicación y medio ambiente. Posteriormente, el divulgador científico Óscar Menéndez cerró las actividades del SIPMA presentando su particular visión de El Cabril y su integración social y medioambiental en su entorno. Interactuando con los asistentes, Menéndez supo transmitir, mediante el uso de sencillos ejemplos, cómo funciona un sistema de barreras, cómo actúan los sistemas de blindaje y el acondicionamiento de residuos, entre otras cuestiones. ■



El divulgador científico Óscar Menéndez en El Cabril.



Fábrica de uranio de Andújar antes y después de su desmantelamiento y del acondicionamiento y estabilización del dique de estériles. Foto de uno de los monolitos de señalización del dique.

## ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS UBICACIONES DE LOS ALMACENAMIENTOS DE RESIDUOS RADIATIVOS

# PRESERVACIÓN DE LOS REGISTROS DEL CONOCIMIENTO Y MEMORIA DE LOS EMPLAZAMIENTOS

Los almacenamientos de residuos radiactivos están diseñados para acoger de manera segura, para la sociedad y el medioambiente, estos materiales durante largos periodos de tiempo -de cientos a miles de años-. Preservar en la memoria la existencia de esos almacenamientos y la documentación e información precisa sobre su ubicación, contenido y características para las generaciones futuras, de manera que se preserve su seguridad y se eviten intrusiones no deseadas, es objeto de análisis y estudio actualmente por parte de la AEN/OCDE, la Comisión Europea y otros organismos científicos internacionales.

TEXTO: **JOAQUÍN FARIAS, COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE I+D DE ENRESA**

La gestión final de los residuos radiactivos pasa por la construcción de almacenamientos definitivos en los que, mediante una serie de barreras -construidas por el hombre y naturales-, se confinan los residuos radiactivos y se mantienen alejados de la biosfera por el tiempo necesario para que su radiotoxicidad caiga por debajo de unos límites establecidos. El sistema se basa en que éstos se construyen en un medio estable e intrínsecamente seguro, por lo que no es necesaria intervención humana alguna para que cumplan su función correctamente.

Hecho así, solamente se podrían romper las barreras y acceder a los residuos radiactivos por acción expresa del hombre. Todos los almacenamientos de residuos radiactivos se proyectan para tratar de evitar intrusiones accidentales o inadvertidas, y se contemplan los medios, actualmente a nuestro alcance, para que quien nos suceda en el futuro pueda conocer lo que se encuentra bajo sus pies y tomar en el futuro sus propias decisiones responsablemente.

Un repositorio para residuos de media y baja actividad como El Cabril, cuando se hayan completado y clausurado las celdas y se restaure ambientalmente el emplazamiento, deberá permanecer estable y cerrado a cualquier otro uso durante trescientos años. En el caso de un almacenamiento para residuos de alta actividad y combustible gastado, es decir, un almacén geológico profundo (AGP), ha de permanecer aislado, no sólo 300 años, sino varios cientos de miles de años.

Las actividades en las que se trabaja actualmente establecen escalas temporales a corto, medio y largo plazo. En este sentido, la Agencia de la Energía Nuclear (AEN/OCDE) propone para un AGP que el corto plazo abarque décadas, el tiempo necesario hasta el fin del periodo operacional; en el medio plazo, se consideran varios siglos, más o menos el periodo coincidente con la supervisión indirecta del repositorio; y el largo plazo, milenios, periodo en el que se supone que ya no hay ninguna actividad de supervisión.

Actualmente, tanto la AEN/OCDE como la Comisión Euro-

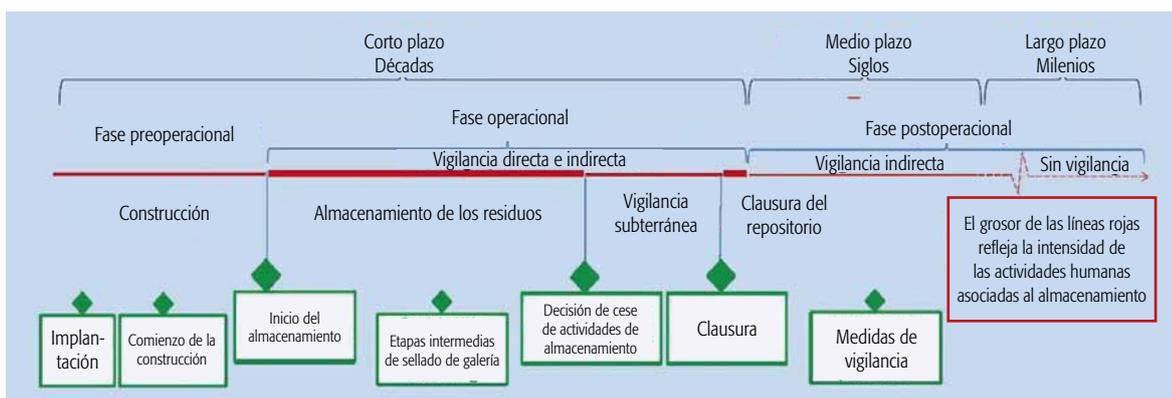
pea o la Plataforma Tecnológica Europea para la Implementación de un Almacén Geológico Profundo, IGD-TP desarrollan actividades en este campo, en las que Enresa participa activamente.

### NEA/OCDE, INICIATIVAS RK&M Y REPMET

El Comité de Gestión de Residuos Radiactivos (RWMC) de la Agencia de la Energía Nuclear (AEN), ante la importancia que diversos países miembros dan a la preservación de los registros, el conocimiento y la memoria, ha puesto en marcha dos iniciativas con el objeto de impulsar la reflexión y el intercambio de impresiones sobre estos temas. Estas iniciativas son las denominadas *Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations (RK&M)*, y *Radioactive Waste Repository Metadata Management (RepMet)*. La primera, enfocada al periodo de tiempo tras la clausura del repositorio, mientras que la segunda está dedicada a los periodos operacional y preoperacional.

La iniciativa RK&M, en la que participan 19 organizaciones de

### Hitos y escalas temporales en un AGP según propuesta de la AEN-OCDE

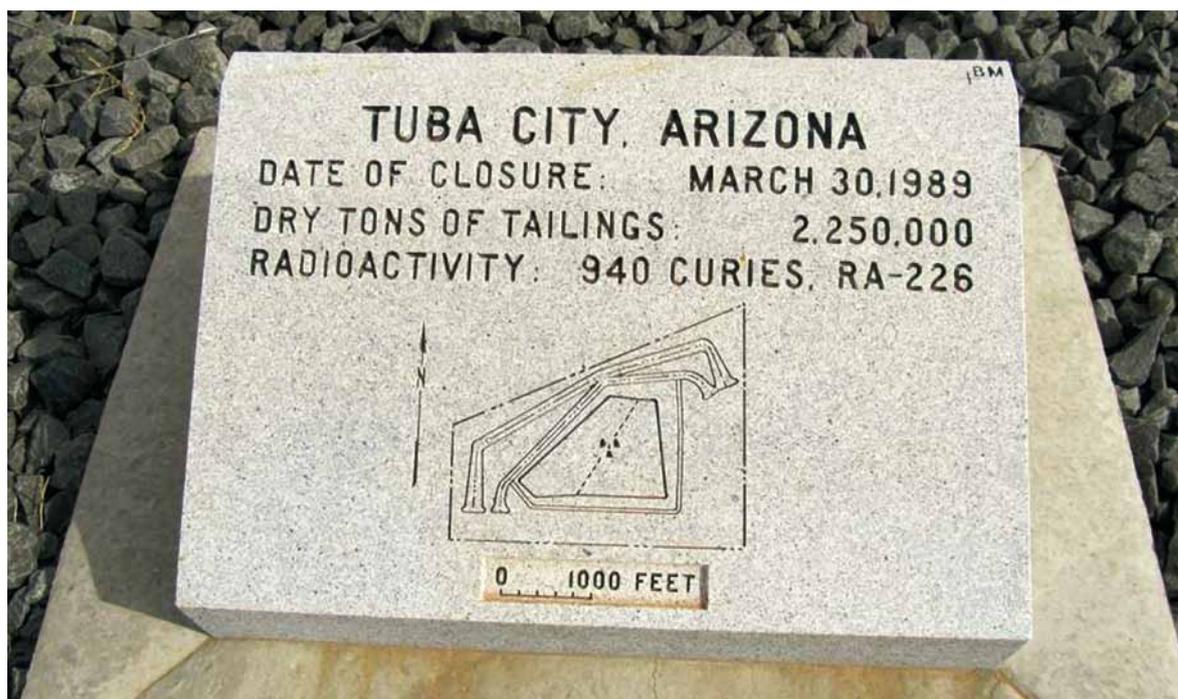


## La iniciativa RK&M, en la que participan 19 organizaciones de 13 países, entre los que se encuentra España representada por Enresa, centra sus trabajos en cómo preservar los registros, el conocimiento y la memoria de los emplazamientos de almacenamiento

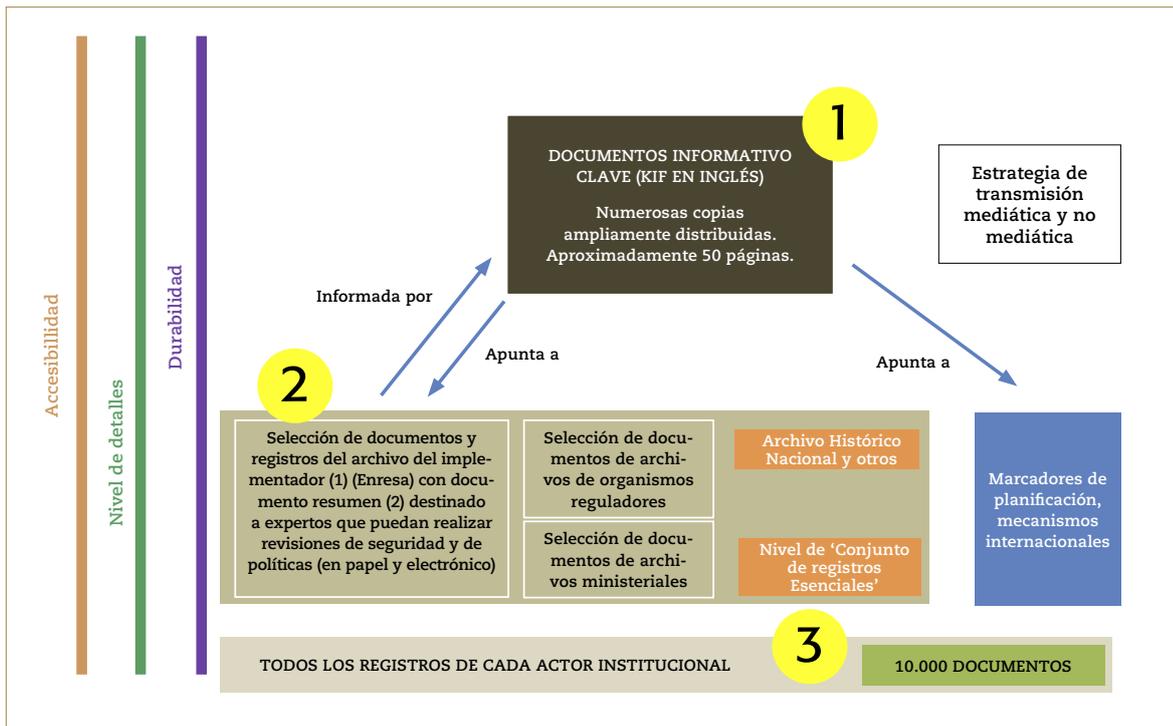
13 países, entre los que se encuentra España representada por Enresa, centra sus trabajos en cómo preservar los registros, el conocimiento y la memoria de los emplazamientos de almacenamiento. Comenzó sus actividades en marzo de 2011 y, aunque estaba previsto que finalizara sus trabajos en 2014, se decidió prolongar su labor en una segunda fase que se extenderá hasta abril de 2017.

Coincidiendo con el inicio de esta segunda fase, el RWMC presentó un documento en el que recogen los principios directores de esta iniciativa:

- Mantener, después de su clausura, los registros, el conocimiento y la memoria (RC+M) de un almacenamiento de residuos radiactivos permitirá a los futuros miembros de la sociedad tomar decisiones informadas sobre el repositorio y su contenido, y ayudará a prevenir una intrusión humana involuntaria.
- Habilitar a los futuros miembros de la sociedad para poder tomar decisiones informadas es, éticamente, una parte de la gestión responsable y sostenible de los residuos radiactivos y está en línea con un enfoque prudente respecto a la seguridad.
- Los preparativos para la conservación futura de la RC+M se abordan mejor cuando se están diseñando e implementando los planes de gestión de residuos, ya que es cuando se puede disponer de fondos para planificar este importante componente de la gestión a largo plazo. El hecho de que la fase operativa dure décadas ofrece una oportunidad



Monolito de señalización de un dique de estériles en Tuba City, Arizona (Estados Unidos), en el que se precisa información sobre su contenido y características.



Estructura jerárquica de documentos y registros tras el cierre de un repositorio (RC+M initiative) AEN -OCDE

para la reflexión y el desarrollo de estrategias viables de RC+M.

- Durante la fase de explotación del almacenamiento, las instituciones involucradas en su gestión deben preparar la fase posterior al cierre, que será cuando se reducirá su rol y otros actores asumirán nuevas responsabilidades —especialmente en el área de la preservación de RC+M. Durante esta fase operacional se habrá de prestar especial atención a la gestión de los archivos, a las restricciones administrativas sobre usos del terreno, y la necesaria presentación de informes periódicos, por los gobiernos en cuyo suelo se realiza el AGP, comprometidos por uno o más mecanismos o acuerdos internacionales.
- Se debe formular mediante un enfoque sistémico, es decir, los diversos componentes del sistema RC+M se deben complementar entre sí. La redundancia en la comunicación de mensajes incrementará las

posibilidades de supervivencia de un mensaje reconocible y comprensible. Además, es necesario explorar y utilizar todos los canales de comunicación disponibles.

- Los registros se utilizarán más por las generaciones futuras que por quienes los generaron y, por tanto, es necesario cuidar su presentación y contenido, de manera que sea informativo e inteligible. Además, para una mejor comprensión es importante conservar también la información necesaria sobre el contexto en el que se crearon los registros.
- Los diferentes elementos del sistema RC+M deben aplicar técnicas robustas, simples y comprensibles, generando materiales de apoyo, y no deben basarse solamente en sistemas tecnológicos o electrónicos que puedan quedar obsoletos o inaccesibles.
- Es necesario desarrollar reglamentos que sirvan de soporte

en la orientación y supervisión del enfoque sistémico para la preservación de RC+M.

- Un enfoque concertado a nivel internacional contribuirá a un mayor desarrollo de las estrategias nacionales. Por eso, es necesario buscar sinergias con instituciones y organismos internacionales. En este sentido, deberían establecerse acuerdos que pervivan más allá del cierre del repositorio y, por tanto, puedan contribuir a la preservación de RC+M.

La documentación sobre los avances alcanzados en la primera fase de la iniciativa es de libre acceso y pueden consultarse en la página web de la AEN (<https://www.oecd-nea.org/rwm/rkm/>). Cabe destacar los documentos sobre revisión bibliográfica de marcadores y preservación de memoria en relación con AGP's; el estudio sobre aspectos técnicos y sociales en relación con la monitorización de los almacenamientos geológicos; estudio sobre los factores que intervienen en la pérdida de

## En la conferencia internacional ‘Constructing Memory’, se abordaron aspectos como la preservación de RG+M en la gestión de residuos, la gestión de archivos, el patrimonio cultural y arqueológico, y cuestiones relativas a la comunicación semiótica o las artes

memoria y documentación en vertederos convencionales; una colección de artículos estratégicos y un glosario específico de términos.

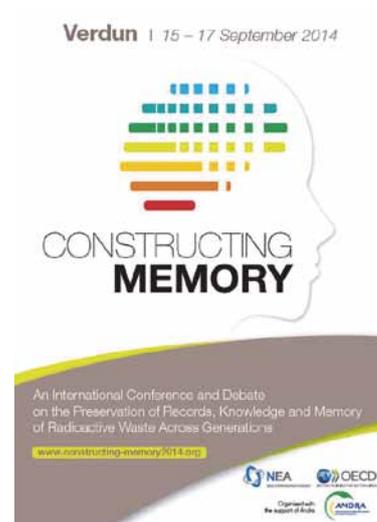
Para la segunda fase, se ha decidido continuar con el perfeccionamiento de la documentación básica, como es selección y definición de un glosario específico, creación de un catálogo de regulaciones nacionales e internacionales, selección bibliográfica, y preparación de un menú de tipo

Wiki que contenga una selección de documentos. Las áreas de interés en las que se profundizará son gestión de archivos, mecanismos internacionales, aspectos regulatorios, marcadores de emplazamientos y el estudio de aspectos que se consideren útiles sobre la gestión del patrimonio de la humanidad.

Una muestra de la sintonía internacional que hay en estos asuntos fue la conferencia internacional ‘Constructing Me-



Monumentos megalíticos ibéricos que se han analizado como modelos de marcador de repositorios atendiendo a su durabilidad.



Cartel anunciador de la conferencia de Verdún.

memory’, organizada en septiembre de 2014 por Andra y la AEN/OCDE en la localidad francesa de Verdún, que contó con la participación de más de doscientos expertos de diecisiete países. Este encuentro representó una excelente ocasión para presentar y analizar a nivel internacional los resultados que surgieron de la Fase I, y además se recabaron sugerencias sobre nuevos enfoques y sobre cómo ampliar el grupo de trabajo con otros expertos y comunidades científicas y técnicas interesadas. Durante las sesiones se abordaron aspectos como la preservación de RG+M en la gestión de otros tipos de residuos, la gestión de archivos, el patrimonio cultural y arqueológico, y otras cuestiones relativas a la comunicación semiótica o las artes.

Por su parte, el grupo de trabajo RepMet enfoca sus actividades en el corto plazo, durante la fase operacional del repositorio y hasta poco después de su clausura. Consiste en determinar qué metadatos hay que generar y conservar para el futuro. No

©Jim Arzalone

hay una definición única sobre el concepto de metadatos si bien la más extendida es ‘datos sobre datos’. Es decir, la conservación de datos que sirvan para proporcionar información de contexto sobre la información guardada, permitiendo comprender mejor en el futuro el conjunto de los registros y documentos preservados.

El documento de visión de la iniciativa, desarrollado en febrero de 2014, expone que el objetivo es crear y definir conjuntos de metadatos para ser utilizados en los programas nacionales, en la gestión de sus registros de documentación. Esto facilitará una armonización internacional. La iniciativa pretende también formular una serie de principios directores para la generación y captura de metadatos.

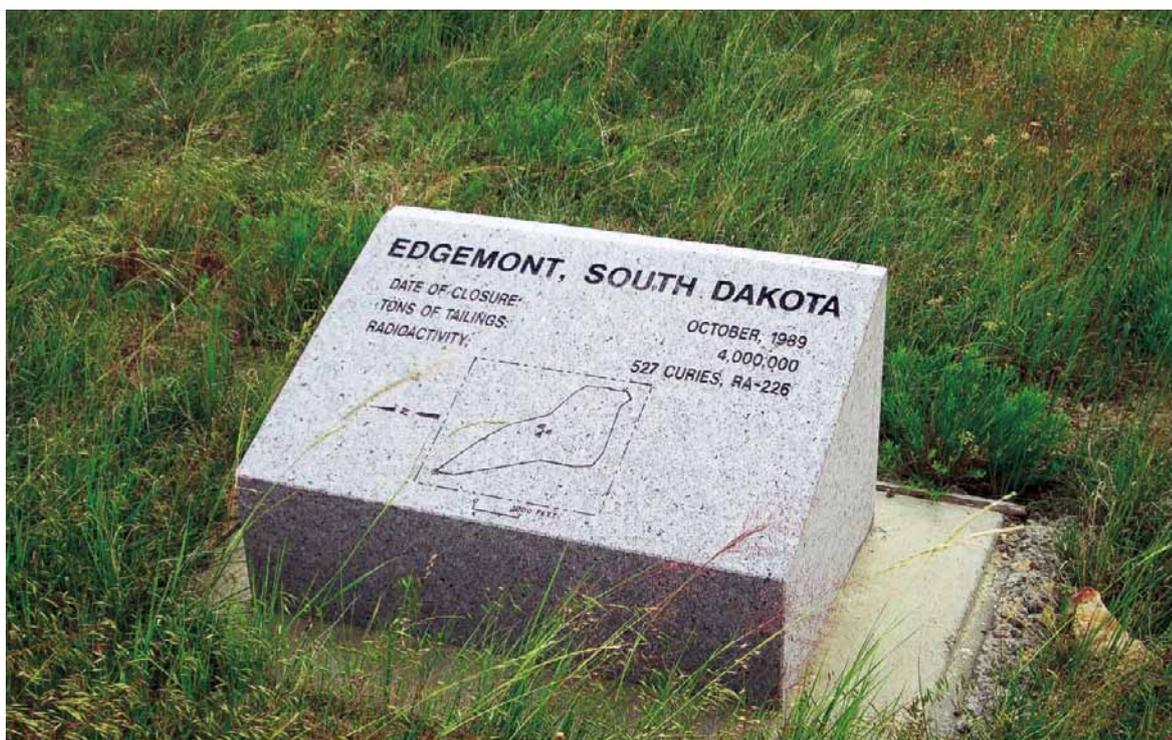
### PROYECTO PETRUS III Y GRUPO DE TRABAJO CMET

Los Programas Marco de la Comisión Europea han abordado actividades para el corto plazo. Entre ellas, cabe destacar el Proyecto PETRUS III, que está relacionado con la formación para la gestión final de los residuos radiactivos. Este proyecto comunitario es continuación de los anteriores PETRUS y PETRUS II, que comenzaron a funcionar en 2005 y en cuyos trabajos participan, además de la Comisión Europea a través de sus Programas Marco, varias universidades europeas -la Universidad Politécnica de Madrid, entre ellas-, diversas organizaciones de gestión de residuos radiactivos, y científicos de centros de investigación internacionales. Su objetivo es elaborar y desarrollar un enfoque único



Primer periódico del proyecto PETRUS III.

europeo para la Educación y la Formación (E&T) en el campo del almacenamiento geológico de residuos radiactivos. Enresa



© DOE

Todos los almacenamientos se proyectan para tratar de evitar intrusiones accidentales o inadvertidas. Monolito de señalización del emplazamiento de Edgemont, en Dakota, Estados Unidos.

participa en estos grupos de trabajo desde el inicio de la segunda fase del proyecto.

Petrus III comenzó a funcionar en otoño de 2013 y está previsto que sus trabajos tengan una duración de tres años. Este proyecto tiene por misión asegurar la continuidad, renovación y mejora de las competencias profesionales, llenando el vacío entre la creciente demanda de educación, la formación estructurada y la oferta actual, que es bastante limitada, entre otras razones, por la falta de interés estudiantil en los temas nucleares. Los ámbitos de educación considerados son estudios de doctorado, de máster, y ya fuera del ámbito estudiantil, la formación profesional continua de los técnicos. Dos de las premisas de partida son que la formación

del individuo debe prolongarse también a lo largo de la vida laboral, y que la movilidad entre los diferentes países europeos es muy importante y enriquecedora.

La plataforma europea sobre implementación de un almacén geológico profundo (IGD-TP) también ha puesto en marcha dos actividades conjuntas (JA), bajo la forma de grupos de trabajo denominados 'Competence Maintenance, Education and Training' (CMET, JA14) y 'Nuclear Knowledge Management' (JA15, NKM). En ambas participa Enresa.

## REFERENCIAS

- *Phase-II Vision Document*. NEA/RWM/RKM(2014)1/REV2, 03-Feb-2015, 12pp.
- *Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations*. An International Project of the NEA/RWMC. Flyer, Nov-2011, 2pp.
- *Foundations and guiding principles for the preservation of records, knowledge and memory across generations: A focus on the post-closure phase of geological repositories. A Collective Statement of the NEA Radioactive Waste Management Committee*. Flyer, Jul-2014, 2pp.
- *Vision Document for the Radioactive Waste Repository Metadata Management (RepMet) Project*. NEA/RWM (2014)2. 26-Feb-2014
- *Master Deployment Plan and Joint Activities Outlines 2014*. ID-TP. SecIGD2 project, DELIVERABLE (D-Nº:1.5.1). ■



Monolito señalización del dique de esteriles de la antigua fabrica de uranio de Andújar.

# FINLANDIA: CONSTRUCCIÓN DEL PRIMER ALMACÉN GEOLÓGICO DEL MUNDO

Finlandia se ha convertido en el primer país del mundo en conceder una licencia de construcción para un almacén geológico profundo (AGP) para residuos radiactivos, según informó el pasado 12 de noviembre Posiva, la agencia de gestión de estos materiales en el país báltico. Tras más de 40 años de investigaciones, Posiva comenzará la construcción de esta instalación en Olkiluoto, que albergará de forma final el combustible gastado generado en las centrales de Olkiluoto y Loviisa y que podría empezar a funcionar en 2023. Tal y como destacó Janne Mokka, presidente de Posiva, “este proyecto pionero no es importante sólo para Finlandia, sino para todos ya que es el primer AGP que entra en fase de construcción en el mundo”.

Autor: **EMILIO GARCÍA NERI, DEPARTAMENTO DE RELACIONES INTERNACIONALES DE ENRESA**

Fotos: **POSIVA OY**



La construcción de las instalaciones subterráneas para la caracterización del emplazamiento en Onkalo comenzó en julio de 2004.

**E**n el AGP proyectado por Posiva, el combustible gastado se encapsulará y se almacenará de forma permanente en una formación rocosa a unos 400 metros de profundidad. La instalación se compone de dos partes: por un lado, la planta de encapsulado del combustible (en superficie) y, por otro, el depósito final, con túneles excavados en la roca, donde se almacenará finalmente el combustible. La compañía ha estimado el coste total de esta instalación en torno a 3.000 millones de euros.

El Parlamento finlandés aprobó la decisión de iniciar el proyecto de almacén geológico profundo en 2001. A finales de 2012, Posiva presentó al Gobierno la solicitud de la licencia de construcción y en febrero de 2015, la autoridad de

seguridad finlandesa STUK emitió un comunicado al Ministerio de Empleo y de la Economía en el que indicaban que la planta de encapsulación de Posiva y depósito final para el combustible nuclear gastado se podían construir de forma segura. Aun así, antes de que el almacén entre en funcionamiento, Posiva debe volver a analizar los impactos ambientales, entre los que se incluyen la capacidad para recuperar los residuos nucleares si es necesario, así como los riesgos de transporte.

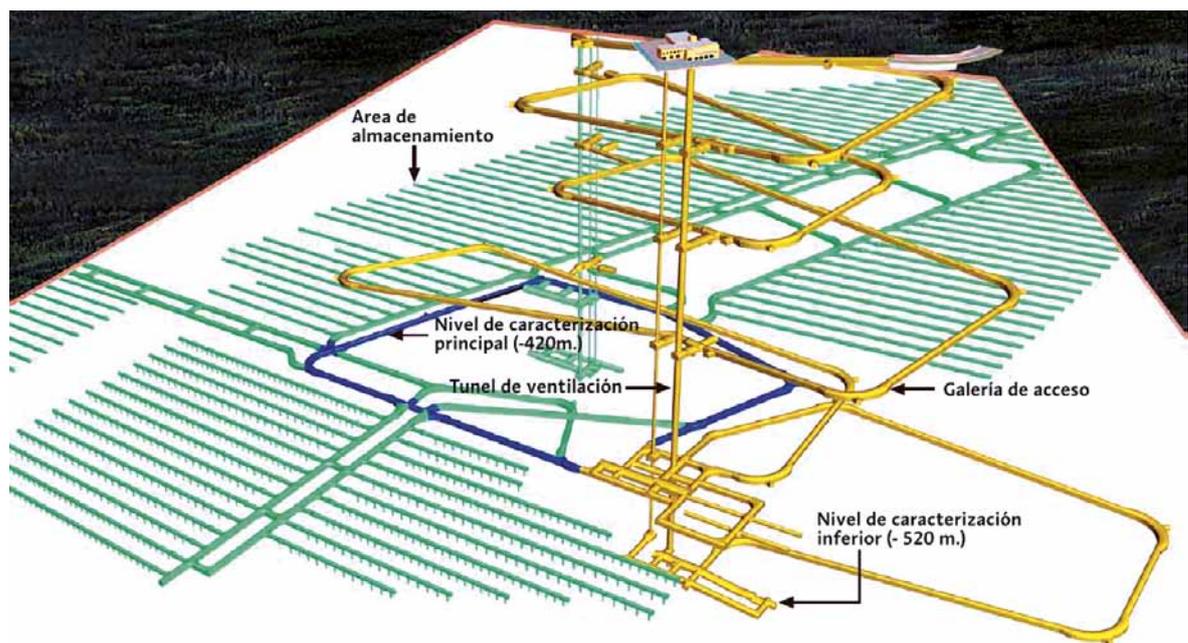
#### EL ESCENARIO FINÉS

Finlandia cuenta con cuatro reactores nucleares en funcionamiento y uno en construcción, en las centrales nucleares de Loviisa (2) y Olkiluoto (2) que son los principales generadores de residuos radiactivos. Ade-

más de estas centrales nucleares también existe un reactor de investigación y cantidades menores de residuos radiactivos producidas por la operación de una serie de instalaciones que utilizan radioisótopos en medicina, investigación y aplicaciones industriales.

Las principales normas en Finlandia en el ámbito de gestión de combustible nuclear gastado, así como para la gestión de residuos radiactivos, son la ley de Energía Nuclear, la ley de la radiación y los decretos del Gobierno sobre seguridad nuclear y sobre la seguridad de la disposición de residuos radiactivos, así como las guías reglamentarias emitidas por la Autoridad para Seguridad Nuclear y Radiológica (STUK).

La ley de Energía Nuclear establece que los residuos de las centrales nucleares generados



Concepto de almacenamiento geológico profundo de Finlandia.

## El Gobierno de Finlandia concedió el pasado 12 de noviembre la licencia de construcción para esta instalación

en Finlandia se gestionarán, almacenarán y dispondrán en Finlandia. Hay algunas excepciones, por ejemplo, en relación al combustible gastado del reactor de investigación. Así mismo, establece la prohibición de importación para residuos radiactivos generados en otros países que no podrán ser ni gestionados ni almacenados en Finlandia. En los casos de productores institucionales en los que los residuos no pueden ser desclasificados, incluyendo las fuentes gastadas que no pueden ser devueltas al fabricante, estas deben entregarse a una instalación autorizada para su recepción y acondicionamiento,

para su posterior transferencia a la instalación de almacenamiento centralizado, operada por STUK.

En Finlandia se reconoce que el productor de los residuos radiactivos es responsable de su gestión y, en el caso de centrales nucleares, de su desmantelamiento, incluyendo los aspectos relacionados con la planificación e investigación y desarrollo. El productor de residuos también es responsable de financiar los costes de la gestión futura de sus residuos y del desmantelamiento de sus instalaciones. El Estado es, por tanto, responsable de los residuos radiactivos una vez

que su disposición sea llevada a efecto, y tiene la responsabilidad subsidiaria en caso de que un productor de residuos radiactivos sea incapaz de cumplir con su responsabilidad.

### MARCO LEGAL Y REGULATORIO NACIONAL

Conforme a la ley de Energía Nuclear, la autoridad global en el campo de la energía nuclear en Finlandia es el Ministerio de Empleo y Economía que tiene la responsabilidad de formular la política energética nacional. La ley establece que este ministerio decidirá, previa consulta cuando sea necesario al ministerio del Medio Ambiente, sobre los principios básicos que deben aplicarse en la gestión de residuos radiactivos. Este ministerio es responsable de los aspectos concernientes a la energía nuclear, incluyendo



Olkiluoto, en el oeste de Finlandia, acogerá el primer almacén geológico profundo del mundo para combustible gastado. En primer término, a la izquierda, túnel de acceso a la instalación.

la gestión de residuos radiactivos, y de desarrollar la información necesaria para la toma de decisiones por el Gobierno.

Conforme a lo estipulado en la ley sobre Radiación, que ampara aspectos relacionados con la gestión de los residuos radiactivos y la gestión de residuos no radiactivos, el Ministerio de Asuntos Sociales y Salud es la autoridad suprema en la supervisión de las prácticas que impliquen la exposición a la radiación.

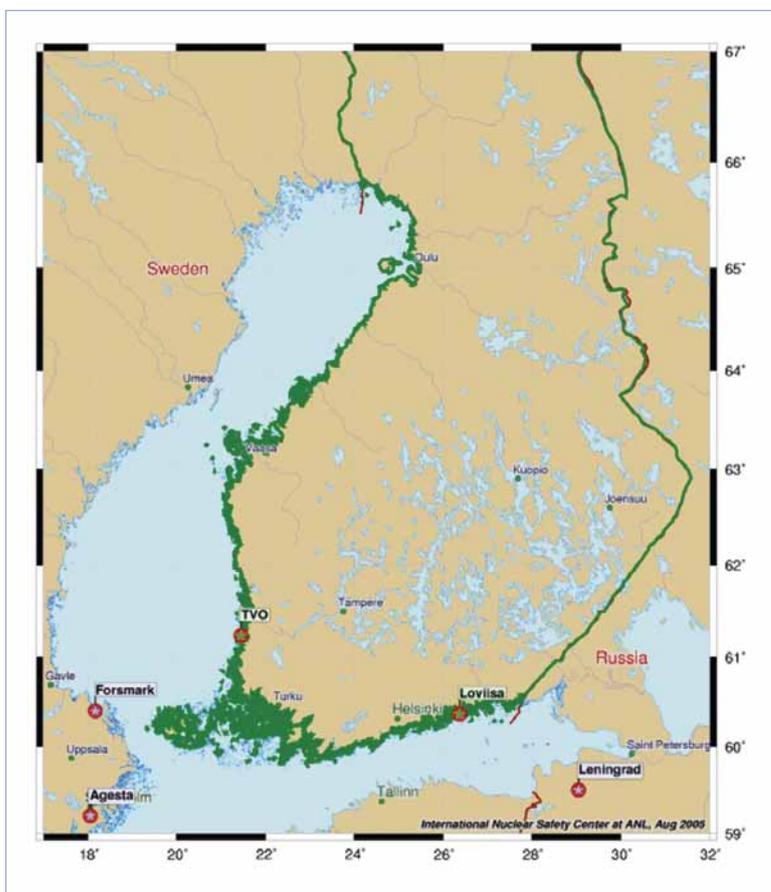
La ley de Energía Nuclear y la ley de Radiación definen el sistema de aplicación y las reglas para la suspensión, modificación o revocación de una licencia. El

## Antes de que el almacén entre en funcionamiento, se volverán a analizar los impactos ambientales, entre los que se incluyen la capacidad de recuperación de los residuos y los riesgos de transporte

sistema de aplicación incluye disposiciones para la suspensión ejecutiva, si es necesario, y el sistema de sanciones en caso de incumplimiento de la ley. Las licencias son propuestas por el Ministerio de Empleo y Economía y concedidas por el Gobierno. Sobre la base de la ley de Energía Nuclear, STUK concede licencias

de segundo rango relacionadas con aspectos específicos de la gestión del combustible y actividades de gestión de residuos nucleares (exportación, importación, transporte y permisos para las operaciones). Los usos de la radiación requieren una licencia de seguridad, que puede ser otorgada por STUK previa solicitud.

Mapa de localización de las centrales nucleares en Finlandia



Una licencia de seguridad puede estar sujeta a condiciones adicionales necesarias para garantizar la seguridad. El Ministerio de Empleo y Economía (MEE) supervisa la implementación de las actividades para la gestión de residuos radiactivos y aquellas otras relacionadas con la investigación y desarrollo, para asegurar que se cumple con la política nacional. También supervisa el estado del fondo de gestión de residuos radiactivos de cara a garantizar que las provisiones financieras para la futura gestión de los residuos nucleares son adecuadas.

STUK es la organización gubernamental independiente para el control regulatorio de la radiación y seguridad nuclear. Los derechos y responsabilidades de STUK incluyen las siguientes actividades reguladoras: autorización, revisión y evaluación, inspección y cumplimiento, desarrollo de normas y



Área de caracterización de la instalación de Onkalo.

guías, inventarios y los registros nacionales e información y comunicación pública. STUK no concede los permisos para la construcción o funcionamiento de instalaciones nucleares. Sin embargo, ninguna licencia puede ser aprobada sin la correspondiente revisión y declaración sobre el cumplimiento de las normas de seguridad de STUK. Además de ser un organismo regulador, STUK también tiene control administrativo de una instalación central de almace-

namiento de residuos radiactivos generados por productores institucionales.

#### UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN A LARGO PLAZO

El sistema de clasificación de residuos finlandés incluye dos categorías principales: residuos nucleares y residuos radiactivos, siendo estos los originados por actividades que no forman parte del uso de la energía nuclear y

el ciclo del combustible nuclear asociado.

**Gestión del combustible nuclear.** La Ley de Energía Nuclear en Finlandia define al combustible gastado resultante de la operación de los reactores nucleares como residuos nucleares, destinados para la disposición de forma permanente. Debido a su alta actividad y generación de calor, el combustible gastado es considerado como residuo de alta actividad. Como práctica



Acceso a las instalaciones subterráneas de Onkalo.

general, el combustible gastado se almacena en piscinas durante algunas décadas y, después de esa fase de almacenamiento temporal, será encapsulado y transferido a un almacén subterráneo a una profundidad de unos 500 metros en una formación geológica estable de roca cristalina, es decir, al almacén geológico profundo cuya construcción acaba de ser aprobada por el Gobierno de este país.

En cuanto al almacenamiento temporal, la capacidad de almacenamiento de la piscina de combustible gastado en la central nuclear de Loviisa es suficiente hasta el inicio previsto del AGP. Así mismo, el operador de la central nuclear de Olkiluoto, TVO, concluyó el año pasado las obras por las que aumentaba su capacidad de almacenamiento temporal.

En Finlandia las empresas eléctricas han formado una empresa conjunta, Posiva Oy, que es responsable de la preparación y posterior implantación del programa para la disposición del combustible gastado. La legislación sobre la energía nuclear establece que el almacenamiento final de los residuos nucleares se llevará a cabo en formaciones geológicas. Por tanto, ha sido Posiva la encargada de desarrollar el programa de disposición de combustible gastado en nombre de sus propietarios en consonancia con la decisión política del Gobierno de 1983 y la adoptada por el Ministerio de Industria y Comercio en el año 2003.

La construcción de las instalaciones subterráneas para la caracterización del emplazamiento (Onkalo) comenzó en julio de

2004. Posiva completó los trabajos de excavación para el túnel de acceso y salas técnicas en 2012, año en el que presentó la solicitud de licencia de construcción para la instalación. En febrero de 2015, STUK informó al Ministerio de Empleo y Economía favorablemente, confirmando que la instalación puede ser construida de modo seguro, por lo que el Gobierno ha otorgado su licencia de construcción este mismo mes de noviembre.

#### **Gestión de residuos de baja y media actividad.**

La gestión previa de los residuos de baja y media actividad se lleva a cabo en las centrales nucleares con sus licencias de funcionamiento. Los residuos son segregados, tratados, acondicionados, y almacenados, según corresponda, antes de ser trasladados a las instalaciones de almacenamiento, una en cada central nuclear. La construcción de un almacén en el emplazamiento de Olkiluoto comenzó en 1988 y entró en funcionamiento en 1992. En Loviisa, la construcción se inició en 1993, y la operación de la primera fase de la instalación de disposición se inició en 1998.

Los residuos radiactivos generados por la operación del reactor de investigación se almacenan en las propias instalaciones del reactor hasta el momento de su parada definitiva y están negociando con los operadores de las centrales nucleares finlandesas para el posible almacenamiento provisional y disposición de los futuros residuos de desmantelamiento.

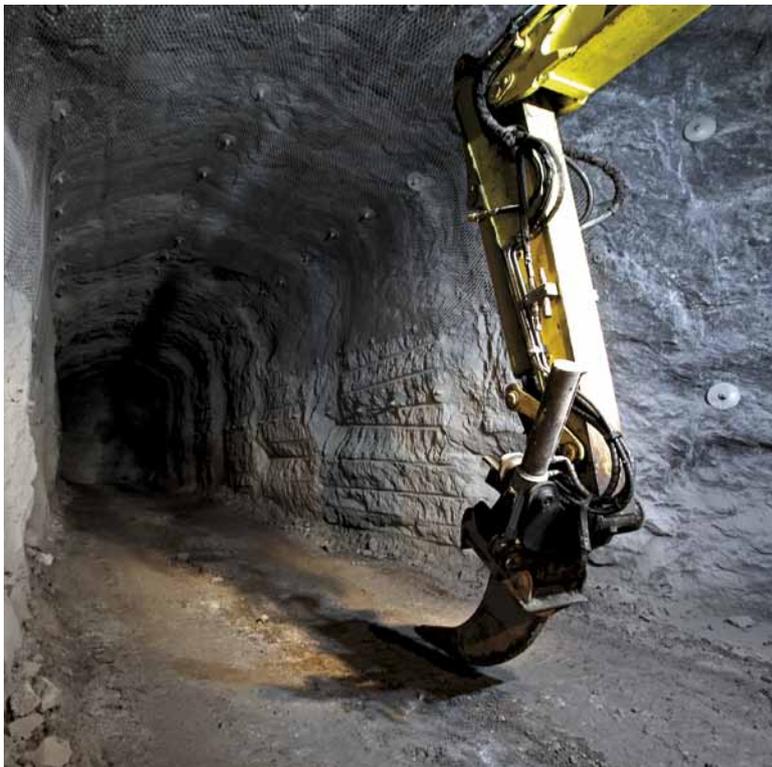
#### **Gestión residuos de productores institucionales.**

Los residuos producidos por estos usuarios que no pueden ser desclasificados fuera

## En Finlandia las empresas eléctricas han formado una empresa conjunta que es responsable de la preparación y posterior implantación del programa para la disposición del combustible gastado

del control reglamentario, tales como fuentes selladas en desuso que no pueden ser devueltos al fabricante, deben ser entregados para su almacenamiento a largo plazo a la instalación nacional operada por el Departamento de Vigilancia de la Radiación Ambiental de STUK. Un agente privado, Suomen Nukliditeknikka, se encarga del acondicionamiento y transferencia de las fuentes se-

lladas gastadas y otros residuos radiactivos producidos por los productores institucionales y se almacenan en una instalación provisional conectada a la instalación de RBMA en Olkiluoto, bajo el control reglamentario del Departamento de Regulación sobre Residuos y Material Nuclear de STUK. El Departamento de Vigilancia de la Radiación Ambiental de STUK se encarga tanto



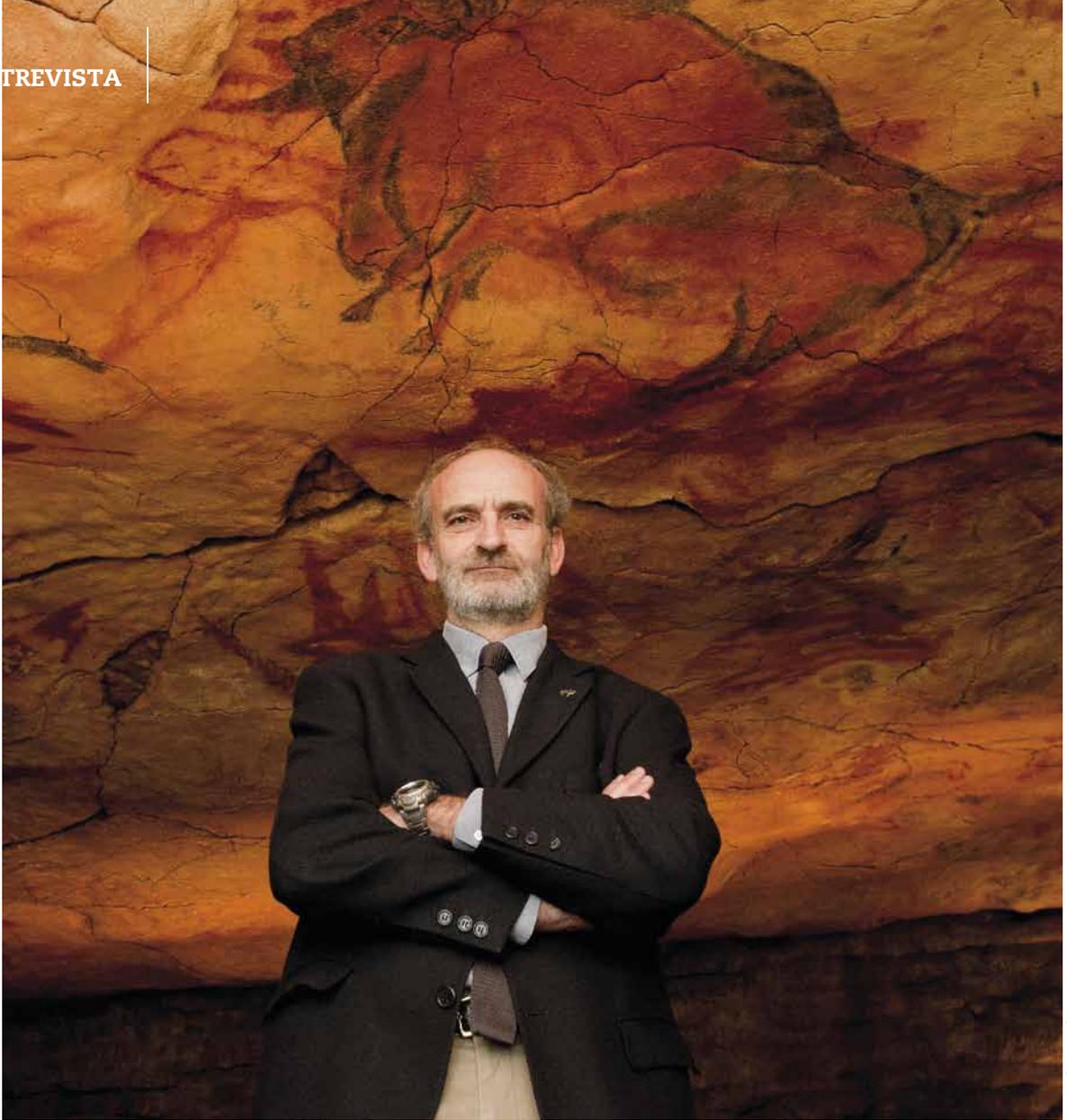
Posiva completó los trabajos de excavación para el túnel de acceso y salas técnicas en 2012, año en el que presentó la solicitud de licencia de construcción para la instalación.

del almacenamiento como del control de estos materiales.

### DESMANTELAMIENTO

En Finlandia no existen grandes proyectos de desmantelamiento en curso. La empresa propietaria del único reactor de investigación, VTT, decidió iniciar en 2012 la planificación de su clausura y eventual cierre, debido a razones económicas, por lo que presentó el estudio de impacto ambiental para el cierre definitivo y su desmantelamiento en otoño de 2013. La primera opción para la gestión del combustible gastado es devolver el combustible a los Estados Unidos. Otra de las opciones que barajan pasa por su almacenamiento temporal y posterior disposición en las instalaciones de almacenamiento definitivo de combustible gastado en Olkiluoto, pero esto requeriría que la nueva instalación tuviera los permisos necesarios para la aceptación de combustible gastado de reactores de investigación.

En relación a las centrales nucleares, el plan de desmantelamiento de la central nuclear de Loviisa se basa en una estrategia de desmantelamiento inmediato, mientras que, para la central nuclear de Olkiluoto se prevé una estrategia diferida, con un período de almacenamiento seguro de unos 30 años antes del desmantelamiento efectivo. Según los planes, los residuos de desmantelamiento se dispondrán de modo similar a los residuos de operación, en los emplazamientos subterráneos de las propias centrales nucleares. Los componentes activados, generados en la operación de los reactores, también podrán gestionarse en estos repositorios. ■



© MNCA- J. Vázquez

Desde que se creó el museo, las aperturas al público han estado condicionadas al control del estado de conservación de la cueva que hace el Museo.

JOSÉ ANTONIO LASHERAS, DIRECTOR DEL MUSEO NACIONAL Y CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ALTAMIRA

## “QUEDA MUCHO POR HACER Y POR SABER EN ALTAMIRA”

Después de 13 años cerrada al público, se han retomado las visitas a la cueva original de Altamira. Nuevas investigaciones han permitido llegar a la conclusión de que el impacto de la entrada de cinco personas un día a la semana es casi inapreciable. Y, en ese contexto, el Patronato del Museo ha decidido reemprenderlas para poder disfrutar de la que está considerada, en su conjunto, como la obra maestra más representativa del primer arte de la humanidad. Una de las más espectaculares cuevas del mundo con obras del paleolítico —de hace entre 13.000 y más de 36.000 años— y una de las más interesantes por las técnicas empleadas, los temas y estilos usados.

Texto: **GERMÁN HESLES**

**J**osé Antonio Lasheras es arqueólogo y conservador de Museos del Estado. Desde 1992 dirige el Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira, del que forma parte la cueva de Altamira, inscrita en la Lista de Patrimonio Mundial en 1985. Lasheras es también el autor y director del proyecto de reproducción facsímil de Altamira y del proyecto museológico de esta institución.

### **Altamira no es sólo la cueva y sus reconocidas pinturas de bisontes...**

Conocer Altamira recorriendo la neocueva y las otras salas del museo permite apreciar la más bella prehistoria de un modo amable y sorprendente y, lo más importante, acercarnos a quienes protagonizaron aquel tiempo a través de sus objetos, de cómo los fabricaron y los usaron. Saber cómo era su vida cotidiana o comprender que el arte es el residuo fósil de sus ideas y pensamientos más importantes. En el museo, el visitante descubre que tenemos sus imágenes, sus iconos, pero que nos falta su código, sus palabras, para poder entender plenamente aquel arte, aquellas figuras de animales y aquellos signos abstractos. También es posible practicar alguna técnica paleolítica en los talleres del museo, como la caza con propulsor, la pintura con spray paleolítico –sí, ¡claro que los había! –, la obtención de fuego golpeando piedras o frotando palos... En fin, Altamira es una grata jornada de conocimiento y disfrute cultural para todos.

### **¿Por qué se decide el cierre al público de la cueva en 2002?**

En enero de 2002, vimos manchas verdes en el techo de los bisontes

policromos por la proliferación de algas, algo no observado antes en Altamira. La proliferación de microorganismos –algas, hongos y bacterias– era uno de los mayores riesgos que reconocimos en 1992, y habíamos implementado su estudio a partir de ese año. Al verlas entre los bisontes, propusimos el cierre como medida preventiva de aplicación inmediata. El entonces director general de Bellas Artes lo asumió y se suspendió el régimen de visitas públicas controladas que se había establecido en 1982. Además, era el momento adecuado para revisar los parámetros ambientales de la cueva sin la perturbación de las visitas, y promovimos por ello un convenio para que la Dirección General de Bellas Artes contratara al Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC y completar así, a cueva cerrada, el estudio realizado entre 1993 y 1998 con la cueva abierta a la visita.

### **¿En qué consiste el plan integral para la conservación de la cueva?**

La conservación es parte de la misión fundamental del Museo desde que en 1978, la cueva pasó a ser propiedad del Ministerio de Cultura, que creó el Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira para su gestión directa.. En 2012, la Secretaría de Estado de Cultura, dependiente del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, propuso al Patronato del Museo de Altamira un programa de investigación para la conservación preventiva y la accesibilidad, que lideró el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE), del mismo Ministerio. En 2014, concluyó este estudio con un plan. Este plan integral recoge, de una manera metódica, las medidas preventivas adoptadas por el museo, incorpora la enu-

meración y análisis de todos los riesgos posibles que pueden afectar a la conservación de la cueva y su arte paleolítico y establece protocolos de actuación para diversas circunstancias previsibles.

### **¿Qué ha cambiado para que se permitan visitas, aunque sean muy limitadas y bajo un riguroso control?**

En 2010, entre las conclusiones del informe final del CSIC se proponía mantener el máximo aislamiento de la cueva como estrategia de conservación y, por tanto, que Altamira siguiera sin visitas públicas. Esto fue prácticamente lo único del trabajo de investigación realizado que los responsables políticos y los medios de comunicación –sobre todo regionales– trasladaron a los ciudadanos. El Ministerio decidió mantener la cueva cerrada a las visitas y complementar con una nueva investigación los estudios culminados entonces. En 2014, al acabar ese estudio englobado dentro del Programa de investigación para la conservación preventiva y la accesibilidad, se ha concluido que el impacto de estos visitantes es casi inapreciable, o que es mínimo y, mediando el acuerdo del Patronato del Museo, es posible realizar visitas de cinco personas un día a la semana.

### **Cuando se habla de ciencia se piensa, aunque no tenga porqué ser así, en datos cuantificables, en algo que roza lo exacto. En el caso de los estudios sobre Altamira ¿se han obtenido resultados distintos o se trata de los mismos, pero lo que ocurre es que hay diversas valoraciones?**

En las conclusiones del Programa de investigación para la conservación preventiva y la accesibilidad, finalizado en

## La mayor parte de las técnicas, los temas y estilos del Arte de las Cavernas están presentes en Altamira. Es, en conjunto, la obra maestra más representativa del primer arte de la humanidad

2014, se confirma explícitamente lo que ya se sabía por los trabajos anteriores y, en lo esencial, no hay resultados opuestos, ni siquiera distintos. Sí que hay criterios y valoración diferentes de los mismos datos, de los riesgos y de los daños conocidos entre el equipo del CSIC, que trabajó hasta 2012 y proponía continuar el cierre, y el equipo del Programa desarrollado entre 2012 y 2014, que considera compatible con la conservación este régimen de visita de cinco personas un día a la semana.

### ¿Qué tipos de estudios se han hecho centrados en la conservación de las pinturas?

Tanto el programa de investigación, realizado entre 2012 y 2014, como el del CSIC, realizado anteriormente, se basan en el registro y estudio de los valores ambientales en la cueva durante al menos un ciclo anual: humedad, temperatura, composición del aire y del agua, aerosoles, fauna y flora microbiana... Esto se evalúa en relación con la conservación de las pinturas y se incorpora el cálculo o la medida del impacto negativo para la conservación que ocasiona la presencia de personas. Finalmente esto se integra en unas conclusiones a partir de las cuales se puede decidir las condiciones adecua-

das para la conservación de las pinturas.

### ¿Puede repetirse en Altamira el deterioro que sufrió Lascaux?

En Lascaux, en los últimos cincuenta años, ha habido varias crisis graves respecto a la conservación de sus impresionantes pinturas paleolíticas, pero no ha sucedido nada similar en Altamira. Cada cueva tiene circunstancias naturales e históricas que las hacen muy distintas entre sí y, aunque hay un fondo común respecto a los problemas de conservación del arte de las cavernas y a cómo afrontarlos, la experiencia de un caso no es siempre aplicable a otro, y mucho menos en términos absolutos. La experiencia de Lascaux, sus problemas, las medidas aplicadas, los aciertos y hasta algún posible error cometido, han servido de referencia para la conservación de Altamira, y viceversa.

### ¿Siempre está antes la conservación aunque no se pueda disfrutar de la obra?

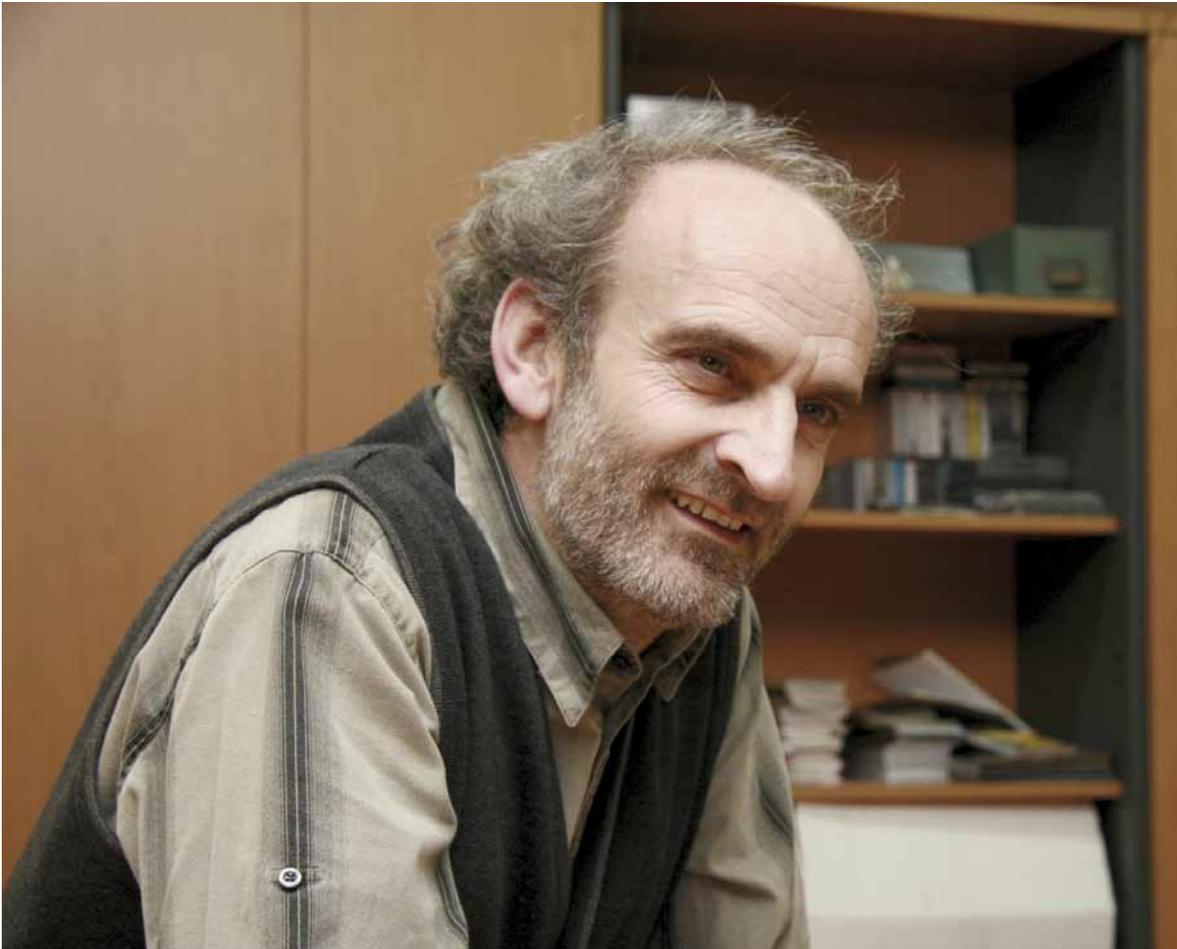
La ley del Patrimonio español afirma que su fin último es el acceso de los ciudadanos a la cultura y al patrimonio y, es evidente que no podemos acceder a lo que no se conserva: la conservación es imprescindible, es una condición sine qua non..., pero la finalidad

es el uso adecuado, sostenible, para deleite y educación. Acceso y conservación son vectores de dirección distinta, no contraria; son términos de una ecuación que debe resolverse desde la técnica y decidirse desde la técnica y la política.

### En un año, ¿cuántos visitantes disfrutarán de Altamira?

Cinco visitantes cada semana suponen 260 personas al año –turistas o no– visitando la cueva. A las instalaciones del Museo vienen 250.000 personas cada año; cerca de 40.000 son escolares; 200.000 personas son turistas que vienen de fuera de Cantabria; más de 36.000 son extranjeros. Se trata mayoritariamente de familias que vienen en su tiempo de ocio de visita a Cantabria. Por tanto puede afirmarse que la visita a la cueva de Altamira de un reducido número de personas no afecta a las visitas al museo ni al turismo de Cantabria.

Los estudios realizados por el Instituto de Ciencias del Patrimonio (INCIPIT-CSIC) en colaboración con economistas de la Universidad de Santiago calculan la aportación del Museo de Altamira al PIB regional en más de 30 millones de euros al año, y el impacto económico no cambiará debido a que algunos visitantes atraídos por el Museo de Altamira entren, además, a la cueva. El Museo de Altamira tiene una valoración excelente entre sus visitantes y resulta para ellos altamente satisfactorio y recomendable. El turismo cultural que atrae y recibe el museo no depende de la apertura de la cueva sino de las políticas de turismo en Cantabria y de la acción de sus agentes públicos y privados.



© Francisco Socorro

En 2014, concluyó el estudio con la enumeración y análisis de todos los riesgos posibles que pueden afectar a la conservación de la cueva y establece protocolos de actuación en circunstancias previsibles.

### ¿Cuál es la importancia de Altamira en el contexto europeo y mundial?

Fue el lugar donde se descubrió la existencia de un gran arte paleolítico, del primer arte de la humanidad en 1880. Además, 135 años después, ahora que conocemos más de 500 cuevas con arte paleolítico en Europa, resulta que Altamira es una de las más espectaculares junto con Lascaux, descubierta en 1941, y Chauvet, en 1994. Es única entre ellas y del máximo interés científico por contener obras que se realizaron hace entre 13.000 y más de

36.000 años: la mayor parte de las técnicas, de los temas y de los estilos del Arte de las Cavernas están presentes en Altamira. Es, en conjunto, la obra maestra más representativa del primer arte de la humanidad.

### ¿Queda algo por saber, por estudiar de Altamira?

Las últimas excavaciones que realizamos permitieron conocer la existencia de ocupaciones de la cueva muy anteriores a las ya conocidas. Los estudios que estamos realizando y la aplicación de las nuevas tecnologías al servicio

de la investigación arqueológica nos han informado mejor de la secuencia cronológica de la formación de ese palimpsesto artístico y de su antigüedad: más de 36.000 años, en los comienzos del arte en Europa. Ahora analizamos los pigmentos del techo y los hallados en las excavaciones. Con ello esperamos relacionar unos con otros, completar la cronología y la secuencia cultural de cada conjunto de figuras y signos. Vamos a precisar qué se grabó, dibujó y pintó en Altamira a lo largo de los más de 20.000 años en que el arte se acumuló en ella ... Queda mucho por hacer y por saber. ■

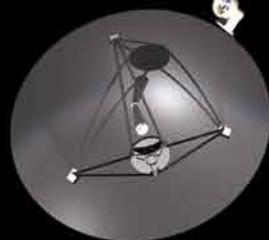
POR PRIMERA VEZ UNA SONDA ESPACIAL ORBITA UN COMETA Y HACE DESCENDER UN MÓDULO HASTA SU SUPERFICIE

# MISIÓN ROSETTA: DESCIFRAR EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

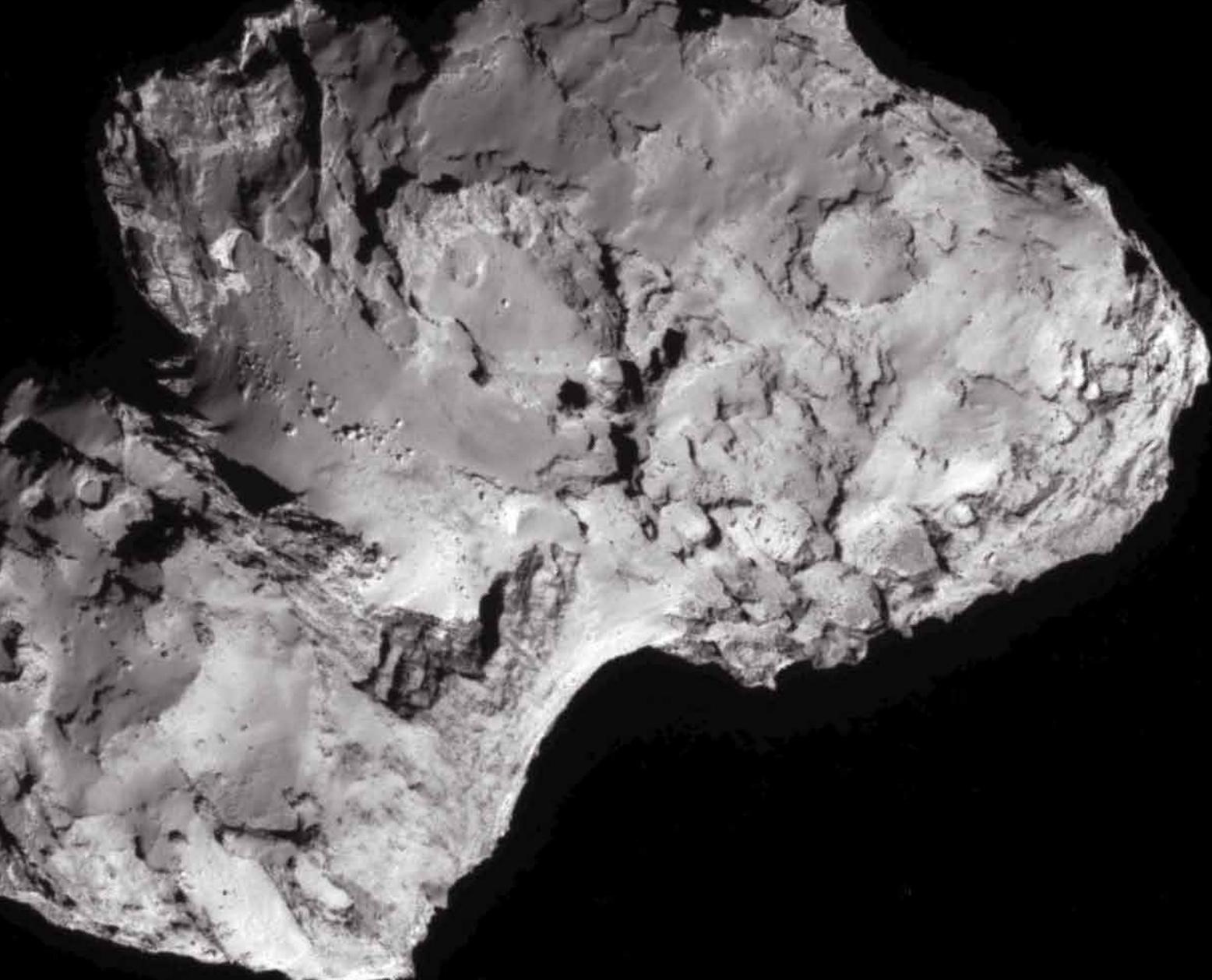
Casi diez años después de su lanzamiento y tras 6.000 millones de kilómetros recorridos, la nave Rosetta llegó a su destino para orbitar a unos 20 kilómetros del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko y hacer descender hasta su superficie al módulo Philae. Con esta iniciativa, la Agencia Espacial Europea pretende que se conozca mejor cómo era el sistema solar en sus orígenes, con la información que ha recogido y recogerá de este cuerpo celeste que se mantiene casi inalterable desde hace miles de millones de años. La sonda prosigue su viaje...

Texto: **BRUNO DÍAZ**

Fotos: **AGENCIA ESPACIAL EUROPEA**



El módulo Philae de la misión Rosetta en la operación de descenso al cometa 67P.



**C**onociendo el pasado, podemos conocernos mejor. De ahí la importancia de las excavaciones arqueológicas, de las cápsulas del tiempo –de las que ya hay constancia en los primeros asentamientos mesopotámicos– o de los cometas estelares. Sí, incluso de estos cuerpos celestes, ya que en su núcleo y su superficie transportan materiales de la época en la que se formaron el Sol y los planetas. Es decir, información de hace 4.600 millones de años que posibilitará hacer una instantánea de los orígenes del sistema solar. Junto a ello, saber qué parte de la composición del agua de los océanos proviene de los cometas o si una serie de moléculas que permitieron dar

lugar a la vida en nuestro planeta fueron pasajeras de estos ‘mensajeros espaciales’.

“Los cometas se han formado lejos del Sol y su parte helada permanece casi inalterable al no derretirse a la misma velocidad que la de los asteroides, ya que estos otros cuerpos celestes están más expuestos. En estas circunstancias, la composición del cometa, pequeños cuerpos que se le han ido acumulando atraídos por la gravedad, como polvo o material rocoso, se encuentra también casi en el mismo estado que cuando se creó. Por tanto, el que se hayan mantenido así, hace de los cometas perfectos mensajeros del pasado al ofrecer información de los elementos que formaron los planetas”, explica Michael Kueppers, coordinador de Operaciones Científicas de la Misión Rosetta.

### ¿CÓMO EMPEZÓ LA MISIÓN?

Ante la posibilidad de llevar a cabo este ‘viaje al pasado’, los científicos adscritos a la Agencia Espacial Europea se propusieron hace más de una década ‘abrir’ una de esas cápsulas del tiempo, concretamente la del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, para, a través del análisis de los elementos que lleva consigo, saber cómo empezó todo, cómo comenzó la vida en nuestro planeta Tierra.

El viaje, y no sólo por la distancia física, ha sido largo. Hubo un primer retraso por la explosión de un cohete Ariane, justo del tipo que iba a transportar a la nave, que hizo aplazar la misión un año y cambiar de destino: el primer objetivo que se había fijado fue el

## Se han detectado compuestos orgánicos –moléculas precursoras de proteínas, azúcares o ADN– que están considerados fundamentales para la constitución de organismos vivos

cometa Wirtanen, a 800 millones de kilómetros de distancia, y al que se debía llegar en 2011. En 2004, hubo un primer intento de lanzamiento, pero un fallo técnico en el cohete hizo abortar el despegue. Dos días después, el 2 de marzo de 2004, por fin se logró lanzar Rosetta desde el Puerto Espacial Europeo en Kourou, en la Guayana Francesa. El viaje se inició tras separarse con éxito del Ariane 5 y estar completamente preparado para navegar usando el impulso gravitatorio de varios planetas o

sus paneles solares de 32 metros de longitud. En 2007 se acercó a unos 230 kilómetros de Marte. En 2008 sobrevoló el asteroide 2867 Steins y tomó una serie de fotografías. En 2010 pasó cerca de Lutetia, uno de los mayores cuerpos del cinturón de asteroides situado entre Marte y Júpiter, y que, tras la información enviada por Rosetta, se determinó que podía ser algo más, un objeto precursor de un planeta. En 2011 debió quedar en estado de hibernación, ya que viajaba demasiado lejos del Sol para obtener la energía

suficiente y así mantener activos todos sus sistemas. Treinta y un meses después volvió a ser activada. En 2014, la sonda ‘despertó’ y se comprobó que había sobrevivido a la hibernación. En marzo de ese mismo año, tomó a distancia las primeras imágenes del cometa al que se dirigía.

Ya en el radio de acción del 67P, el 12 de noviembre de 2014 llegó el momento más esperado: el módulo Philae se posó sobre la superficie del cometa y con ello se consiguió uno de los mayores éxitos de Rosetta, la misión espacial europea en la que se han invertido 1.400 millones de euros: se trataba de la primera vez que se había logrado hacer descender un aparato hasta el núcleo de este tipo de cuerpo celeste manteniéndose en contacto con la sonda madre que orbitaba alrededor del mismo. El segundo gran logro, y el máspreciado, la información obtenida desde ambos aparatos, tanto imágenes



Desde el centro de control de la ESA, en Darmstadt (Alemania), se controla a ambos aparatos y se recibe la información que la sonda envía..

en alta resolución como la toma directa de muestras.

Un ejemplo más de los grandes hitos de los que es capaz el ser humano. Y eso, a pesar del inevitable 'desfase' tecnológico. Han transcurrido prácticamente diez años desde el inicio del viaje hasta la llegada de la nave al cometa y, en este tiempo, la tecnología ha cambiado y sus capacidades se han ampliado de forma notable, aunque básicamente se haya contado con la instrumentación que se requería para la misión. "La mayoría de la tecnología es de los años noventa. Pero esta situación es inevitable, el tiempo de llegada de la nave a su destino es el que es. Ojalá pudiéramos contar con ordenadores más modernos o que no necesitásemos las cámaras que se usan para la navegación de la nave, las que envían fotografías a la Tierra, para desde aquí analizarlas y corregir el rumbo de Rosetta en función de donde se encuentre el cometa. Hoy en día la tecnología ya permitiría que la navegación se llevase a cabo desde el satélite y que no hubiese retrasos en la reacción al operar, que lo hiciese todo Rosetta de forma autónoma. Pero, lo dicho, es algo inevitable", dice Kueppers.

### EL 'DUERMEVELA' DE PHILAE

Uno de los momentos cruciales de la misión fue el descenso y anclaje a la superficie del cometa

### Instrumentos del orbitador y qué analizan

- Alice: análisis de gases de la coma y la cola; y medición de cantidad de agua, monóxido y dióxido de carbono.
- Concert: exámen de reflexión y difracción de ondas de radio que atraviesan el núcleo del cometa para conocer la estructura interior
- Cosima: concreción sobre si el polvo expulsado por el cometa es un compuesto orgánico o inorgánico mediante un espectrómetro de masa.
- Giada: medición de las velocidades y masas de los granos de polvo
- Midas: determinación de la cantidad, tamaño, volumen y forma de los granos de polvo mediante un microscopio de fuerza atómica.
- Miro: análisis de los gases principales, la desgasificación del núcleo y la temperatura por debajo de la superficie del cometa, así como del vapor a través de las marcas de microondas.
- Osiris: cartografía de la superficie mediante cámaras de alta resolución.
- Rosina: determinación de la composición de la atmósfera y la velocidad de partículas cargadas a través de dos espectrómetros.
- RPC: análisis de las propiedades físicas del núcleo y la estructura de la coma por medio de sensores.
- RSI: medición de la masa y la gravedad del núcleo mediante frecuencias de radio y deducción de la densidad y estructura interna del núcleo.
- Virtis: anotación de la temperatura de la superficie por medio de un espectrómetro.

del módulo Philae. La operación requería una precisión extrema y no salió tal como estaba prevista, ya que no se logró que se posase en la zona señalada –rebotó hasta dos veces en la superficie porque no se dispararon los arpones para fijarlo y acabó en otro punto– y

con la mala fortuna de quedar en sombra junto a paredes rocosas. Tampoco la posición en que quedó estuvo de su lado, ya que una de sus tres patas no permaneció apoyada en el suelo e impidió otorgarle la estabilidad prevista. Aún así, los responsables de la



## Instrumentos del módulo de aterrizaje y qué analizan

- APXS: espectrómetro de rayos X y alfa para obtener información general de la composición del cometa.
- Çiva: cámaras que captan imágenes panorámicas.
- Concert: aparato que usa la reflexión y difracción de ondas de radio que atraviesan el núcleo del cometa para conocer la estructura interior.
- Cosac: analizador de gas que detecta e identifica moléculas orgánicas complejas.
- Ptolemy: analizador de gas que mide con precisión la cantidad de isótopos en partículas ligeras.
- Mupus: sensores que miden densidad y propiedades térmicas y mecánicas de la superficie.
- Rolis: cámara de alta resolución para imágenes del descenso al cometa y para imágenes estereoscópicas de la superficie
- Romap: magnetómetro para estudiar el magnetismo del cuerpo celeste y del que se genera por el viento solar.
- SD2: taladro que perfora hasta 20 centímetros y que recoge el material que extrae.
- Sesame: instrumentos que miden la forma en que se transmite el sonido, las características eléctricas y la caída del polvo.

ESA decidieron activar el perforador para hacer un agujero en el suelo –de un máximo de 25 centímetros– e intentar tomar muestras para que el mismo módulo las analizase.

De cualquier modo, en absoluto se le puede restar mérito a la maniobra teniendo en cuenta el contexto y los márgenes con los que se contaba. Navegando en paralelo al cometa, y a una velocidad de 135.000 kilómetros por hora, la sonda tuvo que soltar el módulo para que, tras siete horas de descenso, aterrizase en un punto muy concreto. Ahí es nada...

Y con todo, Philae permaneció operativo, funcionando perfectamente en condiciones muy duras, 35 grados bajo cero, durante aproximadamente sesenta horas. Tiempo valioso que le permitió transmitir gran cantidad de información sobre la composición del cometa. Uno de sus instrumentos, el denominado Cosac, analizó el polvo que se levantó al impactar con 67P. Los primeros resultados obtenidos ya se están publicando. Se han detectado, por ejemplo, compuestos orgánicos –moléculas precursoras de proteínas, azúcares o ADN– que están considerados fundamentales para la constitución de organismos vivos. Noticia que ha alegrado a los defensores de la teoría que afirma que los componentes de



## El satélite va a seguir acompañando al cometa en su viaje y tomando fotos en alta resolución de los chorros de polvo y gases que surgen de su núcleo

vida de la Tierra llegaron a ésta en un cometa hace más de 3.800 millones de años. Por su parte, el instrumento Ptolemy ha detectado una macromolécula orgánica compuesta por carbono, hidrógeno y oxígeno. También otra posible 'semilla' a partir de la cual se originó la vida.

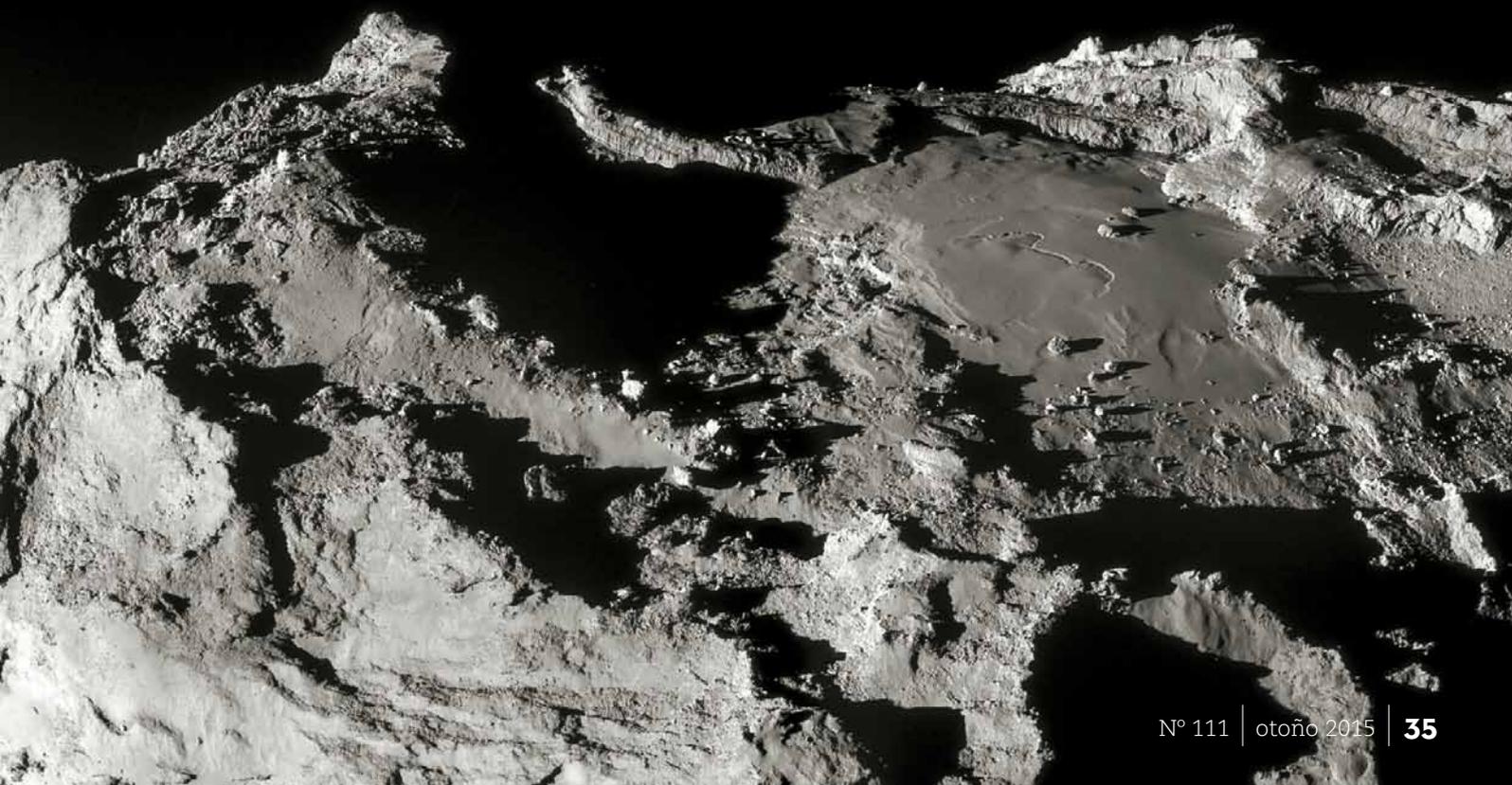
“Respecto a si el agua de los océanos llegó gracias a los cometas, hemos medido la sección del agua que está derretida, es decir, la parte de hidrógeno que tiene un protón, y resulta que esta proporción en el cometa vi-

sitado por Rosetta es más grande, tres o cuatro veces, que respecto a lo que ocurre en la Tierra. De modo que en este cometa en concreto no parece que el agua oceánica provenga de él, pero sí que es posible que otros hayan contribuido. Lo interesantes es que hemos podido medirlo. El cometa es de la misma familia dinámica que Júpiter y por tanto hemos verificado que los cometas de este tipo provienen de diferentes zonas del sistema solar. Y que las diferencias isotópicas significan distintos lugares del espacio”, comenta el coordinador

de Operaciones Científicas de la Misión Rosetta.

“Estamos muy satisfechos con toda la misión. Disponemos de muchos datos, y muchos resultados se obtendrán según los vayamos analizando. Tal ha sido el éxito, que la Agencia Europea, aunque no tiene en su programa emprender una misión similar, activará otras misiones para investigar Mercurio o las Lunas de Júpiter. Incluso, en colaboración con la Nasa, la deflexión, o cambio de dirección, de un asteroide en caso de que pudiera estrellarse con la Tierra. El objetivo es saber con cuánto tiempo se contaría para poder desviar su trayectoria. Esta tecnología se va a probar con el impacto en una luna de un asteroide”, dice Kueppers.

Volviendo al momento en el que terminó la recogida de datos por parte de Philae, el módulo pasó a fase de hibernación, ya que al quedar ubicado en una zona en



## Las claves del cometa 67P

- Fue descubierto por el astrónomo Klim Churyumov en 1969 al observar una imagen de la fotografía Svetlana Gerasimenko, tomada en el observatorio de Almaty, en Kazajistán.
- El número 67 proviene de la circunstancia de ser el cometa número 67 que se había localizado.
- Tiene un diámetro de cuatro kilómetros en su zona más grande.
- Posee una masa de cerca de 10.000 millones de toneladas.
- Su densidad es de 400 kilogramos por metro cúbico
- Es poroso en un 80% de su interior.
- Se acerca al Sol cada seis años y medio.

‘sombra’, no tenía posibilidad de recargar sus baterías solares. Eso sí, siete meses después, aunque durante apenas un minuto y medio, Philae ‘despertó’ y se comunicó con la sonda gracias a que 67P se iba acercando al Sol y pudo recargar parte de la energía. Y tiempo suficiente también para que desde el centro de control de la ESA en Darmstadt (Alemania) verificasen que el aparato se encontraba en buenas condiciones. Sin embargo, el 13 de agosto, momento en el que el cometa alcanzó el perihelio, su punto orbital más cercano al Sol, el módulo permaneció en silencio. Los científicos apuntan a que Philae hubiera podido desplazarse de sitio y que alguna de las antenas para la transmisión y recepción de datos haya quedado obstruida. De modo que no se sabe si ha podido capturar y analizar el polvo o el vapor que se habrá desprendido al derretirse el hielo al estar a tan sólo 186 millones de kilómetros del Sol.

### ¿EL SIGUIENTE PASO?

El satélite va a seguir acompañando al cometa en su viaje y

tomando fotos en alta resolución de los chorros de polvo y gases que surgen del núcleo. Mientras se ha ido acercando al Sol, algunas mediciones sugieren que 67P estuvo arrojando hasta 300 kg de vapor de agua –la capacidad de dos bañeras llenas– cada segundo. Mil veces más de lo que se detectó cuando Rosetta se aproximó por primera vez al cometa, unos 300 g por segundo, como dos pequeños vasos de agua. Respecto al polvo, sigue expulsando unos 1.000 kg. Lo que, sumado al vapor, está dificultando la operatividad de Rosetta. Sylvain Lodiot, jefe de Operaciones de la nave, ha confirmado recientemente que se ha debido alejar a la sonda: “En la actualidad la nave está a una distancia de entre 325 y 340 km, en una zona donde sus instrumentos pueden operar sin que un exceso de polvo la confunda e impida que se posicione correctamente en el espacio”.

En cualquier caso, todavía no se ha decidido cómo acabar la misión. “Queremos que se extienda hasta finales de septiembre de 2016, cuando esté muy lejos del Sol pero le quede energía para operar. Una opción sería tratar de aterrizar el propio satélite en el núcleo del cometa. Aunque hay que tener en cuenta que Rosetta no está diseñada como módulo de aterrizaje. Si se hiciese así, lo más valioso que se podrá obtener son las imágenes en alta resolución que tomaría el propio satélite mientras se aproxime al cometa. Lo que no sabemos es si será posible seguir recibiendo información de los instrumentos una vez haya aterrizado”, explica Michael Kueppers. Por ahora, Rosetta seguirá dando algo de luz a uno de los grandes misterios: el origen de la vida. ■



## NUEVA CAMPAÑA DE LA ACEITUNA EN LAS NAVAS

En el término de Las Navas hay unas 1.600 hectáreas de olivares y es en estos días cuando dará comienzo la nueva campaña de recogida de la aceituna en la que se prevé que se recogerán en torno a 1,5 y 2 millones de kilos.

Pág. 41



© Horacio D. Roldán

## HORNO DON ROLDÁN: EN BUSCA DEL PAN PERFECTO

Desde que comenzó su actividad en los ochenta, la familia que regenta Horno Don Roldán ha sabido combinar tradición e innovación en su búsqueda del pan de calidad.

Pág. 42



© Diput. de Córdoba

## RENOVADO MERCADO DE PEÑARROYA-PUEBLO NUEVO

El presidente de la Diputación de Córdoba, Antonio Ruiz, fue el encargado de inaugurar el remozado mercado de abastos, edificio que ha sido sometido a un proceso de integral de rehabilitación.

Pág. 44

# SIERRA ALBARRANA

## El Cabril y su entorno



© Museo Geológico-Minero

## PASADO Y PRESENTE DE LA YUTERA

Con una cubierta sostenida por vigas de hierro remachadas al estilo Eiffel, un tejado con forma de dientes de sierra y acristalado en parte, y unos muros con arcos de medio punto, La Yutera es un hito arquitectónico de finales del siglo XIX. Ahora este edificio histórico es sede, entre otras instituciones, del Museo Geológico-Minero.

Pág. 38

Parte restaurada  
del edificio de La  
Yutera.

UNO DE LOS MÁXIMOS EXPONENTES DE LA ARQUITECTURA  
INDUSTRIAL DE PEÑARROYA-PUEBLONUEVO

# PASADO Y PRESENTE DE LA YUTERA

Con una cubierta sostenida por vigas de hierro remachadas al estilo Eiffel, un tejado con forma de dientes de sierra y acristalado en parte, y unos muros con arcos de medio punto, La Yutera es un hito arquitectónico de finales del siglo XIX. Tras décadas de función fabril, ahora este edificio histórico es un centro para diversas actividades culturales y sociales.

Texto: **BELÉN HIGUERAS**

**E**nclavado en el valle del Guadiato, Peñarroya-Pueblonuevo es un municipio marcado históricamente por la explotación minera. La historia del edificio La Yutera comienza en 1914, cuando el grupo capitalista francés Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya (SMMP), a través de su filial Sociedad Española de Tejidos Industriales, puso en marcha su construcción. Justo en un momento en el que se desencadenaba en Europa la primera Guerra Mundial y se iniciaba el proyecto de expansión industrial de Peñarroya, con el desarrollo del segundo cerco industrial.

La Yutera, de planta casi cuadrada, consta de una superficie cercana a los 10.000 metros cuadrados y sus muros perimetrales están formados por arcos de medio punto pareados que descansan sobre columnas prismáticas. El tejado se asemeja a los dientes de una sierra, con uno de sus lados triangulares, y está acristalado parcialmente para permitir la mejor iluminación posible de las naves interiores.

La cubierta está sostenida por grandes vigas de hierro remachadas empleando el sistema Eiffel.

“El primer cerco industrial data de finales del siglo XIX y se dedicó casi en exclusiva a la fabricación de productos químicos”, apunta Jerónimo López Mohedano, cronista oficial de Peñarroya-Pueblonuevo. Ambos complejos industriales conectaron al ferrocarril con el fin de que la entrada y salida de las mercancías fueran lo más fluidas e independientes posibles. La existencia de este primer cerco propició que los responsables de La Yutera aprovecharan la coyuntura para contra-



Una de las naves sirve de sede al museo Geológico Minero de Peñarroya-Pueblonuevo.

© Museo Geológico-Minero

tar a 1.300 mujeres procedentes de la comarca como hiladoras, urdidoras, maquinistas, cortadoras, marcadoras, canilleras o tejedoras para la fabricación casi en exclusiva de sacos de yute (de ahí el nombre de este emblemático edificio), que servirían de envase para los abonos orgánicos que llegaban de la sección de superfosfatos de la cercana Fábrica de Productos Químicos.

### RIQUEZA MINERA

“La mayoría de las industrias de la zona surgen por iniciativa de la SMMP, sociedad francesa instalada en estos pagos en 1881, para continuar la explotación de la riqueza minera del Valle del Guadiato, iniciada por sus compatriotas unas décadas antes, trayendo la tan necesaria revolución industrial que convertiría este enclave cordobés en una de las puntas de lanzas del progreso, no sólo de la provincia, sino de la propia Andalucía”, explica Jerónimo López.

De manera paralela a La Yutera, también comienza a funcionar la

industria papelera en Peñarroya, propiedad de la misma sociedad parisina. “Con ambas fábricas,

### Instituto Geológico Minero

Silvia Carrasco, técnico municipal, destaca el amplio programa educativo del Instituto Geológico, gracias a las numerosas conferencias que se imparten, a los talleres, visitas guiadas, al propio taller y a los itinerarios geológicos.

De hecho, el Instituto Geológico Minero guarda más de 1.000 minerales de todo el mundo y además útiles de prospección, modelos cristalográficos, maquetas, una colección de sistemática mineral, una colección de rocas, de fósiles y de minerales de España y de todas las provincias andaluzas, entre otras riquezas naturales.

## La Escuela de Arqueología Industrial restauró las naves de La Yutera, que ahora sirven de sede de Expo-Guadiato y del Centro de Poesía Visual

los franceses desarrollaron su filosofía de autosuficiencia en el aprovechamiento global de los recursos de la zona, es decir, la riqueza agroforestal de La Garganta, situada junto a las explotaciones plumbíferas de El Horcajo (Ciudad Real), a 100 kilómetros de distancia”, añade el cronista peñarriblense.

La actividad de ambas empresas se vio acuciada por dificultades económicas y los propietarios decidieron enajenarlas en la década de los años veinte. “Fueron a parar a la Papelera del Sur C.A. y a La Yutera Española S.A”, indica Jerónimo López Mohedano. La Guerra Civil no obstaculizó la producción de ambas compañías. Los mayores problemas vinieron durante la postguerra,

ya que la falta de materias primas y de material de transporte ferroviario supuso el germen de una crisis que se extendió hasta mediados de los sesenta, momento en el que “el consejo de Administración presentó un expediente para despedir a los 260 productores que tenía en la época, a pesar de fabricar 30 toneladas diarias de papel, bolsas y cartón ondulado. La Yutera, que desde hacía unos años parecía estar siempre a punto de cerrar, resistió hasta los primeros años setenta con su casi centenar de trabajadores”.

Su producción se situaba por entonces en 1.900 toneladas anuales de sacos de esparto, yute y papel. Desde entonces, La Yutera ha pasado del abandono a ser el



Estado que presentaba el edificio antes de someterlo al proceso de rehabilitación.

### Centro Nacional de Poesía Visual

Este centro, único en España, ha cumplido recientemente diez años de actividades. Su director, Antonio Monteroso, destaca que es un centro de documentación que recoge más de 800 ejemplares sobre teoría de poesía experimental y más de 1.200 obras de poesía visual, tanto originales como reproducciones electrónicas. Asimismo, el Centro Nacional de Poesía Visual edita dos revistas. La primera, de carácter trimestral, con la cabecera de L'Eiffel Terrible y otra ensamblada denominada Grisú. Todo este dinamismo ha permitido que el Centro se haya consolidado en el ámbito de la poesía experimental en Europa e iberoamérica y está previsto en 2016 el sexto encuentro basado, en esta edición, en la Performance.

escenario de varias iniciativas empresariales. Finalmente, la Escuela de Arqueología Industrial llevó a cabo la restauración de varias naves de la Yutera y éstas se han convertido en sede de la propia Escuela, de las muestras anuales de Expo-Guadiato, del museo Geológico Minero de Peñarroya-Pueblonuevo, de las oficinas de la Mancomunidad de Municipios Valle del Guadiato y del Centro de Poesía Visual.

Tras un siglo de vida, La Yutera se ha erigido como un símbolo de Peñarroya-Pueblonuevo porque ha supuesto el esplendor, la caída y la recuperación, no sólo de una industria poderosa, sino de todo un pueblo que ha sabido adecuarse a los tiempos y superar las adversidades. ■



El 80% de las fincas de Las Navas tienen carácter familiar, lo que ha facilitado también que se continúe cosechando a mano.

## EL AYUNTAMIENTO MANTIENE ABIERTA LA 'GUARDERÍA TEMPORERA'

# NUEVA CAMPAÑA DE LA ACEITUNA EN LAS NAVAS

El olivar y la dehesa conforman el paisaje natural de Las Navas de la Concepción, y constituyen la base fundamental de su economía. Hasta 1.600 hectáreas del término están dedicadas al olivo. En estos días, todo está preparado para que de comienzo la nueva campaña en la que se prevé que se recojan en torno a los 2 millones de kilos de aceitunas, que se molturarán para convertirse en aceite de alta calidad.

Texto: **CARLOS ALBORNOZ**

Quien más y quien menos tendrá en Las Navas entre un mes o mes y medio de trabajo en los olivares. Y es que, aproximadamente el 80% de las fincas de la comarca tienen carácter familiar, lo que ha facilitado que se continúe cosechando a mano. Como señala Roberto Carrizosa, presidente de la Cooperativa Virgen de Belén, "el laboreo tradicional ha propiciado que estas

prácticas, transmitidas de padres a hijos, hayan sido, aunque no las más rentables, sí las más respetuosas, proporcionando a su vez un aceite de alta calidad sin ninguna traza debida a abonos o productos fito-sanitarios".

Es sobre todo en las fincas en las que se produce más intensivamente, que ocupan 600 hectáreas aproximadamente de este térmi-

no municipal, donde se recurre a cuadrillas de asalariados por cuenta ajena de la comarca. De cara a facilitar a las familias con madres trabajadoras el cuidado de los pequeños durante las horas de trabajo, el Ayuntamiento de Las Navas de la Concepción mantiene abierta durante la campaña la 'Guardería Temporera'.

Para esta campaña en principio no está previsto que se contraten temporeros de fuera. En las últimos años, como consecuencia de las malas cosechas y del abandono de la actividad en algunas fincas, el balance del sector en empleo y producción en la comarca se ha visto reducido. Prueba de ello la aceituna recogida en las últimas campañas. Así, de los tres millones de kilos del año 2000 que entraron en la Cooperativa Virgen del Belén para molturarse y convertirse en aceite se ha pasado a los 600.000 de media en la actualidad. No obstante, las previsiones para esta campaña permiten ser optimistas ya que se calcula que podrían alcanzarse los dos millones de kilos de aceitunas recogidas. A partir de ahí se producirán entre 320 y 350.000 litros de aceite aproximadamente, de los que un 25% se venderán como aceite envasado y el resto a granel.

"La falta de oportunidades laborales y de relevo generacional han propiciado que el campo se haya ido abandonando. Nuestros jóvenes, marchan fuera en busca de un trabajo menos estacional, si bien desde la Cooperativa, en colaboración con el Ayuntamiento de Las Navas, estamos lanzando un proyecto para abordar este problema e intentar una reactivación del sector", afirma Roberto Carrizosa. ■



Una de las creaciones del Horno Don Roldán, y José Roldán con su postre premiado inspirado en 'El circo del sol'.

HA OBTENIDO EL QUINTO PUESTO EN LA FERIA INTERNACIONAL DE PASTELERÍA DE MUNICH

## HORNO DON ROLDÁN: EN BUSCA DEL PAN PERFECTO

Una mirada artesana y la ambición por crecer de la mano de la investigación y la ciencia hacen de Horno Don Roldán una empresa singular y dinámica, que no se queda detenida en el tiempo pero que recoge y mantiene del pasado lo mejor en la confección del pan y lo pone en el centro de la gastronomía. Es tiempo de innovación y de éxito para una familia artesana que a finales de la década de los ochenta emprende el apasionado camino en busca del pan perfecto -ese que aúna calidad, sabor y salud- y de los más originales pasteles.

Texto: **NATIVIDAD GAVIRA**

**C**on la presentación de la pieza 'El circo del sol', y en representación de España, José Roldán logró, el pasado mes de septiembre en la ciudad alemana de Munich, el quinto puesto en una de las más prestigiosas ferias internacionales de pastelería. Este reconocimiento es un hito más en el buen hacer de este cordobés que pertenece a un negocio de larga tradición familiar abierto a la innovación y la investigación puestas al servicio de una nueva masa madre que parta de levaduras naturales.

En Horno Don Roldán trabajan desde hace dos años en una masa madre obtenida a partir del yogur mezclada con harinas. "La bacteria del yogur hace fermentar la harina y eso es totalmente natural", apunta José Roldán. Incluso en la actualidad, en colaboración con la Universidad de Córdoba, investigan con todas esas bacterias tan beneficiosas como particulares a la hora de otorgar sabor, aroma y textura al pan.

José Roldán es parte de una familia de tradición panadera. En su caso, la formación propia y su actividad docente lo convierten

en un especialista panadero que lo llevan a comienzos de siglo a ubicarse en Fuente Obejuna, donde la empresa conoce la dimensión actual con su producción panadera, de bollería y regañás. Hoy sus productos se distribuyen por buena parte del norte de la provincia, sur de Extremadura y en Córdoba. Un proceso de expansión lento, meditado y visto muy de cerca por el descendiente de José que, con su mismo nombre, hoy colabora con las grandes firmas de la alta cocina cordobesa. Es el valor joven de la dinastía que, afirma con modestia, "no haber trabajado nunca, sólo he jugado toda mi vida entre harina y azúcar".

### PASADO CON FUTURO

Roldán aboga por una mirada renovada al pasado: "Llevamos treinta años intentando recuperar la figura del panadero, ese que se levantaba de madrugada a refrescar su masa madre". Con este espíritu de conexión entre lo tradicional y lo nuevo, este empresario pretende, con la ayuda de la ciencia, llevar a cabo ese tipo de masa madre que recupere los orígenes del pan. Con el proceso de refresco a la levadura están desarrollando nuevas fermenta-

ciones que dan como resultado nuevos aromas y productos más naturales y saludables. Los avances en los medios de transporte juegan a favor de la innovación y atrás queda el uso exclusivo del trigo duro de cultivo extensivo y cercano para dar la bienvenida a otros cereales exóticos como la espelta o el camús.

La competencia empuja y el cliente es cada vez más exigente: "Por eso los artesanos estamos en la obligación de ofrecer un producto más específicos", apunta Roldán Triviño. En este cometido, la creatividad se une a una acertada visión estética. Así, por ejemplo, este empresario no ha dudado en crear su pan en maceta evocando el mayo cordobés. Una sugerencia gastronómica que ya le ha llevado a hacer presentaciones en los restaurantes más afamados de Córdoba.

Roldán ha participado recientemente en el Certamen Europeo de Panadería celebrado en Francia, donde ha presentado hasta seis variedades de pan y bollería, todo un reto para este profesional aunque tiene ya un palmarés rico en premios internacionales. Su padre fue campeón de España y Europa en 1996, y el relevo lo toma ahora su hijo José, que ya desde niño acompañaba a sus padres al extranjero y con sólo 17 años obtuvo su primer premio, para más tarde ser campeón de España o tener en su haber, por ejemplo, premios a la mejor masa de pizza.

Cada día, en Fuente Obejuna, quince profesionales hacen de 250 kilos de harina piezas de pan y bollería naturales, provistas de sabor de manos artesanas en un obrador abierto desde el amanecer. ■



Interior de una de las tiendas de Horno Don Roldán.

© Horno D. Roldán

## AZUAGA

CELEBRADA LA DÉCIMA EDICIÓN DEL FESTIVAL DE CORTOS 'EL MILAGRO'

**CHIQUI PANIAGUA: "EL CERTAMEN ESTÁ ENFOCADO A DEFENDER Y POTENCIAR LOS VALORES RURALES"**

Chiqui Paniagua, presidente de la Asociación Cultural Morgana.

tros podíamos enviar obras a festivales por qué no montar el nuestro propio, una iniciativa que supondría algo novedoso para la comarca y para Azuaga. Además, enfocado en una temática que defendiese y potenciase los valores rurales. ¡Y ya llevamos diez años!

**- ¿Cuáles han sido las mayores dificultades para impulsarlo?**

Afortunadamente hemos contado con el Ayuntamiento, que nos presta la instalación para celebrar la gala de clausura con la proyección de los cortos seleccionados y se hace cargo del primer premio, un fin de semana en una casa rural. En Morgana asumimos el segundo premio, una selección de productos ibéricos de la zona, y todos los gastos de mensajería que acarrea un festival de estas características.

**- Desde vuestra asociación también apostáis por otras disciplinas...**

Estamos federados en el Teatro de Extremadura y hacemos montajes por toda la región. También realizamos recreaciones históricas para rutas en la localidad. Incluso diseñamos escenografías y vestuario. ■

Cerca de doscientos cortos con temática de ámbito rural se presentaron a la última edición del festival *El Milagro*, quedando 'Ruprestre' y 'Mi primer beso' como ganadores en las categorías de Animación y Ficción, respectivamente. El certamen lo organiza la Asociación Cultural Morgana, cuyo presidente es Chiqui Paniagua:

**- ¿Cómo surgió la idea de organizar un festival?**

Todo parte del corto 'El Milagro', que hicimos en 2005, y que nos hizo plantearnos que si nosotros

## FUENTE OBEJUNA

**CELEBRADOS LOS TALLERES 'LÁNZATE Y EMPRENDE'**

Enmarcados en el proyecto 'Lánzate y Emprende', han tenido lugar recientemente los talleres que organiza el Centro de Apoyo al Desarrollo (CADE) y destinados a formar a todos aquellos con ganas de emprender. Clases eminentemente prácticas y centradas en dar las claves en asuntos como el coaching y la marca personal, el liderazgo y la motivación o la inteligencia emocional. ■

**ENCUENTRO DEL SECTOR AGROGANADERO**

Un año más se ha celebrado la Feria Agrícola y Ganadera (FAGA). Esta edición, la XXXIII ha contado con cerca de 400 ejemplares de ganado -323 de ovino y 30 de caballos- y 51 expositores repartidos en los 8.400 metros cuadrados del recinto ferial. Al evento acudieron cerca de 200 ganaderos y representantes de las más importantes asociaciones de ganadería FAGA contó también, junto con el Ayuntamiento de Fuente Obejuna, con el apoyo de la Diputación de Córdoba por valorar el gran potencial que tiene la zona del Valle de Guadiato en los segmentos agrícola y ganadero. Durante las jornadas, entre otras muchas más actividades, se celebraron subastas de ganado ovino y jornadas técnicas. ■

**RENOVACIÓN DE LA RED DE AGUA EN LA PARTE ALTA DE PEÑARROYA**

Los problemas de corte de agua que venían produciéndose desde hace años en la parte alta de Peñarroya, como consecuencia del aumento del consumo en la época veraniega, y por el deterioro de la red general de agua potable, no se repetirán. Para ello, el Ayuntamiento de Peñarroya-Pueblo Nuevo ha procedi-

do a la renovación de las bombas que llevan el agua al depósito por otra de mayores prestaciones, y se han sustituido los casi 100 metros de la red general de agua potable por tuberías de polietileno, ya que la anterior estaba prácticamente obturada. Las obras han finalizado con el hormigonado de la zanja abierta

por los operarios municipales desde la salida de las bombas del depósito elevado de la calle Marina hasta el final de la calle Cádiz, y de ahí al límite de la calle Alcalde Manuel María Moya con el campo. Los 9.000 euros de inversión que ha supuesto esta obra han sido financiados por el Ayuntamiento. ■

## PEÑARROYA-PUEBLO NUEVO

## TRADICIÓN E INNOVACIÓN EN EL REMOZADO MERCADO DE ABASTOS



Entrada principal del remodelado mercado Sebastián Sánchez.

Tras las obras de rehabilitación de su edificio, el mercado de abastos 'Sebastián Sánchez' está de nuevo a pleno rendimiento. Diseñado por el ingeniero francés León Giraud, esta joya arquitectónica se construyó en 1926, en la época de esplendor del municipio. Ahora el edificio ha sido sometido a un proceso de integral de rehabilitación que ha permitido consolidar su estructura y recuperar su apariencia original.

Además se han construido una red de saneamiento, cerramiento y aseos, y se le ha dotado de una amplia sala multiusos para exposiciones y charlas. El edificio dispone también de un área que el Ayuntamiento quiere que se convierta en un centro para el desarrollo económico y empresarial de emprendedores.

Las obras se han desarrollado en distintas fases, las tres primeras financiadas a través del Plan Provincial de Cooperación 2007 con una inversión de 659.889 euros; la cuarta fase, en la que se focalizaron los trabajos en la construcción de una red de saneamiento, cerramiento, construcción de aseos, etc. contó con un presupuesto de 619.898 euros a cargo del Plan Provincial de Cooperación 2010-11; y la quinta fase, financiada a través del Plan Plurianual de Inversiones Locales 2012-15 tenía una cuantía de 316.966 euros. ■

© Ayto. Peñarroya-Pueblo Nuevo

## HORNACHUELOS

## EL MUNICIPIO YA TIENE BANDERA OFICIAL

Dos franjas horizontales, azul la superior y blanca la inferior y, en el centro, un castillo de oro con tres almenas. Este es el diseño que Federico Fernández, licenciado en Historia, presentó al concurso de ideas convocado por el Ayuntamiento de Hornachuelos para elegir bandera, que ha resultado ganador. Para su autor, el azul representa "la vida y la historia del pueblo que serían totalmente diferentes sin la existencia del río Bembézar, el río Guadalquivir y de los afluentes de ambos". El blanco "representa los nobles caseríos de Hornachuelos. Es la representación de las familias que han compuesto, componen y compondrán el municipio". Y en el centro, el castillo de Hornachuelos. "Debía ser el elemento que nos representara. Es un bien patrimonial de nuestra localidad, relativamente bien conservado, conocido por todos los ciudadanos de Hornachuelos, localizado en un lugar privilegiado, de fácil acceso, con una larga vida y una gran historia". ■

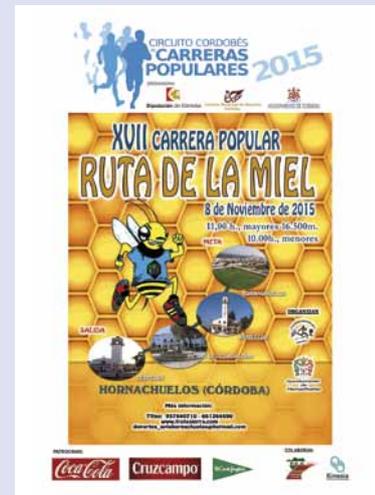


El castillo es el elemento central de la bandera de Hornachuelos.

© Ayto. Hornachuelos

## HORNACHUELOS

## XVII CARRERA DE LA MIEL



© Ayto. Hornachuelos

Cartel anunciador de la nueva edición de la carrera popular.

El domingo 8 de noviembre tuvo lugar la XVII Carrera Popular "Ruta de la Miel" que organiza el Área de Deportes del Ayuntamiento de Hornachuelos, con la colaboración de asociaciones locales. La jornada se inició en el deportivo Las Ercillas donde, en diferentes tramos horarios, corrieron niños y jóvenes de las categorías inferiores (Juvenil, Cadete, Infantil, Alevín, Benjamín, Discapacitados a pie, Prebenjamín y Chupete).

Ya a campo abierto, los mayores cubrieron una distancia de 16 kilómetros y medio, entre Céspedes-Mesas de Guadalora-Bembézar y Hornachuelos. De entre los 430 atletas que completaron la carrera, Rafa Bermúdez e Inma Cantero se proclamaron vencedores en las categorías masculina y femenina.

En las categorías absolutas, los tres primeros clasificados obtuvieron un premio económico de 70, 50 y 30 euros, respectivamente, mientras que los tres primeros clasificados las categorías Junior, senior, veterano/a y discapacitados/as a pie y silla de ruedas recibieron un trofeo y entre 4 y 2 kilos de miel. En todas las categorías inferiores, excepto la chupete, se entregó un trofeo a los tres primeros clasificados. ■



En el túnel circular, a una temperatura de menos 271,3°C, dos haces de protones en sentidos opuestos, colisionan mientras viajan a la velocidad de la luz.

## ‘LA MÁQUINA DE DIOS’ BUSCA EL ORIGEN DE LA MATERIA

Bajo los verdes campos de la frontera franco-suiza, no lejos de los Alpes ni del lago de Ginebra, se oculta bajo tierra la mayor fuerza energética de la Tierra. La generan partículas de mínima masa, subatómicas, que chocan entre sí dentro de una inmensa circunferencia de 27 kilómetros, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés), una infraestructura subterránea que busca la respuesta a grandes preguntas de la Ciencia: el origen de la materia que conocemos o de la materia oscura y la energía, que entre ambas ocupan el 95% del Universo y que no somos capaces de ver ni entender. La llaman la ‘máquina de Dios’ y es la más grande y compleja construida en el mundo.

Texto: **ROSA MARTÍN**

Fotos: **CERN**



**E**l Gran Colisionador de Hadrones (LHC), que pertenece al Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN), es el lugar donde los físicos de todo el mundo tienen puestos los ojos, a la espera de que salgan las respuestas, o quizás nuevas preguntas. Muchos esperan que allí dentro se encuentre algo que eche por tierra el llamado Modelo Estándar de la física, que desde los años 70 describe las relaciones entre las partículas más elementales. Es decir, explica cómo está hecho y cómo funciona el mundo conocido. “Estamos deseando de que algo nos diga que estamos equivocados”, afirman los físicos cuando se les pregunta.

Por lo pronto, en su primera ronda de actividad, entre 2010 y 2012, el LHC ya marcó un hito al permitir

observar el bosón de Higgs, esa partícula escurridiza cuya existencia teórica predijo Peter Higgs hace 50 años y que sólo ha sido posible localizar dentro de esta instalación científica. Anunciada en 2012 y confirmada al año siguiente, en 2014 Higgs recibiría el Nobel por haberse adelantado a su tiempo.

Ahora bien, ¿será la única sorpresa que revele una máquina capaz de recrear las mismas reacciones del Big Bang que dio origen a nuestro Universo?

### REPITE LA GRAN EXPLOSIÓN

Nadie lo sabe de momento, pero mientras las vacas pastan en los prados y los pájaros van de árbol en árbol en el bucólico paisaje suizo, a 100 kilómetros bajo tierra

tienen lugar miles de millones de colisiones entre protones, que ya han llegado a alcanzar los 13 teraelectronvoltios de potencia, una energía que se acerca mucho a la de aquella Gran Explosión, y que afortunadamente tiene lugar en tan ínfima cantidad de materia que nada se altera fuera de un tubo en el que reina el mayor vacío del Cosmos.

Pese a contar con la tecnología más puntera, que se aventura que tendrá insospechadas aplicaciones en nuestras vidas, parte del trabajo de las cerca de 800 personas que manejan el LHC es muy artesanal. De hecho, en su interior hay más ingenieros y técnicos que físicos, que luego analizan los datos.

Su labor consiste, básicamente, en introducir en el túnel circular, a una temperatura de menos

## En esas colisiones en las que se recrea en diminuto la explosión que dio origen al Universo, se puede transformar la energía en materia, como señala la famosa ecuación de Albert Einstein $E=mc^2$

271,3°C, dos haces de protones en sentidos opuestos, haces que previamente han sido acelerados en instalaciones menores. Las partículas se introducen en paquetes de hasta 100.000 millones de protones, que colisionan mientras viajan a la velocidad de la luz, y lo hacen en cuatro puntos concretos del interior de la circunferencia, que es donde están los detectores principales.

“Cada haz que tiene cierta vida, puede durar horas o días, pero lo importante es mantenerlo lo más posible para que la energía en el choque sea mayor. Para ello

se utilizan imanes de gran precisión. Cuando un haz desaparece, se inyecta otro, porque una vez activo el LHC no se detiene ni de día ni de noche. Su objetivo es conseguir muchas colisiones para obtener tener muchos datos, estadísticas que nos permitan descubrir algo nuevo, algo desconocido”, según explica Juan José Hernández, director del Instituto de Física Corpuscular del CSIC y la Universidad de Valencia (IFIC), un centro que participó en su construcción y ahora lo hace en el análisis de los datos, como otros 2.000 investigadores de 37 países.



Edificio principal del LHC, en Suiza.

### Los cuatro grandes detectores del LHC

- **ATLAS:** El A Toroidal LHC ApparatuS, (Atlas) es un detector de partículas muy masivas que se no conocen, así como en investigar la naturaleza fundamental de la materia y las fuerzas básicas que forman el Universo. Detectó el bosón de Higgs en julio de 2012. Su tamaño es de 45x25 metros, y pesa unas 7.000 toneladas. En el proyecto están implicados unos 2000 científicos e ingenieros de 151 instituciones de 34 países..
- **CMS:** Igual que el ATLAS, el Solenoide Compacto de Muones (CMS) es un detector de partículas de carácter general. Tiene una forma cilíndrica, de 21 metros de largo por 16 de ancho, con un peso de unas 12.500 toneladas. Confirmó, en 2013, la existencia del bosón de Higgs.
- **ALICE:** Trata de recrear las condiciones del Universo temprano como era apenas unas fracciones de segundos después del Big Bang. Dirigido por científicos mexicanos, el A Large Ion Collider Experiment (ALICE) estudia interacciones de iones que alcanzan la velocidad de la luz.
- **LHCb:** Su interés central es la antimateria, cuya diferencia con la materia es que tienen una carga eléctrica distinta. El Large Hadron Collider Beauty tiene 21 metros de largo y se centra en el estudio de quarks muy pesados.

El Gran Colisionador, el mayor circular del mundo, cuenta con 1.232 imanes, cada uno de 15 metros de longitud y 35 toneladas de peso, que se encargan de que los haces de protones cumplan su misión. “Podría decirse que son máquinas vivas de las que vas aprendiendo sobre la marcha. Es un trabajo artesanal porque los protones pueden desestabilizar los haces, y con estos imanes se tensan, se curvan, se agrupan... En definitiva, se manipulan para que colisionen y sean estables”, apunta el científico.

En esas colisiones, que como se señalaba recrean en diminuto la explosión que dio origen al Universo, se puede transformar la energía en materia, como señala la famosa ecuación de Albert Einstein  $E=mc^2$ , y así crear partículas elementales que sólo existieron en aquellos primeros instantes y dieron origen a la materia, la que se ve y la que es invisible.

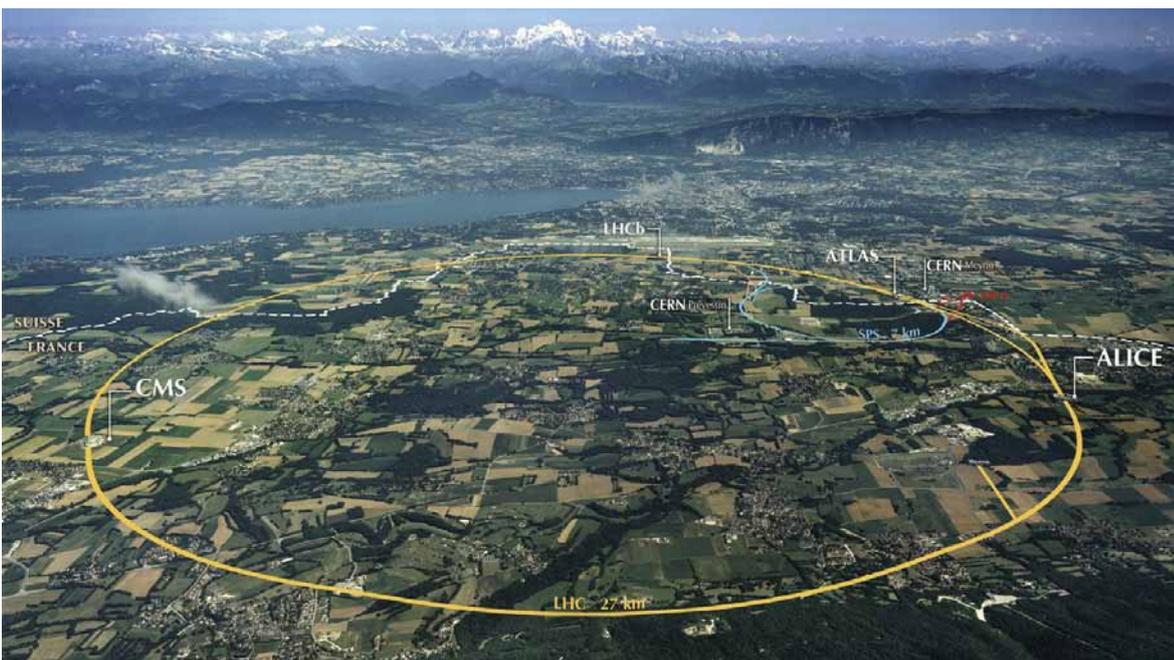
### UN BOSÓN POR MIL COLISIONES

Pero una cosa es que se produzcan y otra verlas, pues su existencia puede durar milésimas de segundo antes de desintegrarse, y para ello el LHC cuenta con cuatro detectores o experimentos principales: el Atlas, el CMS, el LHCb y el ALICE, en cuya construcción participaron cerca de 9.000 científicos de todo el mundo, y que son los que están proporcionando grandes resultados. Además, existen otros experimentos más pequeños (el LHCf, MOEDAL y TOTEM) en búsqueda de respuestas más concretas.

Gracias a Atlas y al CMS se descubrió el famoso bosón de Higgs, que algunos han denominado la ‘Partícula de Dios’, pues estaría detrás del mecanismo que da origen a toda la materia ordinaria en el Universo. “Se precisaron muchos millones de colisiones para poder detectarlo, dado que

sólo se crea cuando los quarks que componen dos protones diferentes chocan entre sí y su energía no se pierde, sino que se dirige a esa colisión. El bosón se produce en una de cada 1.000 millones de colisiones y se desintegra al instante. Ahora ya lo hemos detectado, y con los dos experimentos, pero nos queda por averiguar mucho de sus interacciones con otras partículas, o si habrá otras desconocidas, o si existen esas esperadas desviaciones del Modelo Estándar en el que basamos toda la física. Quedan muchas respuestas pendientes”, subraya Hernández.

Para John Ellis, uno de los físicos que diseñó el LHC, el hito de este hallazgo, que por primera vez llevó la Física a las portadas de todo el mundo, ya compensa la inversión que ha supuesto el LHC: “Sin el bosón de Higgs no habría habido electrones con masa, y por tanto no habría átomos. Tres minutos



El LHC cuenta con cuatro detectores o experimentos principales: el Atlas, el CMS, el LHCb y el ALICE.

después del Big Bang, hace 13.700 millones de años, había un núcleo, pero cuando apenas tenía microsegundos ese bosón ya inició su trabajo, fue muy importante en la construcción del Universo. Gracias al LHC hoy lo conocemos”, afirma.

Contar con una máquina tan compleja como ésta, ha supuesto casi un siglo de investigación. Podría decirse que su historia se inició en la década de los 30, cuando comenzaron a funcionar los primeros aceleradores lineales de partículas, hoy imprescindibles en la Medicina. Pasarían más de 20 años hasta que en 1954, Europa fundara el CERN para el estudio de esta parte de la Física. Estaba claro que el camino para conocer qué había en el interior de la materia pasaba por lanzar unas partículas contra otras a una gran velocidad y que ello requería una máquina circular, y cuanto más grande mejor.

El CERN se inauguró en la frontera franco-suiza con un acelera-

dor-colisionador de muy pequeñas dimensiones que cinco años después fue sustituido por otro de 200 metros de circunferencia. Y desde ahí siguió creciendo, a medida que aparecían más partículas desconocidas que hacían necesaria una mayor velocidad. En 1976, se puso en marcha el Super Protón Síncrotrón (SPS), con siete kilómetros de recorrido, que aún funciona; y en 1989 se alcanzaron los 27 kilómetros actuales con el Large Electron Positron Collider (LEP), el precursor del actual LHC.

EL LEP, que por vez primera puso a Europa por delante de Estados Unidos, era una máquina destinada a provocar colisiones entre electrones y positrones (su antimateria) y a lo largo de 11 años de actividad a punto estuvo de detectar el bosón de Higgs. Pero no lo hizo, y en el año 2000 los europeos decidieron clausurarlo, dando por hecho que había alcanzado su límite tecnológico para iniciar el nuevo y gran proyecto del LHC.

A punto estuvieron los americanos de tomar la delantera, pues en la década de los noventa Estados Unidos aprobó la construcción en Texas del Super Síncrotrón Collider (SSC), un colisionador de 87 kilómetros de diámetro. Finalmente, en 1993, cuando ya se había realizado una quinta parte de la obra, el Gobierno lo suspendió al comprobar que los costes superaban los 10.000 millones de dólares.

Para entonces Europa ya estaba pensando en cómo dar la vuelta a su LEP con una nueva máquina en la que colisionaran hadrones, en concreto protones. En 1995, se aprobaba la construcción del LHC aprovechando el mismo túnel de 27 kilómetros, una obra en la que se implicaron los 20 países del CERN y que acabó costando, incluidos los experimentos, unos 5.000 millones de euros. A ellos hay que sumar los cerca de 800 millones que cuesta anualmente su funcionamiento, que incluyen los sueldos de los 2.500 trabajadores del CERN. Entre ellos, unos 200 son españoles.



Hasta 800 personas, entre ingenieros, físicos y técnicos manejan el LHC y analizan sus datos.

## FECHAS EMBLEMÁTICAS

Hubo que esperar hasta el 1 de agosto de 2008 para que el primer haz de partículas se inyectara dentro del LHC, pero la alegría duró poco, pues a los pocos meses hubo que “desenchufarlo” por una avería en el circuito. Volvería a estar en marcha un año después, 2009, y desde entonces la aceleración fue a más, hasta lograr en 2012 un máximo de 8 teraelectronvoltios (TeV). No se habían alcanzado los 14 TeV previstos, pero aquel primer “run” bastó para dar con el mencionado bosón de Higgs. Parecía claro que se estaba en el buen camino.

## El sucesor, en camino

Cuando aún el LHC permanece en plena actividad, científicos como John Ellis ya lo consideran en pasado y trabajan en el diseño del que será su sucesor. Que su futuro sea aún largo depende de los resultados, aunque si no hay grandes novedades se le augura un futuro de no más de cinco años. “Con la misma configuración, no merece la pena estar 20 años haciendo lo mismo. Si encontráramos algo que contradiga el Modelo Estándar, la vida del LHC se podría alargar, pero si no hay desviaciones, eso significa que no llega al umbral necesario. Una opción razonable sería remodelarlo para generar mucha más energía y recoger más datos. De momento, estamos en ‘impass’, porque los físicos tenemos indicaciones de que este Modelo puede no ser el definitivo; hay otras teorías, como la Supersimetría o la teoría de cuerdas, si bien de momento no conectan con lo que vemos. Si aún remodelado no vemos nada, entonces tenemos un problema con el LHC”.

John Ellis es de los que ya están ya en ese camino: en el estudio del diseño de un futuro acelerador circular que tendría 100 kilómetros de diámetro y en que se podrían acelerar protones, pero también electrones y positrones, como en el anterior LEP. Una máquina más grande que todo el cantón de Ginebra. “Ese acelerador deberá tener imanes con campos magnéticos mucho más fuertes para guiar a las partículas en sus rutas de colisión, lo que permitirá alcanzar rangos de energía hasta siete veces superiores a los que ahora se pueden alcanzar con el LHC”, señaló Ellis en una entrevista con Estratos hace unos meses.

Para el director del CERN, Rolf Dieter Heuer, el reto que hay por delante merece la pena: “Nos ha llevado cerca de 50 años completar el Modelo Estándar, que sólo describe el 5% del Universo, pero debemos explorar el 95% restante, el que llamamos Universo Oscuro. Ese es el reto”.

En febrero de 2013, el LHC volvió a stand by por un periodo de 20 meses. Había que intentar alcanzar los 14 TeV y ello requería que la gran máquina y sus detectores fueran ajustados y las conexiones entre los imanes reconstruidas. Además, había que eliminar todo rastro de electrones, que se habían detectado en algunos puntos. El vacío en el tubo debía ser absoluto, incluso más que en el Universo, si se querían encontrar más respuestas.

Tras esa fase de mantenimiento, el pasado mes de abril de 2015, el LHC volvió a encenderse. Y desde entonces, nuevos haces de protones colisionan, día y noche, y miles de ojos científicos están pendientes de que surja algo que eche

por tierra aquello en lo que se basa la ciencia desde hace medio siglo.

Apenas unos días después de su puesta en marcha, ya había logrado mil millones de colisiones por segundo y a una energía de 13 TeV.

El investigador granadino José Miguel Jiménez, director de Tecnología del CERN, en una visita reciente a España se motró seguro de que “el LHC aportará importantes hallazgos que permitan ir más allá del Modelo Estándar de la Física para la comprensión de la materia y el universo en general”.

“Eso es lo fascinante de la Ciencia, que no sabes dónde acabará el camino que emprendes”, apunta

el físico Alberto Aparici, quien añade que donde no acabará será en un agujero negro que se engulla la Tierra, como algunos agoreros señalaron en los inicios: “Llevamos miles millones de años recibiendo partículas mucho más energéticas del Cosmos y no ha pasado nada. Hay gente en el LHC buscando agujeros negros, y de momento no se ha encontrado, pero si los hubiera serían microagujeros y se abriría una puerta a física que ni imaginamos”.

## LA UTILIDAD DE HIGGS

Si en los próximos cinco años nada nuevo se detecta, habrá que seguir buscando, y por tanto aumentando su tamaño o mejorando posibilidades. Todo ello supone una inversión que saben que es alta, pero que defienden, en aras de encontrar esas respuestas que aumenten nuestro conocimiento, y también en aras del desarrollo de aplicaciones tecnológicas que pueden surgir de instalaciones que, como ésta, están en la frontera.

En este sentido, Juan José Hernández reconoce que los científicos han sido miopes a la hora de vender a la sociedad sus resultados: “Cuando Hertz detectó las ondas electromagnéticas con su aparato dijo que era algo que no serviría para nada, pero tras su invento está la radio, la televisión, los móviles. Puede que en 40 años el bosón de Higgs tenga una utilidad que ahora no vemos. Seguro que esos imanes, ese absoluto vacío que se crea en el LHC, o su electrónica ultrarrápida, tendrá aplicaciones en el futuro que ahora no podemos imaginar, así que ¿quién toma la decisión de parar esos avances porque son costosos?”. ■

EN EL PIRINEO DE LÉRIDA SE ALZA  
EL MANANTIAL SALOBRE A 1.500 METROS DE ALTITUD

## GERRI DE LA SAL, UNA MINA DE AGUA SALADA

Las radiaciones solares evaporan el agua mientras la sal se va acumulando en el fondo de las albercas.

Al sur de la comarca catalana del Pallars Sobirà (Lérida) se encuentra Gerri de la Sal, población que debe el nombre a su más preciada riqueza: la sal. Mineral que aporta un manantial, cuya fuente se encuentra en el mismo pueblo y a pocos metros del río Noguera Pallaresa. La fabricación de la sal en este territorio se remonta a la Alta Edad Media, convertida desde entonces, y hasta el último cuarto del siglo XX, en el principal motor económico de Gerri.

Texto: **JESÚS ÁVILA**  
Fotos: **LOLI ARTERO**

**E**n el mundo existen infinidad de lugares en donde se obtiene sal común a partir de la salmuera del agua del mar o del aprovechamiento de manantiales salinos. Y es que las virtudes de este elemento mineral han hecho que su proceso de obtención ya se llevara a cabo incluso en la Revolución Neolítica, hace unos 6.500 años, y que



de Lérida, con 1.379 kilómetros cuadrados, habitado por 7.325 personas, y donde se alza el manantial a 1.500 metros de altitud, uno de los más altos de este tipo en el mundo.

Todo el patrimonio de Gerri es consecuencia de la riqueza de este manantial salobre, cuya explotación comienza a documentarse a partir del siglo IX, cuando los primeros monjes del cenobio de Santa María se interesan por este producto, obtenido de forma natural del agua de una fuente, así como por los habitantes del poblado medieval de la Santa Creu de les Llagunes, que trabajan en las albercas salinas. Sin embargo, se cree que los primeros explotadores de estas aguas fueron los celtas, dada la experiencia que, sobre este tipo de yacimientos, ya tenían, especialmente los pueblos procedentes de Hallstatt, en los Alpes austríacos.

### ALGO DE HISTORIA

La tradición salinera de esta zona está estrechamente vinculada con la historia del monasterio de Santa María, cuyo abad era también el propietario de las instalaciones de la producción de la sal que se elaboraba en el municipio. Este histórico conjunto, actualmente en proceso de restauración, fue fundado el 20 de junio de 807 y consagrado el 25 de septiembre de 1149. Con su fachada de campanario en piedra rojiza de la zona y en

triple espadaña, el monasterio estuvo regido por la Orden de San Benito, hasta el año 1835, fecha de la Desamortización, y cuando es abandonado.

Sus monjes fueron los grandes impulsores de esta industria salinera, como se desprende de la bula del pontífice Alejandro III, en donde se destaca la riqueza de este monasterio, del que, a mediados del siglo XII, dependían 41 iglesias, cuatro castillos y diez villas.

En cualquier caso, el mayor apogeo de esta industria salinera se alcanzó entre finales del siglo XIX y primer tercio del XX. Hace un siglo, los propietarios de las salinas crearon la Comunidad de Fabricantes de Sal, una especie de cooperativa que regulaba la producción, almacenaje y venta de la sal, logrando que este producto llegase a muchos lugares de Europa. Consecuencia de ello fue la obtención, en la Exposición Internacional de París de 1920, de la Medalla de Oro, que avala la calidad de la sal de Gerri, las únicas salinas de España que cuentan con un reconocimiento internacional.

En la época de mayor prosperidad llegaron a funcionar hasta 750 eras –albercas–, produciendo grandes cantidades de sal. Hasta que en la década de los setenta las salinas de Gerri entraron en una fase de decadencia, con un progresivo abandono que las sentenció, especialmente tras las inundaciones sufridas en el in-

no sólo fuese la sal un condimento gastronómico, también que se usase como moneda de libre cambio, por ejemplo en China en el año 3.000 a.C.

En el caso de Gerri de la Sal, el nombre de este valioso mineral ha quedado estrechamente ligado con esta población en donde se extrae. El pueblo se encuentra en el Pallars Sobirà, ubicado en el centro geográfico del Pirineo

## La tradición salinera de esta zona está estrechamente vinculada con la historia del monasterio de Santa María, cuyo abad era también el propietario de las instalaciones de la producción de la sal que se elaboraba en el municipio

vierno de 1982. El único artesano de la sal que se mantuvo fue Ramón Montoliu i Molins, fallecido en 1993. Su hijo, Felipe Montoliu, secundado por un gran artesano local, Enric Malgrat i Badia, mantuvieron el espíritu de la tradición familiar hasta hace una década.

### LA NATURALEZA DE ESTE MINERAL

La explotación salina de Gerri se debe a la aparición de una fuente de agua salada (ClNa), que aflora a pocos metros del núcleo urbano y cerca de la orilla derecha del río. El agua nace a una temperatura constante todo el año de 21°C, con una densidad media de cloruro sódico de 8°-10° Be, y cristaliza a 25° Be; como referencia, el agua del mar Mediterráneo tiene una densidad de 2°-3° Be. La unidad básica de una explotación salina es el *salí*, que se compone de *toll* (o *tolla*, el estanque donde van acumulándose los residuos formados por el agua salada, llamados *arcabotes*); las *eras*, *albercas* en donde se hace la sal; y la *caseta*, pequeña construcción en donde se produce el primer almacenaje del producto. A través de un complicado y artesanal andamiaje de madera que soporta el peso de un largo canal formado por troncos de pino ahuecados, la densa agua, recién salida del manantial, llega a las horizontales y geométricas

*albercas*, cuyo suelo está pavimentado por cantos rodados de río, adecuadamente enlosados, de origen medieval.

Posteriormente, día tras día, el agua, quieta, es sometida a los efectos de las radiaciones solares, evaporándose, mientras la sal se va acumulando en el fondo. Por ello, a fin de compensar las constantes pérdidas de líquido elemento, se procede periódicamente a sucesivos vertidos de agua. Actividad ésta que se realiza desde el otoño hasta la primavera. Pero la sal, y sobre todo el fondo de las *albercas*, hay que ir la removiendo constantemente para que no se endurezca demasiado, así como procurar el necesario movimiento de la cristalización de la misma en las zonas altas del nivel del agua, evitando que ésta, al solidificarse, cierre el paso de los necesarios rayos solares hacia la zona más profunda de la *era*.

Cuando el agua depositada en las *albercas* adquiere un tono más vivo –tirando a celeste– se advierte que aún tiene que pasar por el proceso de la sal. Al irse depositando el cloruro sódico, el agua se torna blancuzca y opaca. A mayor calor, mejor calidad de sal. “Cuando los *payeses* –agricultores– lloraban de sequía, los *salineros* disfrutaban de alegría...”, comenta Aroa Ya-

güe Medina, gerente del Consorcio de Gerri de la Sal.

La época de fabricación de sal viene determinada por la meteorología. Desde siempre se ha establecido la temporada estival como la más idónea, porque depende de la mayor cantidad de calor de los rayos solares, iniciándose en el mes de junio y acabando a finales de agosto; ya que los temporales de lluvia destrozan todo el laborioso proceso realizado a lo largo del año. “Cuando estamos en pleno apogeo, hemos llegado a sacar hasta 700 kilogramos de sal de una sola *alberca*, pero es preciso que pasen hasta tres meses seguidos sin llover”, dice Felipe Montoliu.

La sal se elabora cuando el agua de estos estanques alcanza la temperatura de 25 grados centígrados. Una vez concluida esta fase, en la cual la evaporación del agua de las *albercas* formaba en el fondo la acumulación del blanco mineral, la sal era transportada y depositada en el Almacén de la Sal –Real Alfolí-. “Nunca hemos tenido ninguna enfermedad en los pies; durante la estación estival, es fácil cambiar varias veces de piel, por los efectos del calor y de la composición química del agua”, explica uno de artesano que ha trabajado en las salinas.

Desde la *alberca*, la sal, ya totalmente sólida y semiseca, se trasladada a las *casetas* instaladas en las proximidades de los ‘*tollos*’, en cuyo interior se almacena esperando ser envasada en blancas bolsas de plástico de 25 o 50 kilogramos, o bien vendida a granel directamente a los *lugareños*. La sal que aquí se obtenía estaba considerada como de las mejores del mundo por sus singulares valores químicos y nutricionales.

Mientras, el agua sobrante de los saladeros, después de realizar todo el recorrido por las canalizaciones, se fundía con la del río Noguera Pallaresa, principal afluente del Segre, y éste del Ebro.

### LA CASA DE LA SAL

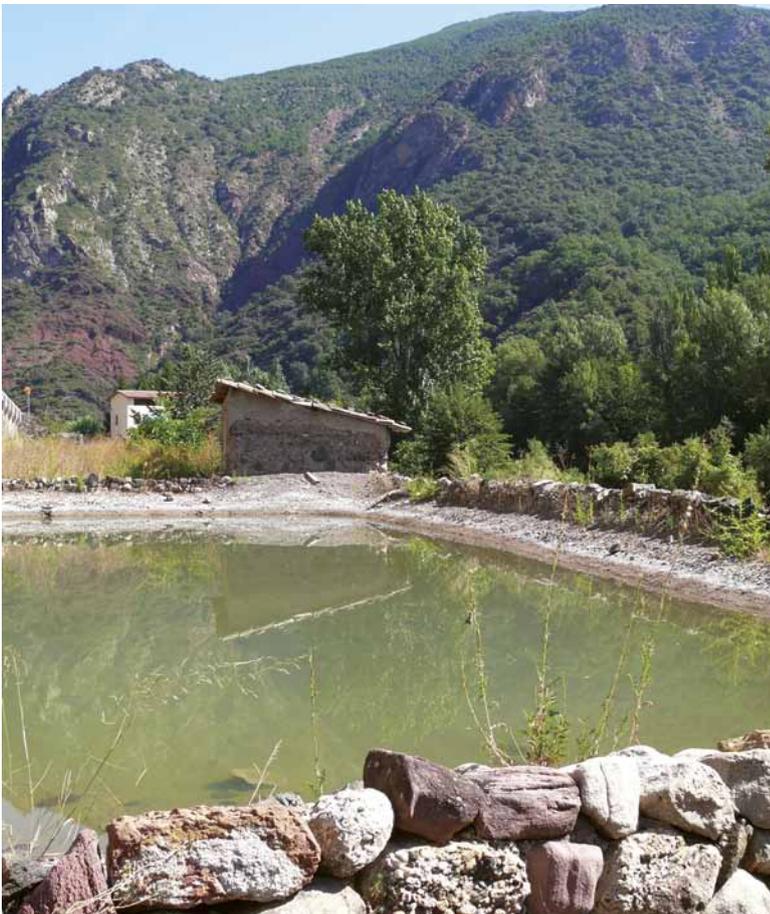
La Casa de la Sal es un edificio de 2.400 metros cuadrados que se remonta a tiempos de Carlos III –segunda mitad del siglo XVIII-, de ahí su calificación como ‘Real Alfolí’. El Alfolí consta de tres pisos y planta baja, cubierto a cuatro vientos. Fue declarada el 6 de junio de 1995 ‘Bien Cultural de Interés Nacional’, con la categoría

de Monumento Histórico. En su interior se llevaban a cabo los diferentes procesos de acabado (pesado, molido y empaquetado o ensacado), dejando la sal a punto para su comercialización.

La sal se transportaba hasta el ‘Alfolí’ en serones por mulos (tiro), en medidas de arrobas -25 kg-, o quintales -100 kg-. Los animales de carga accedían al primer piso a través de una suave rampa, donde se pesaba y después se tiraba por unos pequeños orificios rectangulares hechos en el envigado del primer piso, denominados ‘trapes’, hasta la planta inferior del edificio, donde se molía la sal para ensa-

### Más información

Los horarios de visita al complejo minero de la sal de Gerri son en Semana Santa y de junio a septiembre, de 10:00 a 13:00h, y de 17:00 a 19:00h. Resto del año: visitas concertadas. Información: Ayuntamiento de BaixPallars (tel: 973 662 040; fax: 973 662 183); Web: [www.baixpallars.ddl.net](http://www.baixpallars.ddl.net) E-mail: [consorcigerri@gmail.com](mailto:consorcigerri@gmail.com) c/ SantSebastià, 1; 25590 Gerri de la Sal (Lérida).



Una de las albercas primitivas, situada en el sector más al norte del complejo salinero.

carla y empaquetarla, según el caso. Mientras, la sal de calidad superior aún debía pasar por un laborioso proceso de secado. En Gerri se fabricaba sal de tres tipos: granada (en sacos para el consumo del ganado); final (en bolsas para cocinar), y de lujo (en paquetes para la mesa).

La Generalitat de Catalunya y la Diputación de Lérida están llevando a cabo en la actualidad un proceso de rehabilitación de la villa de Gerri. “Gracias a este ambicioso proyecto, se recuperará parte de sus salinas para volver a producir y vender su ancestral producto natural, después de haberse concluido la rehabilitación del Alfolí, o Casa de la Sal, que ya funciona como museo y centro de recursos naturales y económicos”, resalta Aroa Yagüe. Lo que se busca es acercarse al concepto de ecomuseo, recuperar la memoria colectiva de un núcleo histórico-artístico cuyos valores antropológicos revisten gran interés por sus singulares características. ■



La colaboración de expertos de espeleología, como el equipo de bomberos de Toledo, ha permitido que se acceda a lugares que de otra manera hubiese sido imposible.

SE UTILIZAN LAS CUEVAS PARA SITUAR SENSORES DE MEDICIÓN DE CO<sub>2</sub> Y TEMPERATURA PARA HACER PREDICCIONES

## SISMOSIMA: UN PROYECTO PIONERO PARA LA DETECCIÓN DE TERREMOTOS

En la actualidad sólo se puede estudiar cómo se producen los terremotos y minimizar sus consecuencias, pero en Sismosima se estudian los movimientos sísmicos por si fuera posible emitir una prealerta. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) puso en marcha este proyecto con el que ya ha conseguido testar -en las cuevas en las que ha instalado medidores- un incremento del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que coincide con el disparo del terremoto. Ahora, queda por comprobar si la emisión del gas se produce simultáneamente, antes o después. Si fuera antes, bastarían un par de minutos para dar una alerta previa con la que salvar vidas y asegurar instalaciones.

Texto: **CÉSAR DE ECHAGÜE**

Fotos: **IGME**

**E**l tiempo geológico transcurre a otro ritmo y los fenómenos más inmediatos que afectan

a la corteza terrestre se miden, mínimo, en cientos o miles de años. Un error muy extendido es calificar de instantáneos los seísmos porque la ruptura de una falla o la fricción entre placas -las causas que disparan un terremoto- son procesos de movimiento tan lento e inapreciable que pueden extenderse a lo largo de diez mil años. Sin embargo, Sismosima puede desempeñar un papel clave.

El trabajo de los geólogos, hasta ahora, se ha centrado en utilizar datos geológicos para aplicarlos en la seguridad de infraestructuras críticas (centrales energéticas, embalses, aeropuertos...), en actuaciones de emergencia (situar campamentos de desplazados a salvo de las posibles réplicas de un terremoto) y en la elaboración de mapas de riesgo (para implementar medidas preventivas en edificaciones), pero podría ampliarse. “Como geólogo, me señalan una zona del terreno y en función de la información que ofrece ese suelo puedo decir si hay terremotos, qué intensidad alcanzaron, cuándo fue el último y si la estructura que lo produjo sigue orientada y puede provocar nuevos seísmos. Además, siguiendo un patrón temporal histórico, podría afirmar que cada cien, trescientos o quinientos años se produce un terremoto de tal o cual magnitud. Con Sismosima podemos llegar más lejos”, afirma Raúl Pérez, científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), especialista en la

Geología de Terremotos y responsable de este proyecto.

### PROYECTO PIONERO

Conceptualmente, Sismosima nace en 2005. En Suiza tenían interés por reactivar su industria nuclear, pero carecían de registros instrumentales sismológicos y el registro geomorfológico era muy pobre, así que decidieron utilizar las cuevas del entorno de los Alpes para estudiar un mapa de peligrosidad registrando terremotos en pretérito.

En España, Raúl Pérez, buen conocedor de las cuevas españolas y los sistemas kársticos comprendió que si trasladaba un estudio similar -pero ampliando y enriqueciendo las variables a investigar- a la Península Ibérica los resultados podrían ser muy positivos. De esta manera, se desarrolló un proyecto pionero y ambicioso, pero no exento de obstáculos. En 2010 se consiguió una primera ayuda oficial enmarcada en la iniciativa ‘Explora’ del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Se había dado el primer paso. Un par de años después, la financiación llegó en la categoría de Excelencia. “Mi idea no era registrar movimientos sísmicos pasados, quería meterme en el corazón de las fallas que los provocan para, con una serie de sensores, auscultarlas y obtener información que permitiese entender cómo se disparan esos terremotos”, comenta Pérez.

Desde el Instituto Geológico y Minero se coordina Sismosima, un proyecto en el que también está implicada la Universidad Rey Juan Carlos, la Universidad Autó-

noma de Madrid, investigadores de Cambridge y de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (México), el Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid y el Espeleoclub Resaltes de Murcia. Asimismo, esta iniciativa comparte con la Universidad Complutense de Madrid -su proyecto se llama Intergeo- los sondeos de la falla de Alhama de Murcia, la responsable del terremoto de Lorca. En total, unas cien personas implicadas, de una u otra manera, están trabajando para que con Sismosima se obtengan los resultados esperados.

### TRABAJO DE CAMPO

Para conseguir los datos con los que abordar este trabajo era necesario dar con las simas más adecuadas, entrar en ellas e ir situando, a las distancias y profundidades fijadas, sensores de temperatura en roca que registrasen un dato cada 20 o 40 minutos ya que el aumento del gradiente geotérmico en la corteza terrestre está relacionado directamente con la ocurrencia de terremotos. El objetivo: extraer información sobre si el cambio de temperatura se produce coincidiendo con el seísmo, es anterior o posterior e investigar la posibilidad de dar con el precursor en la curva de variación de la temperatura.

También había que colocar detectores de CO<sub>2</sub>. En este caso, evitando la contaminación externa (cualquier bacteria produce CO<sub>2</sub>) y descendiendo para datar las emisiones más profundas, las de CO<sub>2</sub> mantélico. Como en el caso de la temperatura, los sensores determinarán el momento exacto de la emisión. En el futuro, se

## El objetivo es colocar sensores en el corazón de las fallas que están en el origen de los terremotos, auscultarlas y obtener información que permitan entender cómo se disparan los seísmos

quiere situar aparatos sensores de hidrógeno, pero todavía no existen con la sensibilidad y autonomías que se precisan. Incluso aparatos que detecten movimientos submilimétricos sobre los que físicos especializados en nanotecnología están trabajando.

### ESPELEÓLOGOS Y VERIFICACIÓN

La hipótesis estaba definida y la única forma de verificarla o refutarla era entrar en las cuevas, situar los equipos para que hicieran su trabajo y sacarlos periódica-

mente para extraer los registros. A continuación hubo que determinar en qué cuevas se entraba, cómo y quién lo hacía. Investigando, se toparon con la iniciativa '17 picos, 17 simas', auspiciada por un grupo de bomberos de Toledo, cuya intención era subir al pico más alto de cada comunidad autónoma y descender a la cueva más profunda. Desde el Instituto se contactó con ellos y gracias a su colaboración se pudo acceder a ciertas cuevas que de otra manera habría sido imposible. "Han sido los amantes de la espeleología los que nos han dado la oportunidad de llegar a lugares que necesitan

del trabajo de equipos de más de veinte personas y material técnico. Ellos nos guían y ayudan y hacen preguntas a las que yo les puedo responder; para ellos es suficiente. Es un gran ejemplo de colaboración entre el mundo científico y la sociedad civil", afirma Pérez.

A la hora de elegir las simas había algunas decisiones inapelables como, por ejemplo, la de entrar en la Sima del Vapor, en Alhama de Murcia, que descansa sobre la falla que provocó el terremoto del 11 de mayo de 2011 de Lorca. Para verificar datos, hacía falta descender también a la cueva más profunda y estable que pudiera encontrarse para demostrar que ni temperatura ni CO<sub>2</sub> varían cuando no hay afección sísmica. La elegida fue la sima del Cerro del Cuvón en Picos de Europa, con 1.600 metros de profundidad y sin fenómenos sísmicos que reseñar. El problema de la sima asturiana era puramente técnico: está considerada una de



El objetivo es extraer información sobre si el cambio de temperatura se produce coincidiendo con el seísmo, es anterior o posterior e investigar cuál es el precursor en la curva de variación de la temperatura.

## Raúl Pérez, una experiencia dramática

“En 2011, en la sima CS9 de Cantabria, en una zona llana, a priori sin dificultad, se me dobló el tobillo, sin más, y me hice un esguince y me asusté. Estábamos a bastante profundidad y si esperábamos al equipo de rescate íbamos a tardar mínimo cinco días en salir y necesitaríamos un equipo de cincuenta personas. El bombero con el que iba me vendó y me propuso inmovilizarme, montar un punto caliente e ir a por la ayuda necesaria para sacarme. Al final decidí salir sólo con su ayuda. En condiciones normales habríamos salido en diez horas, pero, así, tardamos dos días. Cuando se curó el esguince, lo primero que hice fue entrar en una cueva porque sabía, que si no lo hacía, no volvería a entrar en una y sé que para responder a las preguntas que planteamos en Sismosima es necesario bajar todo lo que se pueda. No lo hago por placer, lo hago porque creo que es posible dar respuesta a cómo se disparan los terremotos entrando en estas cuevas... Cuando estás ahí abajo y pasa algo, lo primero que piensas es que no vas a volver a ver a tu familia. En las cámaras de fotos que llevó guardo videos cortitos de mi familia, de mis hijos, en la playa, en un entorno cálido y con luz. Verles ahí me anima a seguir luchando”.

las cuevas más difíciles del mundo. Tanto es así, que tras días y días de intentos, entre junio y septiembre de 2015, el equipo de Raúl Pérez, formado por más de cincuenta personas que entraban en relevo, no fue capaz de rebasar los 700 metros de descenso. “Una semana entraba un equipo y a la siguiente otro, montamos un campamento en profundidad para poder dormir, algunos hasta tres días -así se pierde la noción de la realidad, pues no varía nada, oscuridad absoluta y frío con un 98% de humedad...- La cueva, este año, nos ha vencido y eso que contábamos con el material adecuado y con espeleólogos que han bajado a más de 1.500 metros, pero cuando llueve hay que salir de allí por lo peligroso que resulta”.

Con todo y con eso, la sima del Cerro del Cuvón no ha sido la

peor experiencia que han vivido los colaboradores de Sismosima para situar los sensores. “La Sima del Vapor de Alhama de Murcia es el peor sitio en el que he estado en mi vida”, afirma Pérez. Paradójicamente la cueva sólo llega a los 80 metros de profundidad, pero la temperatura es de 43°, el nivel de oxígeno del 18% (lo normal es el 21), y el de CO<sub>2</sub> supera las 10.000 partes por millón (lo normal son unas 380 ppm). Es un ambiente hipóxico, deshidratante y asfixiante en el que es necesario entrar con equipo de respiración autónoma, un máximo de 40 minutos, y sirviéndose de unas técnicas para las que hay que entrenar durante meses.

También ya han situado sensores en la sima de Benis, en Cieza, y en la del Pulpo, en Calasparra. En Cantabria están funcionando

en la sima de Caballos-Valle o sima de la Luz y en la CS9, las más profundas de todo el proyecto, a 1.800 metros. En Pirineos hay sensores a 700 metros y en Andalucía, en la sima Gesm o sima de la Luz, a 1.200 metros. A todas estas localizaciones, hay que sumar las medidas puntuales obtenidas en una decena de cavidades profundas repartidas por toda España.

## PRIMEROS RESULTADOS

Los resultados no se han hecho esperar. Se ha verificado la relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> en las cuevas cercanas a las fallas y el desencadenamiento de terremotos. Se sabe que el aumento del CO<sub>2</sub> se produce coincidiendo temporalmente con el seísmo. Todavía son necesarias más observaciones y filtrar la cantidad de datos que se están registrando para concluir si el incremento del CO<sub>2</sub> tiene lugar un poco antes, un poco después, o de manera completamente simultánea. En el caso de que se produjese antes, con un par de minutos suficientes bastaría para dar una prealerta y evitar muchos de los daños que provoca un seísmo.

Raúl Pérez considera que lo que daría una dimensión enorme a Sismosima sería la concreción de una ecuación empírica que relacionara la cantidad de CO<sub>2</sub> y la energía liberada: “Con una ecuación de ese tipo podríamos saber si va a ocurrir un movimiento sísmico y hasta la intensidad que podría tener en un radio de 50 kilómetros a la redonda”. Con esta fórmula se podría acotar lugar y magnitud y se cumpliría un sueño de la comunidad científica: conocer los precursores de los terremotos. ■



La larga campaña polar de este año, la número XXVIII, se cerró de forma definitiva a comienzos del pasado mes de mayo con la llegada a su punto de partida del buque oceanográfico Hespérides.

EXPEDICIONES ESPAÑOLAS REGRESAN CADA AÑO PARA INVESTIGAR SOBRE EL CONTINENTE MÁS DESCONOCIDO

## A LA 'CONQUISTA' DE LA ANTÁRTIDA

La información obtenida en los más de 15 proyectos diseñados para la XXVIII Campaña a la Antártida, y en los que han participado un total de 80 investigadores, servirá para saber más sobre el magnetismo terrestre, los cambios que se producen en el clima, el comportamiento de los volcanes, la evolución de los glaciares, el ritmo del deshielo, las variaciones meteorológicas, las características de los líquenes, el avance de la contaminación... Incluso conocer el pasado que se conserva congelado bajo el hielo para prever lo que podría suceder en el futuro.

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**

Fotos: **CSIC**

**C**uando la zodiac se acerca a la costa antártica, hay años que apenas es visible el lugar donde las bases científicas españolas Juan Carlos I y Gabriel de Castilla tienen su

enclave desde hace 21 años. La nieve acumulada durante los últimos 10 meses las ha enterrado. Por ello, tras dos días de vaivenes para cruzar el Estrecho de Drake, y el cuerpo revuelto, no queda más remedio que coger la pala. “Todos colaboramos en despejar

los módulos. Llegamos cansados de viaje, pero siempre emociona abrir la puerta y enseguida nos entran las prisas por comenzar a investigar”, afirma el científico del Museo Nacional de Ciencias Naturales Andrés Barbosa, que –salvo algunos intervalos– lleva 20 años



visitando la Antártida para develar, como sus colegas, algunos de los misterios del continente más desconocido del planeta.

La larga campaña polar de este año, la número XXVIII, se cerró de forma definitiva a comienzos del pasado mes de mayo con la llegada a su punto de partida del buque oceanográfico Hespérides, el único de la flota científica española con capacidad para moverse entre las aguas heladas polares. Hacía casi un par de meses que las dos bases antárticas habían echado el cierre: en la Isla Livingston la Base Juan Carlos I lo hizo el 26 de febrero, justo un día después que la Gabriel de Castilla, en la cercana Isla Decepción. Atrás quedaban 100 días de intenso trabajo en el que este año han participado un total de 80 investigadores y 80 técnicos de doce países, un equipo que ha permitido que quince proyectos científicos hayan cumplido los objetivos con los que llegaron allí

a finales del año pasado. Para poderla llevar a cabo, nueve de los proyectos fueron financiados por el Gobierno con cuatro millones de euros, y el resto con fondos provenientes de la Unión Europea y diferentes países colaboradores de los otros seis restantes.

### INVESTIGACIONES ESENCIALES

Al regreso, las sensaciones han sido más satisfactorias que las de la campaña anterior cuando, debido a unos más limitados recursos económicos destinados a la investigación polar, el Hespérides no pudo viajar hasta la Antártida y apenas un pequeño grupo de científicos españoles se acercó a las bases, gracias al apoyo de colegas extranjeros, para no perder la secuencia de datos registrados durante décadas de esfuerzo. Y es que esta información es precisamente la que permite saber cómo evolu-

ciona el cambio climático en este inmenso y prístino laboratorio terrestre, detectar la evolución de la vida en los organismos que lo habitan, alertar de la contaminación que está llegando hasta el confín blanco, conocer el pasado que conserva congelado bajo el hielo o aventurar lo que puede suceder en el futuro a tenor de las tendencias actuales.

Las primeras campañas a la Antártida de científicos españoles fueron mucho más duras que la de ahora. Eran tiempos en los que las comunicaciones se establecían por radio, y por tanto inestables, con ropa técnica mucho menos aislante del frío y los espacios para convivir con pocas comodidades para una larga temporada. Aún así, todo un lujo respecto a los campamentos que montaron a comienzos del siglo XX personajes tan míticos como Roald Amundsen, Robert Scott o Ernest Shackleton, auténticos pioneros en el continente.

## La cartera de trabajos realizados en esta campaña rebosa de información para analizar en los próximos meses: la evolución de los glaciares, la investigación del magnetismo terrestre, el comportamiento de los volcanes, la meteorología, los líquenes, las pruebas de contaminantes

Aunque hubo barcos de la flota española por esas aguas en aquellos tiempos, fue el científico catalán Antoni Ballester el primero en percatarse del potencial que tenía aquel territorio para este país. Ballester había viajado hasta allí por primera vez en los años 60 invitado por los belgas. “Siempre decía que en la Antártida estaba el futuro de la ciencia porque acumulaba la memoria viva del planeta. Y durante 17 años nadie le hizo caso, pero él siguió luchando para que España investigara allí”, comenta la oceanógrafa Josefina Castellví, otra pionera de los hielos.

### EL EMBRIÓN DE LAS BASES ESPAÑOLAS

Ante el riesgo de que España se quedara fuera del Consejo de la Antártida, que rige su destino desde los años cincuenta del pasado siglo, en 1986 Ballester y Castellví, junto con otros dos científicos, Agustí Julià y Joan Rivera, se embarcaron en la aventura de buscar un lugar en aquel lejano continente, donde muchos pensaban “que no se nos había perdido nada”. Querían instalar una base científica y encontraron la ubicación perfecta en las islas Shetland del Sur, al pie de un monte, al que se puso el nombre de Reina

Sofía, que está rodeado por las estribaciones montañosas y los glaciares de la península Hurd. En concreto, en la Isla Livingston, bautizada con el nombre del famoso explorador africano.

La tienda de campaña que les dejaron unos científicos polacos de una base cercana, que aún sigue siendo vecina, fue el embrión de lo que hoy es un programa científico consolidado y con prestigio a nivel mundial. Dos años después de aquella precaria expedición, y de nuevo con ayuda de la misión polaca, unos contenedores finlandeses que estaban en venta se convirtieron en los habitáculos que permitirían contar con una residencia y laboratorios en aquel poco accesible territorio. Muy pronto, la Armada española anunció que estaba dispuesta a servir de apoyo a las campañas, tanto con militares como con sus propios investigadores.

Al año siguiente, en la cercana isla de Decepción se instaló un primer refugio militar, bautizado Gabriel de Castilla, para apoyar a unos trabajos de investigación programados. Nació así lo que acabó siendo la segunda base, en marcha desde el año 1989. Mientras, en Las Palmas de Gran Canaria, aprovechando esta fiebre polar, se construía el BIO

Hespérides, un rompehielos con 11 laboratorios a bordo que fue botado en el 90. Además, la flota polar contaba con un buque remodelador, Las Palmas, que había sido reformado para trasladar a aquellos primeros españoles en la Antártida, un barco que siguió activo hasta que en 2012 fue retirado de forma definitiva.

### CAMPAÑA XXVIII

En esta última campaña, como siempre en el verano austral, y también como casi siempre a caballo entre dos años, la cartera de trabajos realizados rebosa de información para analizar en los próximos meses: la evolución de los glaciares, la investigación del magnetismo terrestre, el comportamiento de los volcanes, la meteorología, los líquenes, las pruebas de contaminantes... Proyectos que duran años y que ayudan, entre otras cuestiones, a aproximarse a temas de tanto impacto como los cambios que tendrán lugar si el deshielo se acelera, o que se aplican en situaciones muy distantes y distintas, como ocurrió con técnicas desarrolladas en Isla Decepción, que se emplearon en 2011 en la erupción del volcán submarino en El Hierro. “Hace años que se trabaja sobre el vulcanismo en esta isla, porque es muy activa; hasta el punto que cada año, antes de desembarcar, tenemos que cumplir un protocolo de seguridad para evitar problemas una vez en tierra”, explica Barbosa.

Son muchos los que reconocen que sienten una emoción especial a medida que se acercan al Polo Sur. “Es fascinante, la Antártida es el 10% de las tierras emergidas, el continente más alto (2.000

metros de media), el más frío (mínimo mundial de  $-89^{\circ}\text{C}$ ), el más ventoso (vientos a 340 kms/h), el más helado (el 92% del hielo mundial), el menos habitado y el más protegido, por un tratado entre 50 países. Es un lugar imprescindible para estudiar el calentamiento global y los hielos", responde Jerónimo López cuando se le pregunta por la utilidad del elevado coste de la ciencia polar.

Las investigaciones, como las mencionadas sobre el seguimiento volcánico o los pingüinos, llevan 20 años de desarrollo en la base Gabriel de Castilla, pues es allí donde están las colonias de estas aves polares, o donde hay un volcán activo que monitorear. Otras, sin embargo, se reparten entre ambas bases, siempre según sea el objeto del estudio que se quiere emprender o el lugar donde se iniciaron en su día.

Así, el biólogo de la Complutense Leopoldo García Sancho lleva

muchos años en las cercanías de la Juan Carlos I analizando la evolución de diferentes organismos vivos cuando se retiran los glaciares y cómo les afecta el cambio que está experimentado el clima en la Tierra. Hoy es uno de los grandes expertos mundiales en estos trabajos, e incluso ha participado en un proyecto de la Agencia Espacial Europea para llevar líquenes polares al espacio a bordo de un satélite.

Una labor importante durante la pasada campaña, dirigida por Miguel Angel Olalla, fue la erradicación de una especie invasora, la *Poa Pratensis*, localizada en la base argentina Primavera, en un lugar conocido como Caleta Cierva. Se trata de una gramínea que se llevó desde Argentina en los años 60 y que se había adaptado tan bien a este entorno que comenzaba a proliferar, convirtiéndose en un auténtico peligro. Más de 500 kilos de estas plantas

fueron arrancadas y traídas hasta España. La labor formó parte de un proyecto más general que ha analizado también los riesgos y el impacto del creciente número de turistas, que pisotean las praderas de musgo.

Por su parte, el equipo de Jordi Dach, del CSIC, se ha traído de un buen número de muestras de hielo, suelos, nieve, placton, aire y vegetación para comprobar cuáles de los 100.000 contaminantes químicos que utiliza el ser humano en nuestras sociedades avanzadas han llegado, empujados por el viento, hasta la Antártida, donde permanecen mucho más tiempo que en nuestro entorno debido a que las bajas temperaturas los conservan como si de un frigorífico se tratase. Pero, ¿qué impacto pueden tener en el continente?, ¿se acumulan? Estas son algunas de las cuestiones a las que Dach quiere dar respuesta desde hace años.



Durante 100 días de intenso trabajo 80 investigadores y 80 técnicos han llevado a cabo quince proyectos científicos en las bases Juan Carlos I, en la imagen, y Gabriela de Castilla.

## Más de 2.000 investigadores

Desde que se crearon las Bases Juan Carlos I (1988) y Gabriel de Castilla (1989), casi 2.000 investigadores han pasado por los dos enclaves, muchos en reiteradas ocasiones, y a ellos hay que sumar las visitas de colegas extranjeros con los que colaboran. Gracias a su labor, la ciencia polar española ocupa hoy un lugar entre el puesto 6 y 10 en número de publicaciones científicas y en citas a nivel mundial, una cifra nada desdeñable teniendo en cuenta que se empezó 35 años después que los países del entorno. Es más, en la actualidad, el biólogo Jerónimo López, de la Universidad Autónoma de Madrid, es quien preside el Comité Científico para la Investigación en la Antártida (SCAR), el organismo internacional que coordina la ciencia en el continente. “Los resultados de tantas campañas, porque han sido muchas, y todas multidisciplinarias y muy intensas, están en cientos de artículos. Es imposible enumerar todos sus resultados pero la realidad es que estamos muy satisfechos con nuestra posición, y que no la podemos perder”, apunta Antonio Quesada, biólogo y gestor de los proyectos científicos en el Comité Polar español.

“En mi caso llevo viajando a la Antártida desde 1994 para estudiar las poblaciones de pingüinos de dos especies, barbijo y adelia, con el fin de analizar cómo están disminuyendo sus poblaciones debido al cambio climático. Es impresionante estar rodeado de 40.000 pingüinos en ese lugar. Y cada viaje es distinto. Poco a poco he ido viendo cómo las condiciones de habitabilidad mejoraban. Ahora, en la Gabriel de Castilla ya tenemos telemedicina y cierto confort, pero los primeros años fueron muy duros, eran tiempos en los que no podían venir mujeres porque no había espacio para tener habitaciones separadas”, reconoce Barbosa, que mantiene vivo el espíritu polar durante todo el año organizando seminarios científicos en el Museo Nacional de Ciencias Naturales.



El equipo del CSIC ha traído de un buen número de muestras que permitirán comprobar cuáles de los 100.000 contaminantes químicos que utiliza el ser humano han llegado hasta la Antártida.

## ESTUDIOS VARIADOS

No menos interesante es el proyecto puesto en marcha por el profesor Francisco Navarro, de la Politécnica de Madrid, en la Península de Hurd de Isla Livingston. Junto con un grupo de colegas japoneses, buscaba analizar la evolución de las masas de los glaciares Johnsons y Hurd, puesto que su dinámica depende en buena medida de la cantidad de agua que hay en su lecho, así como de la temperatura del hielo. Para ello, hicieron sondeos de entre 150 y 200 metros de profundidad con agua a presión hasta llegar al lecho, donde tomaron medidas y recogieron muestras de los sedimentos y los microorganismos que pudiera haber. “Fue una operación de cierta complejidad. Para instalar instrumentos en el glaciar necesitábamos 10.000 litros de agua, pero cuando llegamos no había y encima el acceso era difícil, así que hubo que llevarlos en barriles en un trineo con moto de nieve desde dos kilómetros de distancia. Tampoco fue sencillo llevar hasta allí las máquinas de sondear, que pesan casi 200 kilos. Hubo que trasladarlas a hombros, ayudándonos de unos tubos. Afortunadamente, al final todo salió bien”, comenta Navarro, que se ayudó de drones para realizar ortofotografías digitales de la superficie de los glaciares.

Si trabajo dio el agua, no menos supuso la nieve. “La de este año sido una campaña de muchas nevadas y eso supone perder mucho tiempo quitándola, así que en la siguiente nos vamos a plantear ir más tarde para no perder tanto tiempo haciendo túneles de acceso a los módulos. Además, esperamos recuperar el ritmo perdido con la crisis econó-

mica y alcanzar los dos centenares de investigadores”, aventura Quesada, que espera también que se reanuden las obras de reforma de la Juan Carlos I.

La remodelación se inició en 2009 para mejorar unas instalaciones que se habían quedado obsoletas. El plan era terminarlas en 2011, pero quedaron paradas con los recortes. Para entonces ya se había colocado la estructura exterior de los módulos, que se ha fabricado con un material de poliéster reforzado con fibra de vidrio, el mismo material que se emplea en el AVE o en los Airbus, pero falta acondicionarlos por dentro. “Parece que hay interés en terminarlas el año próximo”, señala el director científico.

De los quince proyectos, hay algunos que se han llevado a cabo a bordo del buque Hespérides, que es un laboratorio flotante. Allí, el equipo del biólogo Rafael Simó, del Instituto de Ciencias del Mar, puso en marcha el Pegaso, un trabajo que tiene por objeto descubrir

### Base científica móvil

Ya comienza a hablarse de una innovadora posibilidad que en el futuro podría ser una 'base científica móvil' con la que los científicos españoles podrían dejar las islas para adentrarse en el territorio continental. Se trata del Trineo de Viento, un vehículo movido por cometas desarrollado por el explorador polar español Ramón Larramendi, que aprovecha la fuerza de los vientos antárticos para moverse por la llana superficie helada. Este año, en una expedición de prueba, la primera circunnavegación de Groenlandia por el hielo, el vehículo eólico logró recorrer 4.300 kilómetros arrastrando 1.500 kilos de peso. Ya realizaron varios experimentos. “Hemos tenido ya contactos con responsables de la secretaría de Estado de Investigación y hay interés en utilizar sus posibilidades con proyectos concretos diseñados para el continente”, adelanta Larramendi.

el efecto del fitoplacton marino en la formación de las nubes: en definitiva, comprobar si hay seres vivos afectando al clima, y no a la inversa. Este extraño fenómeno se explica porque el fitoplacton emite sustancias que, una vez en la atmósfera, pueden generar lluvia, pero se desconoce su patrón de comportamiento.

Para averiguarlo, se instalaron grandes embudos en la cubierta que recogieron muestras de aire entre Georgia del Sur y el Mar de Wedell que ya se están analizando.

También a bordo del rompehielos se desarrollaron trabajos para analizar las corrientes, la biodiversidad del zooplacton y los sedimentos de los fondos marinos, trabajos que se realizaron cuando la instalación flotante iniciaba ya su lento viaje de vuelta, cargado de materiales para muchos meses de trabajo.

De momento, a día de hoy, el equipaje traído de la Antártida se desmenuza en laboratorios repartidos por todo el territorio nacional. Mientras en los despachos ya se prepara la siguiente campaña estival a bajo cero. Hasta entonces, en ese pedazo de la 'España polar', a 12.471 kilómetros de distancia de la Península, la vida está congelada. ■



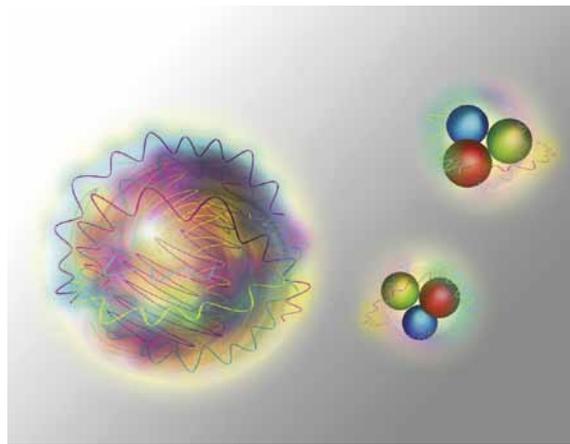
Integrantes de la campaña XXVIII del CSIC junto a un iceberg.

## LA PARTÍCULA $f_0(1710)$ PODRÍA SER LA BUSCADA 'BOLA DE GLUONES'

Los profesores Anton Rebhan y Frederic Brünner, de la Universidad Técnica de Viena, han determinado, utilizando cálculos gravitacionales en múltiples dimensiones, que la partícula  $f_0(1710)$  podría ser la 'bola de gluones' que los científicos buscan desde hace décadas. Se trata de una partícula exótica hipotética, que estaría formada sólo por gluones, las partículas que unen a las que forman el núcleo de los átomos a través de la fuerza nuclear fuerte.

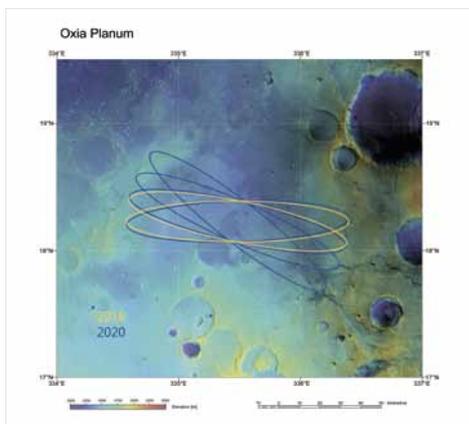
Las 'bolas de gluones' son inestables y sólo pueden ser detectadas indirectamente, mediante el análisis de su decadencia. Los profesores han empleado un nuevo enfoque teórico para calcular esa decadencia. Sus resultados concuerdan con los datos de los experimentos con aceleradores de partículas. Esta es una fuerte evidencia de que una resonancia llamada  $f_0(1.710)$ , que se ha encontrado en varios experimentos, es el largamente buscado 'gluonío'.

Varias partículas encontradas en experimentos con aceleradores de partículas se consideran can-



Los nucleones (izquierda) constan de quarks (partículas de materia) y gluones (partículas de fuerza). Una bola de gluones está compuesta exclusivamente por gluones. Fuente: TUWien

didatas viables para ser la bola de gluones, pero nunca ha habido consenso científico sobre ello. Para algunos científicos, esto parecía inverosímil, porque las interacciones de gluones no suelen diferenciar entre quarks más pesados y ligeros. Rebhan y Brünner han dado ahora un gran paso en la solución de este rompecabezas. En los próximos meses, se espera que los experimentos en el Gran Colisionador de Hadrones y en el acelerador en Pekín (BESIII) produzcan nuevos datos. ■



Las elipses de aterrizaje bajo evaluación para la selección del sitio cubren un área de 104 x 19 kilómetros.

## EXOMARS YA TIENE 'APARCAMIENTO'

La Agencia Espacial Europea (ESA) tienen previsto que la nave de la misión ExoMars aterrice en Marte en enero de 2019, y que lo haga en la región marciana de Oxia Planum. Esta aventura científica, que desarrolla la ESA con la rusa Roscosmos, tiene como objetivo buscar rastros de vida en la superficie del 'planeta rojo'. La misión despegará en enero de 2016 y llegará a Marte nueve meses después. En 2018, expulsará el módulo Schiaparelli destinado a recorrer parte de la superficie marciana, que se espera llegue a su destino en enero de 2019. El vehículo podrá extraer muestras de hasta dos metros de profundidad, a lo largo de una travesía de 2 kilómetros, en busca de pruebas de la existencia de vida en Marte, pasada o actual, en una región en la que abundase el agua en algún momento de su historia. La misión durará 218 días marcianos (cada día tiene 24 horas y 37 minutos). ■

## CÉLULAS QUE RIGEN EL 'RELOJ' ESTACIONAL EN LOS ANIMALES

Científicos de las universidades de Manchester y Edimburgo han descubierto unas células que impulsan el reloj biológico de los animales, y adaptan su cuerpo a los cambios de estación. En una estructura llamada la 'pars tuberalis', en la glándula pituitaria, hay células especializadas que responden según la cantidad de luz, proporcionando un calendario genético interno al animal. La actividad de las células cambia durante el año, con diferentes proteínas producidas en los meses de invierno o verano. ■

## RÉCORD DE TELEPORTACIÓN CUÁNTICA

El National Institute of Standards and Technology (NIST), en Estados Unidos, ha 'teletransportado' información cuántica con partículas de luz a más de 100 kilómetros de fibra óptica, cuatro veces más lejos que el récord anterior. La teleportación implica la transferencia de información codificada en los estados cuánticos de materia o luz, y ofrece nuevas capacidades, como el cifrado irrompible y descifrado de códigos. ■



WESTINGHOUSE DECOMMISSIONING  
AND REMEDIATION SERVICES

GLOBAL PROJECT EXPERIENCE  
ADVANCED TECHNOLOGY

Westinghouse provides comprehensive, integrated services and solutions to the decommissioning and dismantling (D&D) and waste management industries. We have extensive experience in the dismantling of nuclear installations, from uranium mill plants to nuclear power plants. We provide state-of-the-art solutions for spent fuel services and for the treatment and handling of radioactive waste. Westinghouse offers proven solutions for the interim storage and final disposal of low-, intermediate- and high-level waste.

Our dedication to a cleaner environment extends to servicing existing nuclear power plants and managing by-products in an environmentally responsible manner.

For more information, visit us at [www.westinghouse\*\*nuclear\*\*.com](http://www.westinghouse<b>nuclear</b>.com)





# EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

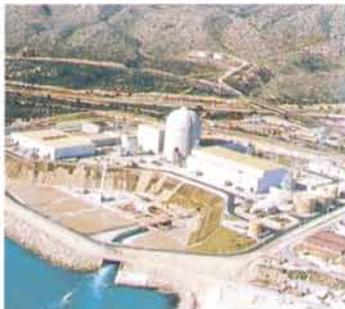
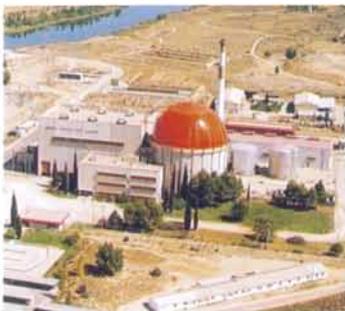
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

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

■ Tecnología

■ Experiencia

■ Dedicación



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

EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. es una Agrupación de Interés Económico (Ley 12/1991 de 29 Abril) constituida por GHESA, TRSA, IBERDROLA Ingeniería y Construcción S.A.U., TRPI y GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING, S.L.U.

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