

# ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

## Carbono 14, el detective del pasado

Proyecto PEBS: mejorar el conocimiento de barreras naturales para aislar residuos

Francisco José Ayala, especialista en biología evolutiva: “Vivimos en el mejor de los mundos posibles”

Finaliza el montaje de la gran carpa que cubre la celda 30 en El Cabril

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.westinghousenuclear.com](http://www.westinghousenuclear.com)



# UN AÑO DE INTENSA ACTIVIDAD TÉCNICA

Los finales de año son tiempos de repaso y análisis de las actividades realizadas y de los nuevos retos que se presentan. En Enresa, el año concluido ha sido un periodo de intensa actividad técnica. Intensa porque en todos nuestros proyectos se han alcanzado importantes hitos técnicos, que se han seguido con profundo interés por la comunidad científica internacional; pero también complejo porque la empresa está inmersa en el proceso de licenciamiento de una instalación que surge de un mandato expreso del Parlamento nacional en el año 2004, con el apoyo por mayoría de todos los grupos políticos, y que requiere los permisos y autorizaciones administrativas de diferentes organismos e instituciones.

El Almacén Temporal Centralizado (ATC) que Enresa construirá en Villar de Cañas (Cuenca) viene a dar una solución a la gestión integral de los residuos radiactivos de alta actividad y el combustible gastado de las centrales nucleares españolas, siguiendo el modelo adoptado en otros países europeos que ya disponen de una instalación de este tipo en funcionamiento. El 27 de julio, el Consejo de Seguridad Nuclear informaba favorablemente sobre la autorización previa para la construcción de esta instalación, siendo ahora el Ministerio de Industria, Energía y Turismo quien ha de otorgar la Autorización Previa de Construcción, previa Declaración de Impacto Ambiental por parte del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

La gestión de los residuos radiactivos de baja y media actividad en El Cabril cierra un año caracterizado por la normalidad en sus actividades, en la que, al margen de la correcta operación del centro, destaca el final de la obra civil de la 'celda 30' de la instalación complementaria para residuos radiactivos de muy baja actividad. Una instalación que presta un gran servicio al desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera, que lleva a cabo esta empresa pública.

En febrero se cumplían cinco años desde que Enresa asumiera la titularidad de esta instalación nuclear para su desmantelamiento. Un lustro de trabajo en el que han alcanzado muchos hitos. Entre ellos, el desmontaje y corte de los componentes internos del reactor y la extracción y corte de la vasija del reactor, durante este año, un proceso con el que se ponía punto final al desmontaje de los componentes del circuito primario de la central. El desmantelamiento de esta central alcarreña es objeto de un intenso seguimiento internacional por la puesta a punto de nuevos procedimientos y herramientas para desarrollar el trabajo, constituye un escaparate al exterior de las capacidades de España y especialmente de los técnicos de Enresa, en el desarrollo de proyectos tan complejos. En los últimos meses del año, se ha iniciado el corte y retirada del hormigón de las cavidades del reactor y del foso de combustible gastado de la central, y se ha comenzado la descontaminación de las paredes y suelos de los edificios auxiliar y de contención.

Durante 2015 en Vandellós I, en Tarragona, se han realizado las pruebas quinquenales del cajón del reactor con la inspección y el análisis de los elementos internos. Para ello se extrajeron diferentes muestras de los aceros próximos al núcleo del reactor, se tomaron medidas radiológicas de la atmósfera interna y se realizaron las pruebas de verificación de la estanqueidad del cajón del reactor. Los resultados están siendo analizados actualmente, pero todo indica que, como en ocasiones anteriores, todos los parámetros se encuentran dentro del rango previsto y establecido.

A estas actividades y dentro de las misiones encomendadas a Enresa como empresa de servicio público, se suma la atención dedicada a la gestión de residuos de pequeños productores, o la puesta en marcha y seguimiento de los avances en los proyectos de investigación del 7º Plan de I+D de Enresa, en el que participan más de un centenar de equipos de trabajo de universidades y organismos de toda España. Además, la empresa ha continuado desarrollando una importante actividad internacional, tanto en el ámbito de la asesoría técnica como en el de colaboración con organismos y empresas homólogas de todo el mundo. Todo ello dentro de una dinámica de formación continua de sus técnicos y de poner en valor las actividades que la empresa lleva a cabo dentro de la hoja de ruta establecida en el vigente Plan General de Residuos Radiactivos. ■

## 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

### Realización:

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

**Consejero delegado Wolters Kluwer:**  
Vicente Sánchez

**Jefe de Publicaciones Wolters Kluwer:** Fernando Cameo

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

**Coordinadores Wolters Kluwer:** Salomé González y Sergio Gavilán

### Redactores y colaboradores:

Pablo Almera, Ana Ayala, Bruno Díaz, Germán Hesles, Irina Gaus, Natividad Gavira, Esmeralda Mardomingo, Nuria Prieto, Pura C. Roy, Ricardo Tapia, Rosa M. Tristán, Vicky Vale y Susana Velasco.

**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.





SUMARIO

PÁGINA 17



PÁGINA 24



PÁGINA 28



PÁGINA 44

# SUMARIO

## EDITORIAL

Un año de intensa actividad técnica . . . . . 3

## ACTUALIDAD ESTRATOS

Enresa y la Rovira i Virgili investigan los mecanismos de formación de dióxido de carbono en Vandellós I . . . . . 5

Extraídos los primeros bloques de hormigón de las cavidades del reactor de José Cabrera . . . . . 6

Un nuevo espacio multiusos en Zorita . . . . . 6

Finaliza el proyecto para asesorar a México en el desarrollo de un sistema de gestión de residuos . . . . . 7

Enresa participa en una misión del OIEA para un posible programa nuclear en Chile . . . . . 7

El Cabril finaliza el montaje de la gran carpa que cubre la celda 30 . . . . . 8

El presidente de la Agencia de Gestión de Residuos Radiactivos Rumana visita El Cabril . . . . . 9

El CSN ampliará de 25 a 200 la red de estaciones de vigilancia radiológica ambiental . . . . . 10

## I+D

PEBS: un reto internacional para mejorar el conocimiento de las barreras naturales para aislar los residuos radiactivos a largo plazo . . . . . 11

## INTERNACIONAL

Audacia y visión: la gestión de residuos radiactivos en Francia . . . . . 17

## ENTREVISTA

Francisco José Ayala, genetista y experto en biología evolutiva . . . . . 24

## ASTROFÍSICA

Observar rayos gamma para saber cómo funcional el Universo . . . . . 28

Un cazador de radiación cósmica . . . . . 32

## SIERRA DE ALBARRANA

La Casa Cardona y el modernismo de principios del siglo XX . . . . . 38

Sendero del río Bembézar, una travesía única . . . . . 40

Actualidad Sierra de Albarrana . . . . . 42

## ANTROPOLOGÍA

Un detective del pasado llamado Carbono 14 . . . . . 44

## MEDIOAMBIENTE

Refugio para los animales incautados por tráfico ilegal . . . . . 50

Proyecto PaleoNao: cómo conocer el patrón de las lluvias . . . . . 54

## DIVULGACIÓN

Los nombres de la Ciencia . . . . . 58

## TECNOLOGÍA

Llegan los tejidos inteligentes capaces de reaccionar ante cada necesidad . . . . . 62

NOTICIAS CIENCIA . . . . . 66

## ENRESA Y LA ROVIRA I VIRGILI INVESTIGAN LOS MECANISMOS DE FORMACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL CAJÓN DEL REACTOR DE VANDELLÓS I



Vista general del cajón del reactor de Vandellós I.

de I+D es que este aumento de  $\text{CO}_2$  puede ser debido a procesos de oxidación del grafito por efecto de radiólisis (reacción con radiación alfa, beta y gamma), algo habitual con este tipo de materiales.

El cajón del reactor de Vandellós I contiene en su parte superior un apilamiento de bloques de grafito, con un peso de unas 2.400 toneladas. La humedad presente en el interior del reactor y el propio aire pueden generar, por radiólisis, la formación de diferentes tipos de radicales y especies químicas como hidroxilos, ozono, protones, átomos de oxígeno, etc. Estas especies primarias pueden producir la oxidación del grafito a nivel superficial a temperatura ambiente. Por otra parte, estas especies radicalarias pueden reaccionar entre ellas formando otras que también pueden ser activas para esta reacción de oxidación del grafito, generando  $\text{CO}_2$ .

Dilucidar los posibles mecanismos que originan la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en el cajón del reactor de Vandellós I es el objetivo principal del proyecto de investigación que han puesto en marcha Enresa y la Universidad Rovira i Virgili (URV) de Tarragona y que estará dirigido por el catedrático del Departamento de Ingeniería Química de la URV, Francisco Medina, y el investigador y responsable de I+D del Centro de Innovación Tecnológica AMIC, Antón Ivanov.

A raíz de otro proyecto de investigación llevado a cabo en 2014 por esta misma universidad en el cajón del reactor de Vandellós I, se analizaron los gases producidos en su interior mediante un

analizador detector de masas, hallándose una concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire del cajón del reactor del orden de tres veces superior al presente en la atmósfera exterior (lo que no supone ninguna variación en la correcta conservación y mantenimiento del reactor). Por otra parte, se observó que, en un periodo de seis meses, se había producido un ligero aumento de la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el interior del cajón del reactor, pasando los valores medidos de 1.200 partes por millón (ppm) a unos 1.500 ppm, lo que suponía un incremento de 0,3 milibares, y la formación de  $1,5 \text{ m}^3$  de  $\text{CO}_2$ .

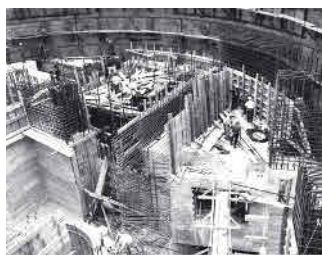
La principal hipótesis de partida que se plantea en este proyecto

El proyecto se va a ejecutar en cinco fases que se inician con una búsqueda bibliográfica exhaustiva para documentar sucesos similares. Posteriormente se abordará la caracterización del grafito irradiado y no irradiado, antes y después del tratamiento oxidativo, mediante diferentes técnicas de caracterización. La tercera fase del proyecto se centrará en la realización de pruebas de oxidación del grafito para, a continuación y en una nueva fase, comparar los resultados experimentales obtenidos con los de las referencias bibliográficas. El análisis e identificación de los gases que se generan en el cajón del reactor de Vandellós I será el último paso de este proyecto de investigación. ■

# EXTRAÍDOS LOS PRIMEROS BLOQUES DE HORMIGÓN DE LAS CAVIDADES DEL REACTOR DE JOSÉ CABRERA



Detalle de la retirada de uno de los bloques de hormigón de la pared de separación de cavidades. Pesa 17 toneladas y tiene un volumen de 7 metros cúbicos.



Imágenes de la etapa de construcción de la central nuclear José Cabrera, a mediados de la década de los 60. Se puede apreciar la envergadura de las estructuras de los muros de hormigón armado sobre las que se está trabajando ahora para su retirada.

procede a su caracterización en la cota superior del edificio de contención para, posteriormente, descender por el hueco de equipos y salir por el edificio auxiliar.

En total, y mediante la técnica de corte con hilo de diamante, de las cavidades de recarga y blindaje biológico se van a cortar 244 bloques de hormigón, que irán saliendo de forma periódica a medida que avancen las tareas de segmentación, con una previsión inicial de extracción de unos dos bloques diarios. El peso total de toda esta cantidad de hormigón es de 1.900 toneladas.

En paralelo al desarrollo de estos trabajos, han comenzado también las labores de descontaminación de las paredes y de los suelos de los edificios de contención y auxiliar. Una vez que finalicen, estos edificios estarán listos para su desclasificación y posterior demolición. Se va a actuar en una superficie total de más de 23.300 metros cuadrados. ■

Los trabajos de retirada del hormigón de las cavidades del reactor y foso de combustible gastado de la central nuclear José Cabrera avanzan según el programa establecido. Así, y de acuerdo con las previsiones, ya se han trasladado al almacén de residuos

número 3 de la instalación los primeros 'bloques' de hormigón en los que se están segmentando estas estructuras del edificio de contención.

Antes de salir al exterior del recinto con destino al almacén, se

## ZORITA CONTARÁ A PRINCIPIOS DE 2016 CON UN NUEVO ESPACIO MULTIUSOS

A principios de 2016, las labores formativas y de atención de las personas que visiten José Cabrera se realizarán en el aula polivalente que se está instalando en la central. El nuevo espacio, de 200 m<sup>2</sup>, cuenta con una recepción, herramientas informativas audiovisuales, así como un área con capacidad para cuarenta personas en la que desarrollar las acciones formativas necesarias para los trabajadores del emplazamiento, *workshops* y la atención a visitantes.

Su puesta en marcha dota a la instalación de espacios y aplicaciones

de comunicación muy útiles para la atención a los numerosos colectivos interesados en conocer el proyecto que Enresa desarrolla en Zorita. Desde que la compañía asumiera su titularidad, en 2010, 3.400 personas han visitado la planta. Entre otros colectivos, expertos en gestión de residuos radiactivos, ingenieros nucleares o profesionales de organismos reguladores de Francia, Alemania, Estados Unidos, Bélgica, Australia, Brasil, Rumanía, Argentina, Eslovaquia, Ucrania, Suecia, China o Japón, han conocido in situ la evolución y los pormenores del proyecto. ■



Aspecto final que tendrá el nuevo aula multiusos de la central nuclear José Cabrera.



Instante del montaje del nuevo espacio polivalente de la central de Zorita.

## FINALIZA CON ÉXITO EL PROYECTO LIDERADO POR ENRESA PARA ASESORAR A MÉXICO CON SU SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS



Representantes mexicanos y europeos durante la reunión de cierre del proyecto.

El director de Ingeniería, Pablo Zuloaga, y el jefe del departamento de Relaciones Internacionales de Enresa, Mariano Molina participaron los días 6 y 7 de octubre en una reunión de cierre para exponer las conclusiones del proyecto liderado por la empresa pública española para elaborar una propuesta de política y de plan general de residuos radiactivos en México. El proyecto también incluía la optimización técnico-económica de la gestión de los residuos radiactivos en la central nuclear de Laguna Verde.

A la reunión, celebrada en México DF, asistieron el subsecretario de electricidad mexicano, el director general de la Comisión Federal de Electricidad de dicho país, la directora general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), así como un representante de la Unión Europea que es la responsable de la financiación del proyecto.

Enresa presentó en dicha reunión las conclusiones más importantes de un proyecto que ha durado tres años, y en el que han participado además tres empresas españolas (Iberdrola, Westinghouse y Empresarios Agrupados) y dos extranjeras (COVRA y Belgoprocess).

Las propuestas resultantes expuestas por Enresa tuvieron muy buena acogida entre los representantes mexicanos quienes pusieron de manifiesto la necesidad de actualizar su legislación para hacer frente a las prácticas actuales en gestión de residuos radiactivos reconocidas en el marco internacional. ■



A la derecha, Pablo Zuloaga, de Enresa, con representantes de los sectores eléctrico y nuclear mexicanos.

## ENRESA PARTICIPA EN UNA MISIÓN DEL OIEA PARA REVISAR EL DESARROLLO DE UN POSIBLE PROGRAMA NUCLEAR EN CHILE

Durante el mes de octubre Enresa participó, bajo el papel de experto asesor, en una misión del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para revisar el desarrollo de un posible programa nuclear en Chile. En concreto, Emilio García Neri, técnico de relaciones internacionales de Enresa, revisó la documentación relativa a los residuos radiactivos en el ciclo nuclear del país andino.

Esta misión es continuación de otra precedente que ya revisó sendos documentos en relación a sismicidad y potenciales emplazamientos. En esta ocasión, además de la participación de Enresa, la misión contó con un experto de Electronuclear de Brasil que analizó la documentación relativa a la red eléctrica y al estudio económico; y con otro de Argentina quien contribuyó con un análisis de los documentos desde el punto de vista de la Comunicación.

Representantes del Ministerio de Industria chileno y de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) transmitieron tanto a los expertos como al OIEA su agradecimiento por el asesoramiento recibido. ■

## EL CABRIL FINALIZA EL MONTAJE DE LA GRAN CARPA QUE CUBRE LA CELDA 30 PARA RESIDUOS DE MUY BAJA ACTIVIDAD



Avance de las obras de la celda 30.

En el mes de octubre finalizó el montaje de la gran carpa que cubre la nueva celda de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja actividad, la denominada Celda 30, que está previsto entre en funcionamiento en el primer trimestre de 2016.

Esta celda es la segunda que se construye, de las cuatro autorizadas para almacenar residuos de muy baja actividad, en El Cabril, y está próxima a la Celda 29, la primera que se construyó para este tipo de residuos. Ambas se ubican sobre depresiones naturales del terreno, quedando cerradas por un dique de contención (dique de escollera) formado por rocas de entre 100 y 500 Kg, que por diseño tienen una alta densidad, 2.800 Kg/m<sup>3</sup>, y una resistencia a la compresión cercana a los 1.000 Kg/cm<sup>2</sup>.

Las celdas de almacenamiento para residuos de muy baja actividad constan de un vaso excavado sobre el terreno en el que se superponen distintas capas de protección, drenantes e impermeabilizantes, sobre las que se disponen los residuos. Una vez completada la capacidad de la celda, ésta se sella con otra serie de capas de características similares a las anteriormente mencionadas. Además de la barrera geológica, la celda dispone de una red de recogida de lixiviados, drenajes pluviales y un depósito de control de lixiviados.

Durante la fase de operación, la celda estará protegida por una cubierta desmontable que resguarda los residuos mientras se llevan a cabo las actividades de almacenamiento. Esta cubierta tiene una dimensiones de 122 metros de longitud, 53 de anchura y 15 de altura en el punto más alto, que, sumados a los cinco metros de profundidad del vaso, resulta una altura total de 20 metros. Está diseñada para soportar un carga al viento de 100 Kg/m<sup>2</sup>, estando por ello los pórticos unidos a 210 zapatas de hormigón armado con un peso total de aproximadamente 1.500 toneladas. Y, aunque las nevadas en El Cabril son muy in-

frecuentes, la carpa soporta una carga de nieve de 40 Kg/m<sup>2</sup>.

En caso de terremoto, la cubierta aguantaría una aceleración horizontal de 1,17 m/s<sup>2</sup> y una aceleración vertical de 0,78 m/s<sup>2</sup>. Con el fin de utilizar la luz solar, sin que ésta llegue a ser un inconveniente en verano dejando pasar demasiado calor, la lona de PVC que cubre la carpa es un 50% translúcida en las paredes y opaca en el techo. Además, está provista de iluminación artificial -incluyendo la de emergencia-, monitores de radiación y equipo de extinción de incendios. Dos ventiladores minimizarán la condensación del vapor de agua del aire dentro de la carpa.

La obra civil finalizó en septiembre, y dotará al centro cordobés de una nueva estructura para gestionar los residuos radiactivos de muy baja actividad.

La instalación complementaria para el almacenamiento de residuos de muy baja actividad de El Cabril entró en operación en 2008, tiene una capacidad de almacenamiento de 130.000 m<sup>3</sup> distribuidos en las cuatro celdas que se irán construyendo según se complete su capacidad. En ellas se alojarán los residuos de muy baja actividad contemplados en el actual Plan General de Residuos Radiactivos, incluyendo los generados por incidentes en instalaciones industriales no radiactivas, y otros que presentan muy poca actividad en un volumen muy grande y que proceden mayoritariamente del desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas. El diseño de estas celdas permite una durabilidad de las barreras suficiente para que la radiactividad descienda hasta los niveles de fondo natural, que se estima en 60 años. ■

## EL PRESIDENTE DE LA AGENCIA DE GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS RUMANA VISITA EL CABRIL Y SE INFORMA EN DETALLE SOBRE EL MODELO DE GESTIÓN ESPAÑOL

El presidente de la Agencia de Gestión de Residuos Radiactivos Rumana (ANDR), Florin Tatar, visitó la sede central de Enresa en Madrid y el centro de Almacenamiento de El Cabril, del 10 al 13 de noviembre, para conocer los detalles del modelo de gestión español y, en especial, de los residuos de baja y media actividad.

Durante su estancia en Madrid, Tatar asistió a distintas presentaciones sobre la gestión que se hace en España de los residuos radiactivos de baja y media actividad, del combustible gastado de las centrales nucleares, así como sobre los procesos de licenciamiento, los programas de

desmantelamiento o aspectos de comunicación y relación con la opinión pública.

Ya en El Cabril, el presidente de ANDR se interesó por las características técnicas y el modelo operativo de la instalación cordobesa, así como por su política de comunicación y por las relaciones establecidas con el entorno, para su posible utilidad en el proyecto que la agencia rumana

tiene de construir un almacén para residuos radiactivos de baja y media actividad en la localidad de Saligny, en el entorno de la central nuclear de Chernavoda ■



Florin Tatar y Mariano Molina (Enresa) a la entrada del Centro de Información de El Cabril.

## UNA COMISIÓN PARLAMENTARIA ITALIANA VISITA EL CABRIL PARA CONOCER EL SISTEMA GLOBAL DE CONTROL DE RESIDUOS EN ESPAÑA



Una representación de la comisión italiana durante su visita a El Cabril.

Una treintena de miembros (entre diputados, senadores, asesores e intérpretes) de la Comisión Parla-

mentaria de Investigación sobre las actividades ilegales relacionadas con el ciclo de los residuos y

sobre las infracciones medioambientales vinculadas a las mismas de Italia visitaron el centro de almacenamiento de El Cabril el pasado día 26 de noviembre en el marco de una misión para conocer el sistema de control de residuos español.

Además de visitar el almacén cordobés, los integrantes de esta comisión también mantuvieron reuniones con otras instituciones como la Junta de Andalucía. El objetivo de esta misión es conocer en detalle el modo operativo español con distintos tipos de residuos urbanos e industriales de cara a optimizar el sistema italiano y evitar sucesos relacionados con el tráfico ilícito de estos materiales. ■

## EL CSN AMPLIARÁ DE 25 A 200 LA RED DE ESTACIONES DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL



Estación de control de la calidad de aire en El Cabril.

mizar las posibles consecuencias.

De acuerdo con el objetivo que se pretende dar a la nueva red, señala el comunicado del CSN, “debe disponer de tres tipos de estaciones de forma que midan la tasa de dosis en localizacio-

El Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) aprobó el pasado 12 de noviembre la propuesta de diseño funcional de la red de estaciones que vigilan la calidad radiológica del aire en el territorio nacional que se ampliará de 25 estaciones a 200, según informó el organismo regulador en un comunicado.

En la actualidad, la red de estaciones automáticas de vigilancia (REA) se compone de 25 estaciones y lleva en funcionamiento desde 1992. A partir de ahora, estará constituida en total por 200 estaciones que, en caso de emergencia, podría verse ampliada a 215 estaciones. “Su configuración posee la doble finalidad de medir la calidad radiológica del aire en situaciones normales y de emergencia”, explica el comunicado del CSN.

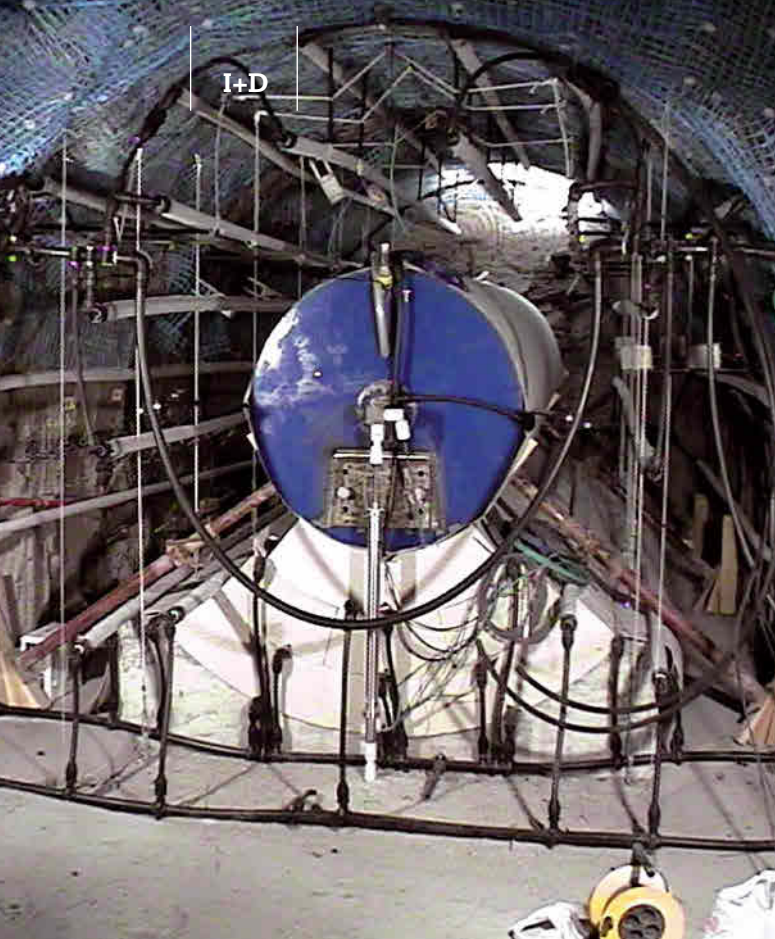
La modernización de esta red tendrá en cuenta los avances

tecnológicos disponibles en la actualidad, tanto desde el punto de vista del equipamiento radiométrico como de las conexiones y comunicaciones automáticas con la Sala de Emergencias del CSN (SALEM), “así como las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima en relación con las redes de vigilancia radiológica en situaciones de emergencia”, añade el organismo regulador español.

En su funcionamiento, se destaca que, ante valores de radiactividad que excedan de ciertos umbrales, se activarán automáticamente unas alarmas que alertarán a los técnicos y responsables de la red. Con esta información, se podrá evaluar la gravedad de las consecuencias radiológicas del accidente y ayudará a la toma de decisiones sobre las medidas de protección a la población, con el fin de mini-

nes geográficas fijas, como las zonas de los Planes de Emergencia Nuclear (PEN), grandes ciudades y otros emplazamientos nucleares; que realicen espectrometría gamma in situ de forma automática por todo el territorio nacional y, al menos, la mitad en zonas PEN; y que sean portátiles para poder efectuar lecturas de tasa de dosis”.

Las estaciones, según el CSN, “estarían ubicadas en cuarteles de la Guardia Civil, en los actuales emplazamientos de la REA, salvo en aquellas ubicaciones en las que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha decidido retirar su estación, en cuyo caso deberán instalarse en otras ubicaciones cercanas. También estarán situadas en el interior de las zonas de planificación de todas las instalaciones nucleares de España. ■



©Enresa

Experimento in situ EB, instalado en la Laboratorio Subterráneo de Mont Terri, durante el montaje en 2002 y tras su desmatelamiento en 2013.

PROYECTO ENMARCADO EN EL 7º PROGRAMA MARCO DE EURATOM

## **PEBS: UN RETO INTERNACIONAL PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO DE LAS BARRERAS NATURALES PARA AISLAR RESIDUOS RADIATIVOS A LARGO PLAZO**

Los materiales radiactivos poseen una amplia gama de aplicaciones que van desde los reactores nucleares hasta el empleo de isótopos en industrias, medicina o centros de investigación. Estas tecnologías generan residuos cuyos sistemas de eliminación son cada vez más sofisticados, hasta el punto de emplear barreras artificiales sub-superficiales capaces de aislarlos del contacto con otros materiales, precipitaciones, aguas superficiales y subterráneas. En este contexto, el proyecto europeo Long-term Performance of the Engineered Barrier Systems (PEBS), financiado por el Séptimo Programa Marco (7PM) de Euratom y que ha contado con la participación de Enresa, ha evaluado la evolución del rendimiento de sellado y barrera de los sistemas de barreras artificiales en escalas temporales pertinentes mediante el desarrollo de un método exhaustivo que incluye experimentos, modelos y una consideración de los posibles impactos de las funciones de seguridad a largo plazo.

Texto: **IRINA GAUS, COORDINADORA DE I+D+D DE NAGRA, SUIZA**

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

**E**n 2014 culminaba el proyecto del 7º Programa Macro de EURATOM conocido como PEBS (Long-term Performance of Engineered Barrier Systems). Este proyecto, planteado para evaluar la capacidad de sellado y el comportamiento a largo plazo de un sistema de barreras de ingeniería basado en bentonita -un tipo de arcilla- contó con distintos experimentos in situ en laboratorios subterráneos (Grimsel, Mont Terri); con maquetas y ensayos de celdas en laboratorios; así como con ejercicios de modelización a fin de estudiar los potenciales impactos que producirán en las funciones de seguridad de la barrera de un almacenamiento de la hidratación de la barrera por el agua subterránea y el calor desprendido por los contenedores de residuos.

En las investigaciones participaron quince organizaciones europeas, además del Instituto para la Investigación de la Geología de Uranio de Pekín. Entre las instituciones participantes

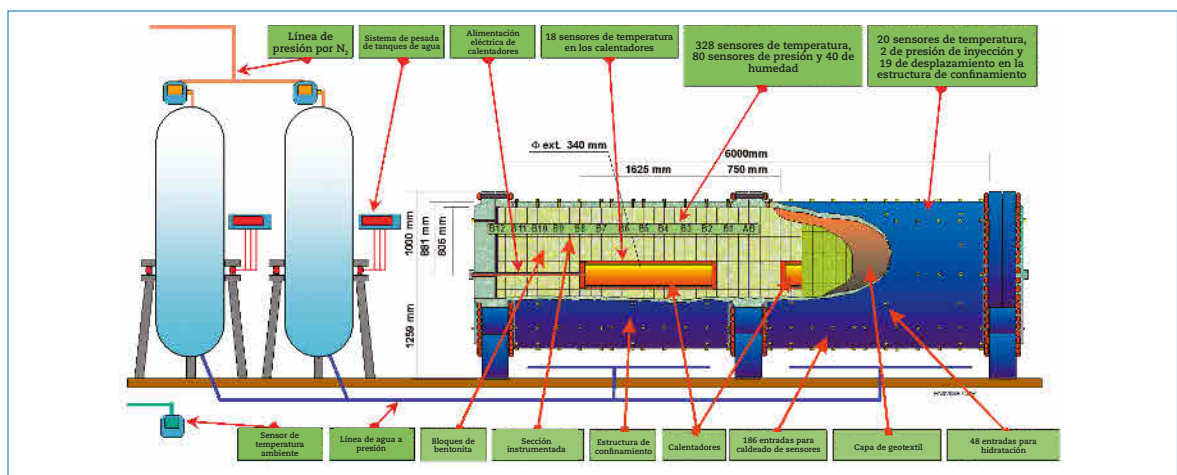
estaban, por parte española, Enresa, Ciemat, CIMNE (de la Universidad Politécnica de Cataluña), Universidad Autónoma de Madrid, Universidad de La Coruña y Golder As.

En el proyecto, hubo equipos técnicos que realizaron ensayos a diversas escalas, y trabajaron coordinadamente con modelistas quienes simulaban, con códigos numéricos que acoplaban procesos mecánicos, hidráulicos, térmicos y químicos, el comportamiento del sistema de barreras de ingeniería (EBS, en inglés). Además de evaluar el comportamiento durante la fase transitoria de hidratación, se trabajó en acotar mejor las incertidumbres científicas residuales, que se ponen de manifiesto con las discrepancias entre los resultados numéricos de los modelos y los reales de la experimentación; finalmente, se trató de evaluar el impacto de estas incertidumbres en las funciones de seguridad que se atribuyen al EBS a corto y largo plazo.

Los resultados del proyecto se presentaron en la 'Inter-

national Conference on the Performance of the Engineered Barriers: Backfill, Plugs & Seals', organizada en la ciudad alemana de Hanóver por el coordinador del proyecto, BGR, en febrero de 2014. Durante dos días se presentaron y debatieron ante un público abierto a cuantos estuvieran interesados, independientemente de su participación en el desarrollo del proyecto. Los resultados se han recogido en un documento público que puede consultarse, junto con otros producidos en el portal del proyecto: [www.pebs-eu.de](http://www.pebs-eu.de).

Los resultados, logros y las carencias identificadas, y conclusiones del proyecto, fueron resumidos por la doctor Irina Gauss, coordinadora de I+D+D de NAGRA (Suiza), en un artículo que por su interés técnico se reproduce a continuación. Este texto es una síntesis de varias contribuciones relevantes de Juan Carlos Mayor (Enresa, España) et al., Irina Gaus (Nagra, Suiza) et al., Patrick Sellin (SKB, Suecia) et al. y Jaime Cuevas (UAM, España) et al.



Esquema del ensayo FEBEX de la maqueta en Ciemat.

## RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES EN EL PROYECTO PEBS

El objetivo general del proyecto PEBS ha sido mejorar la comprensión de la etapa inicial del periodo transitorio en las barreras de bentonita, cuando comienza el calentamiento e hidratación, y reducir las incertidumbres asociadas en el contexto de las evaluaciones de seguridad a largo plazo del almacenamiento definitivo del combustible gastado y los residuos de alta actividad. El proyecto constó de una amplia gama de experimentos de laboratorio e in situ sobre bentonita cuya finalidad ha sido la investigación de procesos termo-hidro-mecánicos y químicos (THMC) asociados a la etapa transitoria inicial del sistema de barreras de ingeniería (EBS, siglas en inglés). Esto incluyó un nuevo estudio in situ de gran tamaño, a escala 1:2 - respecto de un almacenamiento real-, denominado HE-E, así como los experimentos en curso FEBEX y EB, de los que se recogen datos de monitorización desde hace 10-15 años.

Al inicio del proyecto se llevó a cabo una revisión de cómo se

había considerado la fase transitoria en la evaluación de la seguridad basándose en recientes casos de seguridad (Safety Cases) o evaluaciones de seguridad hechos en Francia, Suiza, Suecia, España y Alemania. Se identificaron las áreas de incertidumbre pendientes de resolver en cada uno de ellos y se agruparon en cuatro casos. Un caso se define como una combinación de una configuración -el EBS definido con sus condiciones iniciales- y una descripción de la evolución del EBS que ponga de manifiesto una de las incertidumbres identificadas.

En el proyecto PEBS se ha trabajado sobre cuatro casos:

- **Caso 1:** incertidumbre en la absorción de agua en la barrera de arcilla ( $T < 100$  °C).
- **Caso 2:** incertidumbre en la evolución de la temperatura y su impactos en la barrera de arcilla ( $T > 100$  °C).
- **Caso 3:** incertidumbre en la evolución hidráulica y mecánica de la barrera de arcilla.
- **Caso 4:** incertidumbres en la potencial evolución química que

provoque cambios en las propiedades de la barrera de arcilla.

Cada uno de ellos se desarrolló posteriormente con más detalle. Se describió el conocimiento actual considerando conceptos de almacenamiento específicos, se modeló una extrapolación, ya fuera numérica o conceptual, que permitiera evaluar el impacto de los fenómenos que son específicos en cada uno de ellos, para toda la extensión del periodo transitorio, hasta el punto en que se supone que las funciones de seguridad se alcanzan.

Para cada caso se identificaron las actividades del proyecto PEBS que tuvieran relevancia para su desarrollo, también se consideraron resultados obtenidos en todos los proyectos; y por otro lado se identificaron las incertidumbres existentes. Los análisis hechos de cada caso, siendo cada uno de ellos particularmente apropiado para conceptos de almacenamiento específicos, se presentaron en común y, para conceptos y casos de seguridad relevantes, se evaluó cómo incorporar en los casos de seguridad futuros una mejor integración del comportamiento transitorio inicial; con lo que se identificaron incertidumbres y áreas para estudios posteriores.

El Caso 1 (A) trata sobre las incertidumbres relacionadas con la absorción de agua por parte la barrera de arcilla durante la primera etapa de la evolución del repositorio. La barrera de arcilla construida toma agua de la roca circundante y comienza a hincharse. Durante la etapa temprana de la evolución del repositorio, el proceso de hidratación se ve afectado por fenómenos térmicos, hidráulicos y mecánicos que actúan de ma-



Montaje del experimento in situ EB.

© Enresa



Experimento EB tal y como ha quedado tras su desmantelamiento.

© Entesa

nera acoplada. El hinchamiento está restringido por la pared rocosa y por tanto se desarrolla una presión de hinchamiento. El proceso depende de las propiedades de la barrera de arcilla, así como en las condiciones hidráulicas locales.

Después de alcanzar la saturación, la conductividad hidráulica de la barrera de arcilla será muy baja y la presión de hinchamiento elevada. Este es un proceso común para todos los conceptos de almacenamiento final existentes que cuentan con una barrera de bentonita; también es relevante para los sellos de bentonita sin efectos térmicos. La escala de tiempo para el proceso de saturación es sin embargo fuertemente dependiente de las condiciones de contorno. Aunque existe una buena concordancia en la modelación THM considerando los valores calculados y los datos medidos tanto en ensayos de laboratorio, como de la maqueta o de los experimentos in-situ (con altas tasas de saturación y de aporte de agua), en varios de estos experimentos se produce un progreso de la saturación, en eta-

pas avanzadas de la hidratación, que es inferior a la prevista por los modelos convencionales THM acoplados. Si bien esta ralentización de la hidratación se ha observado en varios experimentos, la evidencia no es totalmente clara. Se realizó un análisis detallado para identificar qué fenómenos podrían explicar esta resaturación ralentizada (doble porosidad, termo-ósmosis, umbral de Darcy). Los resultados, sin embargo, no han permitido una identificación clara de los procesos realmente relevantes. Aun así, el contexto de la seguridad a largo plazo se ha mejorado claramente ya que se puede afirmar que, a pesar de que la saturación no se haya alcanzado plenamente -es el caso de maqueta FEBEX, que lleva 15 años de funcionamiento-, la función de seguridad se ha alcanzado debido a la suficiente presión de la hinchamiento de la arcilla existente a lo largo la barrera con el 85-90% de saturación.

Por lo tanto según el proyecto PEBS, la incertidumbre en lo referente a la entrada de agua parece no ser importante desde una perspectiva de seguridad a largo

plazo para el actual concepto de referencia español de almacenamiento definitivo de CG y RAA.

En el Caso 2 (B) el reto básico es entender cómo la etapa transitoria inicial con altas temperaturas y bajo grado de saturación afecta al comportamiento a largo plazo de la bentonita tras la plena resaturación y enfriamiento. Los resultados del proyecto que se han considerado útiles en gran manera para este caso han sido la comparación de los resultados de los modelos numéricos de la evolución THM de la barrera de bentonita en las etapas iniciales, con los resultados experimentales de sistemas bien caracterizados como ensayos en columna y el experimento de calentamiento HE-E a escala 1:2. Esto ha permitido tener una mejor visión de la evolución esperada de la barrera de arcilla, durante y después del periodo transitorio inicial, y evaluar las consecuencias de su trayectoria evolutiva (incluidas incertidumbres) para el comportamiento de la barrera a largo plazo.

Las conclusiones generales acerca de las incertidumbres que quedan sobre los procesos relevantes en este caso son que la reducción en la presión de hinchamiento para condiciones insaturadas es significativa por encima de aproximadamente 120 °C, los resultados de varios experimentos a largo plazo consistentes en un sistema calentador y una barrera de arcilla en condiciones saturadas (humedad) muestran pequeños efectos transitorios térmicos a temperaturas de hasta 130 °C; una disminución en la plasticidad de la bentonita, mientras que puede producirse una ligera disminución de la conductividad

hidráulica y de la presión de hinchamiento. La transformación mineralógica de la bentonita inducida térmicamente es probable que sea muy limitada, incluso considerando tiempos muy largos. Por otro lado, se pueden esperar algunas alteraciones en la bentonita en contacto con el revestimiento de hormigón de bajo pH, así como silicatos de hierro, generados en la superficie interior de bentonita como productos de alteración.

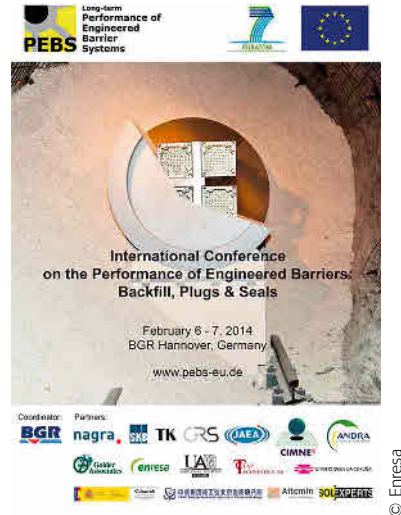
En el contexto de la evaluación de la seguridad de Nagra, hay indicios de que los efectos de las temperaturas iniciales altas en los procesos en la barrera de bentonita tienen generalmente baja relevancia para la seguridad; además se ha de considerar que la ventana de tiempo en que coinciden temperaturas elevadas con un grado de saturación significativo es del orden de décadas y está limitada a una pequeña parte de la EBS. Quedan algunas incertidumbres respecto al hinchamiento y las propiedades hidráulicas de la bentonita para temperaturas de pico iguales o superiores a 125 °C.

En el Caso 3 (C) la atención se centró en la evolución termo-hidráulica de la EBS y en las incertidumbres relacionadas. Los resultados más importantes se obtuvieron con los experimentos, EB y su modelización; FEBEX (la maqueta y el in situ), y su modelización; y en ensayos de laboratorio sobre estudios comportamiento tensión-deformación. Tanto los experimentos de laboratorio como de campo (el EB) han mostrado, desde una perspectiva hidro-mecánica, que la bentonita constituida por material granular de alta densidad (pellets) evoluciona hacia un material que hinchado es indistinguible del que resulta a partir de bentonita en forma de bloques compactados. Por otro lado el experimento EB ha mostrado que, incluso en condiciones no óptimas de construcción, una barrera de bentonita, compuesta por una combinación de bloques y pellets con gran diferencia de densidad inicial, puede proporcionar un sellado efectivo cuando hincha.

En el reciente caso de seguridad de un repositorio para combustible nuclear en Suecia (SR Site safety



Conjunto de celdas de experimentación de la UAM. Montaje que ha servido para simular el estado de la barrera de bentonita de un repositorio de entre 1.000 y 3.000 años de evolución.



Póster del congreso final del proyecto PEBS.

case) se identificaron incertidumbres sobre los siguientes temas: pérdida de masa debido a erosión tipo piping -erosión por sufusión- en una fase muy temprana de su evolución; hinchamiento y homogeneización de los componentes arcillosos de la EBS con diferentes densidades; sellado mediante de la barrera de arcilla después de estas pérdidas de masa; importancia de la fricción en la bentonita y entre la bentonita y otros materiales -también en estado insaturado- y los efectos de la temperatura sobre las propiedades mecánicas.

Las incertidumbres sobre los procesos mecánicos que se producen durante el período de resaturación se han delimitado mejor en el proyecto PEBS. Las existentes sobre el comportamiento a largo plazo de las barreras de bentonita se han reducido en algunos temas, como son en lo relativo a la homogeneización de la barrera de arcilla; el desarrollo de la presión de hinchamiento durante la lenta hidratación y a las propiedades mecánicas de una bentonita calentada.

El Caso 4 (D) integra los resultados de la experimentación y

## Las incertidumbres sobre los procesos mecánicos que se producen durante el período de resaturación se han delimitado mejor en el proyecto PEBS

de la modelización realizada en este proyecto, con respecto a las implicaciones que la evolución geoquímica de los materiales tiene en el comportamiento y las funciones de seguridad a largo plazo del EBS. Las principales conclusiones del análisis integrado son las que se exponen a continuación. Basándose en los datos de la literatura los cambios mineralógicos inducidos térmicamente son relevantes principalmente a temperaturas superiores a 150 °C. Esto deberá ser confirmado con experimentos a largo plazo y de gran escala. La interacción de los productos de corrosión con la bentonita indica que las principales propiedades de ésta permanecen inalteradas. En condiciones insaturadas los productos de corrosión del hierro penetran bastante menos de 1 mm en la bentonita. Los modelos numéricos que acoplan comportamientos térmicos, hidráulicos y mecánicos (THC) reproducen la mayor parte de los datos experimentales. Las interacciones entre bentonita y hormigón producen una capa de bentonita alterada de varios milímetros de espesor (menor de 5 mm) que queda cementada por la precipitación de nuevos minerales en el espacio que dejan los poros. Sin embargo, a pesar de existir esta capa, la hidratación de la bentonita progresó. Los modelos numéricos acoplados THCM (m minúscula indica que las propiedades mecánicas no están completamente acopladas) capturan las princi-

pales tendencias referentes a la disolución-precipitación de los minerales. Si bien todavía hay cuestiones abiertas sobre el modelo geoquímico conceptual, los procesos de obstrucción de poros, y los parámetros y propiedades finales de la zona alterada, los modelos actuales indican que el espesor alterado de la bentonita se puede acotar. El impacto potencial que las reacciones geoquímicas, estudiadas en este caso, tienen sobre las propiedades físicas, y como consecuencia sobre el comportamiento térmico, hidráulico y mecánico de las barreras, se integró en la evaluación del comportamiento de la barrera para los distintos casos de seguridad y conceptos de almacenamiento considerados.

Se puede concluir que los estudios realizados en el proyecto PEBS han disminuido las incertidumbres existentes sobre los procesos que ocurren en el período de resaturación. Sin embargo, aquellas referidas al comportamiento a largo plazo de las barreras de bentonita se han reducido solo en algunas áreas. Las mejoras se han centrado en las áreas de la evolución de las propiedades de los materiales y el desarrollo de modelos y ensayos.

Los experimentos in situ que permanecen en funcionamiento, como FEBEX, HE-E, y FE, podrán jugar un papel importante en la confirmación del comportamiento de la bentonita en los próximos 10 a 20 años.

## RECONOCIMIENTOS

El proyecto PEBS ha sido parcialmente financiado por la European Atomic Energy Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2011) bajo el contrato n° FP7-249681.

## REFERENCIAS

(A) MAYOR, J. C., VILLAR, M. V., MARTIN, P. L., GENS, A. & VELASCO, M. (2014): Water Uptake in the Bentonite Buffer – PEBS Case 1. International Conference on the Performance of Engineered Barriers, February 6-7, Hannover, Germany.

(B) GAUS, I., JOHNSON, L., WIECZOREK, K., GENS, A., GARCÍA-SIÑERIZ, J.-L., TRICK, T., SENGER, R., KUHLMAN, U., DUECK, A., VILLAR, M. V., LEUPIN, O., CZAIKOWSKI, O., GARITTE, B., SCHUSTER, K. & MAYOR, J. C. (2014): EBS Performance at Temperatures above 100°C - PEBS Case 2. International Conference on the Performance of Engineered Barriers, February 6-7, Hannover, Germany.

(C) SELLIN, P., GARCÍA-SIÑERIZ, J.-L., DUECK, A., MAYOR, J. C., VILLAR, M. V., MARTÍN, P. L., GENS, A., KRISTENSON, O., ALONSO, E. & GAUS, I. (2014): HM Evolution of the Buffer – PEBS Case 3. International Conference on the Performance of Engineered Barriers, February 6-7, Hannover, Germany.

(D) GAUS, I. (2015): Overview on the research results of the PEBS Project. Summary, International Conference on the Performance of Engineered Barriers, February 6-7, Hannover, Germany.

(E) CUEVAS, J., SAMPER, J., TURRERO, M. J. & WIECZOREK, K. (2014): Impact of the Geochemical Evolution of Bentonite Barriers on Repository Safety Functions - PEBS Case 4. International Conference on the Performance of Engineered Barriers, February 6-7, Hannover, Germany. ■

# AUDACIA Y VISIÓN: LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN FRANCIA

Francia ha sabido integrar la gestión de sus residuos radiactivos dentro de una estrategia más amplia de política energética y ambiental. Con el paso de los años, la famosa Ley Bataille redactada en 1991 se ha revelado como un instrumento útil y eficaz para marcar, de forma temprana, una hoja de ruta a seguir en relación con estos materiales, apostando por tres líneas fundamentales y complementarias en la investigación de la gestión de residuos radiactivos de alta actividad. Casi 25 años después el país galo ha avanzado significativamente en cada una de estas líneas, aunque algunos de los plazos establecidos no se hayan podido cumplir, y ha sabido integrar a la opinión pública en proyectos ambientalmente delicados.

Texto: **NURIA PRIETO SERRANO, DEPARTAMENTO DE RELACIONES INTERNACIONALES DE ENRESA**

Fotos: **ANDRA**



El laboratorio subterráneo de investigación LSMHM, situado en Bure, en el distrito de Meuse, tiene como objetivo estudiar la viabilidad del almacenamiento geológico reversible de residuos radiactivos de alta actividad y de media actividad de vida larga.

**E**n Derecho Nuclear, como en cualquier otra rama del Derecho, hay leyes paradigmáticas, leyes que han marcado un hito en el desarrollo de los acontecimientos no sólo de los países que las promulgan, sino por efecto reflejo en la comunidad internacional. Y no sólo por la buena factura jurídica con que hayan podido ser redactadas –y en este sentido, un indicativo de la calidad de la ley puede ser su vida medida en años: en España, nuestra ley de energía nuclear, adoptada en 1964 y aún vigente, es el ejemplo de una ley versátil que ha sabido adaptarse a períodos de auge y declive, proporcionando el marco adecuado para desarrollos legislativos posteriores en campos insospechados en aquella fecha; sino también por su visión, por la forma en que han favorecido o condicionado acontecimientos. El ejemplo más obvio es la Atomic Energy Act de Estados Unidos del

año 1954 (apenas posterior al célebre discurso Atoms for Peace), que marcó una época de exploración de los usos pacíficos de la energía nuclear y vino a convertirse en “la madre de todas las leyes” nucleares que se adoptaron en el bloque occidental después. En el campo más específico de la gestión de los residuos radiactivos, si hay una ley que haya servido de referente e inspiración a otros países –aun cuando no las hayan promulgado iguales-, esta es en opinión de la que suscribe la Ley Bataille.

La ley n° 91-1381 del 30 de diciembre sobre la investigación en la gestión de residuos radiactivos, conocida como Ley Bataille por el nombre de su relator en el Parlamento francés, es una ley redactada con gran audacia y una visión brillante en el año 1991. La audacia consistió en abordar la gestión de los residuos radiactivos de una manera autónoma y coherente con el resto de planificación energética;

y la visión en la identificación de tres acciones complementarias en el campo de la investigación que constituyen la base de cualquier acción posterior significativa. Hoy tenemos la perspectiva histórica necesaria para medir el impacto de aquella ley, en un momento en que la Convención Conjunta del OIEA aún no había sido adoptada (es de enero de 1998) ni tampoco el primer Paquete Nuclear en Euratom (diciembre de 2002).

La Ley Bataille definía un programa de investigación en la gestión de residuos de alta actividad y vida larga que habría de implementarse durante los siguientes quince años, hasta 2006. Dicho programa de investigación constaba de tres ejes:

1. La separación y transmutación a cargo del Commissariat à l’Energie Atomique (CEA);
2. El almacenamiento a largo plazo –no definitivo- en superficie, también a cargo del CEA;



El Proyecto CIGEO (Centre Industriel de Stockage Géologique) proyecta el almacenamiento subterráneo de 10.000 m<sup>3</sup> de residuos de alta actividad y 70.000 m<sup>3</sup> de residuos de media actividad y vida larga en Bure (Haute -Marne) .

## El objetivo de la investigación por ANDRA es asegurar la complementariedad óptima entre las opciones de almacenamiento temporal y el AGP

3. La evolución comparativa del almacenamiento final, con y sin recuperabilidad, de los residuos en formaciones geológicas, a cargo de ANDRA, la organización gestora de residuos radiactivos en Francia.

Dentro de este plan, la ley propuso la creación de al menos dos laboratorios subterráneos para estudiar formaciones que podrían servir como AGP, especificando que el propósito de esta medida era el de evaluar potenciales emplazamientos y no el de proceder a su construcción inmediata. Dada la dificultad para seleccionar estos emplazamientos, fueron previstas algunas medidas que facilitarían la comunicación

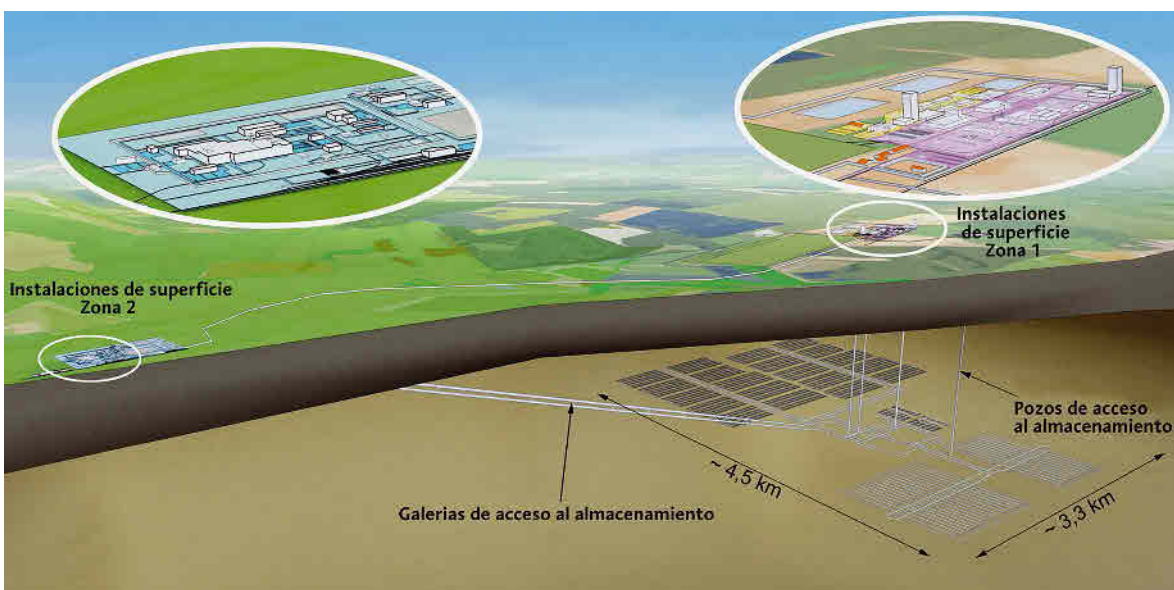
con los municipios de hospedaje y reforzarían la posición de ANDRA como su interlocutor. Tras un difícil proceso deliberativo fue seleccionado un solo emplazamiento en Bure, en el departamento de Meuse.

Empero, el AGP no constituía la única línea de investigación, sino que la estrategia se basaba precisamente en la complementariedad de las tres medidas: las tres eran necesarias, y no alternativas, para abordar en sus respectivos marcos temporales las cuestiones más acuciantes en la gestión de residuos: la necesidad de reducción de volumen y radiotoxicidad y la de disponer de soluciones temporales

adecuadas hasta la consecución final del AGP.

Según los términos de la Ley Bataille, en el año 2006 el Gobierno había de presentar al Parlamento un informe de evaluación de los tres ejes del programa y, si se consideraba adecuado, un proyecto de ley autorizando la creación de un centro de almacenamiento de los residuos radiactivos de alta actividad (bien a largo plazo o bien definitivo).

Quizá lo más asombroso de todo es que la previsión para 2006 se cumplió. En dicho año se promulgaron las dos leyes que configuran hoy el marco normativo nuclear básico en Francia: la Ley de 2006-683, de 13 de junio sobre la transparencia y la seguridad en el ámbito nuclear, que establece el régimen de licenciamiento de las instalaciones nucleares de base (ley TSN), y la Ley 2006-739 de 28 de junio de 2006 sobre la gestión sostenible de los materiales y



Diseño conceptual del almacenamiento geológico (CIGEO).

residuos radiactivos, que regula la gestión de las sustancias radiactivas (materiales y residuos). Y en este nuevo “paquete”, el legislador francés se tomó en serio el almacenamiento final de los residuos radiactivos de alta actividad: “después del almacenamiento temporal, los residuos que por razón de seguridad nuclear y protección radiológica no puedan ser almacenados en superficie, van a requerir el almacenamiento geológico profundo”.

La fecha estipulada inicialmente era 2015 para que ANDRA solici-

## Con independencia de que los programas previstos sufran algún retraso en sus fechas de ejecución y queden aún importantes cuestiones que resolver, Francia continúa siendo un referente en la gestión de residuos radiactivos

tase la licencia de construcción para un AGP y 2025 para que el repositorio estuviera operativo. Aunque estas fechas no se han cumplido, no han cesado de producirse avances.

### EL PROYECTO CIGÉO Y LOS PASOS HACIA EL AGP

Los volúmenes considerados inicialmente para un AGP francés, según los cálculos realizados en 2010, eran de 10.000 m<sup>3</sup> para residuos de alta actividad (en su mayoría residuos vitrificados), de los cuales unos 2.700 m<sup>3</sup> ya habían sido generados a esa fecha, y 70.000 m<sup>3</sup> de residuos de media actividad y larga vida, de los cuales 40.000 m<sup>3</sup> existían hasta el momento. Aunque Francia opta por el ciclo cerrado de combustible, según el plan presentado por ANDRA en 2005, actualizado en 2015, el diseño del AGP debería ser adaptable para poder acoger en caso de necesidad el almacenamiento final directo para el combustible gastado existente. En el contexto actual, el combustible gastado de los reactores de potencia de EDF y de investigación de CEA (Organismo Público de Investigación Nuclear Civil en Francia) y el Instituto Laue-Langevin se almacena en las instalaciones donde se genera, para ser reprocesado en el centro La Hague en Normandía o en determinadas instalaciones de CEA.

El proyecto resultante fue llamado Cigéo, acrónimo francés para “centro industrial para el almacenamiento geológico”, y otorga una continuidad a las décadas de investigación realizada por ANDRA en el laboratorio de



Centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de L'Aube (Champagne). Este centro, similar a El Cabril en su concepto de almacenamiento, entró en operación en 1992 y tiene capacidad para un millón de metros cúbicos de residuos radiactivos.



Vista aérea de la instalación de almacenamiento de residuos de muy baja actividad en Morvilliers. La instalación abarca una superficie de 45 hectáreas. En este centro se almacenan los residuos de muy baja actividad provenientes de instalaciones nucleares y radiactivas.

Meuse / Haute-Marne. En él, el almacenamiento se prevé que se produzca dentro de una capa de arcilla de unos 100 metros de espesor, a una profundidad de unos 500 metros. ANDRA prosigue investigando la factibilidad y la seguridad de este repositorio, al tiempo que el organismo regulador ASN va evaluando los informes de progreso de las actividades de investigación presentados por ANDRA, tanto en superficie como a profundidad.

Por ley se preveía también un debate público que tuvo lugar en el año 2013. Con la intención de facilitararlo, la Comisión Nacional para el Debate Público (Comisión creada en 1995 para garantizar el cumplimiento de la participación pública en el desarrollo de proyectos medioambientales estratégicos) organizó conferencias y debates interactivos en internet, cuyos resultados fueron publicados en febrero de 2014 en la web [www.debatpublic.fr](http://www.debatpublic.fr). En aquellos debates, tanto individuos como los

expertos independientes e IRSN coincidieron en que los plazos de la ley de residuos de 2006 eran demasiado ajustados y se requiere demostración adicional de la seguridad del proyecto. En línea con aquello, el 6 de mayo de 2014 ANDRA presentó sus planes revisados para Cigéo con la propuesta de que se integre en el proyecto una fase piloto para lanzar la operación de la instalación; que se revise regularmente el plan maestro de la instalación en operación; que se incremente la participación de la sociedad civil; y que se modifique el calendario, con el objetivo de que comience la construcción en 2020 y la operación de la fase piloto industrial en 2025.

### OTRAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN

Aunque Cigéo es el rey de los proyectos de investigación de gestión de residuos de alta actividad en Francia, las otras líneas permanecen abiertas.

En el campo de la separación y transmutación, CEA coordina sus actividades de investigación con otros institutos, en especial CNRS. Un decreto de 27 de diciembre de 2013 establece la separación y transmutación entre las áreas que deberán investigarse en los próximos años, si bien sólo se podrá aplicar para los residuos que se generen en el futuro, y no para los ya generados.

En el área del acondicionamiento y almacenamiento a largo plazo, en febrero de 2006 ASN emitió un dictamen estableciendo que el almacenamiento temporal a largo plazo no es una alternativa al almacenamiento final. En esta línea, el objetivo de la investigación por ANDRA es asegurar la complementariedad óptima entre las opciones de almacenamiento temporal y el AGP en la medida en que el almacenamiento temporal aporta flexibilidad a la construcción y operación del AGP. El mencionado decreto de 27 de diciembre de 2013 requiere que



© AREVA

Planta de reprocesado de combustible nuclear gastado de La Hague.

ANDRA, después de consultar con los principales productores, desarrolle recomendaciones para el diseño de instalaciones de almacenamiento temporal complementarias al AGP.

### LOS RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD

Entre las instalaciones existentes en Francia para la gestión de residuos radiactivos se encuentran tres centros de almacenamiento final en superficie: La Manche, instalación nuclear de base para residuos de corta y media vida que ha concluido su operación y se encuentra bajo vigilancia institucional; L'Aube, instalación

nuclear de base para residuos de corta y media vida, que se encuentra operativa; y Cires para residuos de muy baja actividad. Esta es una instalación clasificada por razón de protección medioambiental. Al no tratarse de una instalación nuclear de base, no está sometida al régimen de licenciamiento que afecta a las demás.

### RETOS EN LOS PRÓXIMOS AÑOS

Además del reto obvio de continuar con el proyecto Cigéo, una serie de necesidades van a ocupar la agenda de gestión de residuos radiactivos en Francia en los próximos años:

- Aún es necesario avanzar en la búsqueda de un repositorio para residuos de baja actividad y larga vida. En 2008 se ha realizado un primer intento de selección de emplazamiento que finalmente no prosperó, si bien contó con algunos municipios candidatos. En 2013 ANDRA ha conseguido la autorización del Ministerio de Ecología para continuar con el proceso de selección, que habrá de centrarse en emplazamientos que ya posean instalaciones nucleares y en municipios que ya hayan presentado su candidatura en 2008.
- Los volúmenes de residuos de muy baja actividad pronto superarán las capacidades originalmente previstas en CIRES. Se han realizado estudios de reducción de volumen y de optimización del espacio disponible, así como para evaluar las posibilidades de reciclar los residuos metálicos dentro de la industria nuclear, pero a medio plazo será necesario construir un nuevo centro de almacenamiento definitivo para este tipo de residuos.
- En el centro de almacenamiento final de La Manche, que se encuentra bajo vigilancia desde 2003, ANDRA ha realizado trabajos de consolidación de los terraplenes alrededor de la cubierta cuya eficacia se debe evaluar durante unos diez años antes de pasar a la fase siguiente. También se está trabajando en mantener la documentación relevante con información adecuada de los residuos que contiene.
- De manera más significativa, la recuperación y tratamiento de residuos históricos continúa constituyendo un problema en tres emplazamientos: La Hague, Cadarache y Saint-Laurent-des-Eaux. En La Hague, el

## Existe una coherencia entre las acciones en todo el ciclo de combustible nuclear y la gestión de residuos radiactivos, que coadyuva en un modelo general hacia la seguridad de abastecimiento y la sostenibilidad energética

regulador ASN ha manifestado su preocupación por los retrasos en los proyectos y pedido a los responsables que efectúen mayores esfuerzos para que se pueda cumplir el objetivo, marcado por la ley, de que en 2030 se completen las operaciones de acondicionamiento de RMA de larga vida.

### EVALUACIÓN FINAL: POR QUÉ LA GESTIÓN DE RESIDUOS CONSTITUYE UN REFERENTE EN FRANCIA

Más allá de una posible y sana envidia en los países circundantes,

los avances en el régimen de gestión de residuos radiactivos en Francia producen esperanza. Con independencia de que los programas previstos sufran algún retraso en sus fechas de ejecución y queden aún importantes cuestiones que resolver, Francia continúa siendo un referente en la gestión de residuos radiactivos por las siguientes razones:

- Porque este país ha sabido integrar la gestión de residuos radiactivos dentro de una estrategia más amplia de política energética y de gestión medioambiental.



Trabajos de tunelación en el laboratorio de Bure.

Retomando el inicio de este artículo, si observamos la trayectoria del legislador francés, el tipo de medidas que en los últimos años se han ido acometiendo y el marco en que esto ha ocurrido, puede afirmarse que existe una coherencia entre las acciones en todo el ciclo de combustible nuclear y la gestión de residuos radiactivos, que no es un objetivo aislado sino una parte que coadyuva en un modelo general hacia la seguridad de abastecimiento y la sostenibilidad energética.

- Porque desde una fecha muy temprana este país ha sabido reconocer tres líneas fundamentales y complementarias de investigación en la gestión de residuos de alta actividad coherentes con su sector nuclear y ha demostrado la disciplina de avanzar en las tres. Por sus características, un AGP sólo puede licenciarse al cabo de décadas de esfuerzos e inversión en investigación; esta es una apreciación en la que la comunidad internacional coincide, pero que no siempre va acompañada de acciones en el campo de la investigación y desarrollo.
- Porque, además, ha sabido reconocer la importancia de una participación pública bien orquestada, a través de comités locales de información y con una institución encargada de reforzar la participación pública en proyectos medioambientales delicados.
- Y, finalmente, por la fuerza y la autoridad de sus instituciones: CEA, ANDRA, ASN, etc. ■



Francisco J. Ayala estuvo en la génesis del Proyecto Genoma Humano para secuenciar el ADN.

FRANCISCO JOSÉ AYALA, GENETISTA Y EXPERTO EN  
BIOLOGÍA EVOLUTIVA

## “LA CIENCIA TRATA DE ENTENDER LOS PROCESOS NATURALES, LA RELIGIÓN BUSCA EL SENTIDO DE LA VIDA”

En la actualidad, la genética avanza con sorprendente rapidez, pero para este investigador eso no supone que con ello se vayan a resolver todos los problemas. Cuanto más se descubre, más se descubre también lo que no se sabe. En cambio, eso no impide que hoy en día se puedan ya curar muchas enfermedades gracias a la genética, extraer células madre de la espina dorsal del enfermo e introducir el gen normal en un laboratorio para luego volverse a implantar. Así, el individuo sigue produciendo las células falciformes, pero también los suficientes glóbulos en buenas condiciones para sobrevivir.

Texto: **GERMÁN HESLES**

**E**s uno de los científicos más reputados del planeta. Ha presidido la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia y ha sido asesor de Bill Clinton en su etapa

como presidente de los Estados Unidos. Estuvo en la génesis del Proyecto Genoma Humano para secuenciar el ADN y abrir un nuevo universo de posibilidades genéticas en las que sigue trabajando desde la Universidad de Irvine, en California, Estados Unidos.

**¿Cuál es el papel de la ciencia en la sociedad del siglo XXI?**

La ciencia tiene que jugar un papel central en este siglo por varias razones: porque nos permite entender el mundo y lo que somos. Además, la ciencia

tiene una consecuencia fundamental: el desarrollo de la tecnología y, asociado, un impacto en la economía. Hay tres estudios elaborados en Norteamérica que llegan a la misma conclusión: el 50% del aumento de la economía americana a partir de la Segunda Guerra Mundial, es decir desde 1945, se debe a avances científicos y tecnológicos. En Estados Unidos el Gobierno invierte más que en España; se invierte el 3% del PIB y le rinde el 50%. Evidentemente no hay inversión mejor que la de la ciencia y la tecnología.

### **¿Cómo ha sido su experiencia como presidente de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia?**

Es la sociedad científica multidisciplinar más grande del mundo y juega un papel importante en el concierto con situaciones relacionadas con la ciencia y tecnología del momento y también del porvenir. La he presidido durante tres años y en ese tiempo me esforcé en aumentar el número de miembros de la sociedad a través del mundo. Hicimos una serie de simposium en varios países, también en España, y conseguimos más de 20.000 nuevos miembros.

### **También ha sido asesor de Bill Clinton cuando fue presidente ¿Qué recuerda de esta etapa?**

Las actividades políticas internacionales son muy importantes y una de las más llamativas en ese periodo fue la descomposición de la Unión Soviética, que tenía repartidas instalaciones de bombas atómicas por varios países. Tuvimos que desarrollar un plan para eliminar ese riesgo –existían bombas en granjas o incluso al aire libre– y asegurarnos de que no caían en manos de terroristas. Hizo falta mucho tiempo y muchas negociaciones.

### **Con el interés tan desmesurado por publicar que hay en la**

### **comunidad científica ¿al final se comparte o se compite?**

Es una manera un poco simplista de ver las cosas, pero no es errónea. No cabe duda de que los científicos queremos publicar lo que hemos descubierto porque es cuando se convierte en importante, tiene consecuencias y llega el reconocimiento de nuestros colegas.

Cualquier artículo que se va a publicar en una revista científica pasa al menos por dos revisores. Éstos lo examinan, lo critican, lo devuelven al autor o autores, se modifica y finalmente se publica. Lo que pasa es que tampoco podemos anticipar las consecuencias de nuestros trabajos. Un ejemplo. Yo estuve en la génesis del proyecto genoma humano. Se ideó para 15 años, con un presupuesto de tres mil millones de dólares, y con el objetivo de obtener una secuencia completa del genoma humano. Por un lado, había algunos biólogos moleculares –algún premio Nobel– que hicieron afirmaciones con la que yo no estaba de acuerdo: se llegó a decir que una vez lo tuviéramos sabríamos lo que somos. Yo lo critiqué. Para que nos hagamos una idea: el genoma humano tiene tres mil millones de ‘letras’ y si lo imprimiéramos necesitaríamos quinientos volúmenes del Quijote con las letras pero en un idioma que no conocemos.

El proyecto, algo que nadie previó, finalizó dos años antes de tiempo debido a nuevos desarrollos tecnológicos, los mismos que nos permiten, ahora, secuenciar el genoma en una semana y por diez mil dólares. Los avances tecnológicos consecuencia del estudio fueron enormes y eso no lo conseguimos anticipar ninguno y se compartía toda la información de la que disponíamos.

### **Se habla mucho de los grandes fraudes científicos, de los**

### **que salen a la luz ¿Se detectan muchos engaños antes de que lleguen a las revistas especializadas?**

Aún con los controles de los que hemos hablado a veces se publica mala ciencia, por engaño o por error, pero se suele descubrir pronto, porque todo lo que es importante se repite y, por lo tanto, se desenmascara o se corrige.

### **Los países más avanzados son también los más desarrollados científicamente. Como se suele decir coloquialmente, qué es antes ¿el huevo o la gallina?**

La ciencia contribuye a la riqueza de un país, pero es necesario invertir en ella y esto se hace cuando se avanza. España invierte relativamente poco y es sorprendente que la ciencia en el país esté tan bien. La inversión del PIB en España pasó del 0,4% en el 75 al 1% a finales de los 80. En esos años la economía creció muchísimo con lo que se invirtió, 6 u 8 veces más, pero seguía siendo poco. De todos modos, en Estados Unidos existe otra vía de financiación: las personas que tienen gran cantidad de dinero invierten mucho en ciencia. En España no ocurre esto.

### **¿En qué punto se encuentra la ‘revolución’ genética?**

Hoy en día la genética se mueve de una manera explosiva. Ya no se analiza un solo gen, somos capaces de analizar masas de genes. Es algo comparable a lo que pasó con la física en el siglo XX. ¿Quiere decir eso que vamos a resolver todos los problemas? No. Y esto es un asunto que choca a mis estudiantes y muchas veces también a los periodistas. Cuanto más descubrimos, descubrimos cuánto hay que no sabemos. Parece un juego de palabras, pero para explicarlo a mí me gusta emplear una imagen: los conocimientos son como una isla en medio del océano y lo que no conocemos es el océano. El investigador sólo

## El genoma humano tiene tres mil millones de 'letras' y si lo imprimiéramos necesitaríamos quinientos volúmenes del Quijote con las letras pero en un idioma que no conocemos

puede investigar la parte del océano que está en contacto con la isla. A medida que se avanza en el conocimiento, la isla se hace mayor y hay más preguntas que se pueden hacer y se incrementa la conciencia de la gran cantidad de cosas que hay que desconocemos, que hay que investigar. Un ejemplo simple: antes de que se descubriera la estructura del ADN no podíamos preguntarnos cómo actuaba en el organismo. Ahora sabemos mucho de eso, pero tenemos muchísimas más preguntas.

**¿Quizá se volcaron demasiadas esperanzas con la secuenciación del genoma humano?** Vale para mucho, pero en algunos casos solo para saciar la vanidad de las personas que quieren tener en un disco su genoma. En casos concretos, es posible descubrir enfermedades que se expresan tarde en la vida, por ejemplo el cáncer de mama. Lo más importante es que comparando los genomas aprendemos mucho sobre la humanidad y los distintos grupos humanos. Cada genoma, salvo en el caso de gemelos idénticos, es diferente.

De todos modos, tenemos un ejemplo muy conocido, el de la actriz Angelina Jolie, que tomó una decisión valiente. Ella tenía precedentes de cáncer de mama en su familia, el estudio genético lo confirmó y se sometió a

una mastectomía bilateral para evitarlo.

### ¿Cuál es el peso de la genética en la medicina actual?

La genética está impactando en la medicina porque está en la base del funcionamiento del ser humano. Es el código que controla todo lo demás, pero hay mucho por aprender. Recientemente hubo un encuentro científico para tratar de determinar cómo utilizar los

conocimientos sobre los genes para curar enfermedades. Ahí hay una serie de cuestiones muy controvertidas que se resuelven de manera diferente según en qué países. Sí sabemos que entre los responsables científicos de cualquier gobierno no hay nadie partidario de la clonación humana, que, además, es imposible. Si intentarían clonarme no sería suficiente con copiar mis genes, también tendrían que copiar mi experiencia vital. Eso es imposible y eso es lo que conforma es mi verdadera personalidad. En cualquier caso, no sería yo pues la experiencia humana es tan o más importante que la genética.

Hoy en día se pueden curar muchas enfermedades gracias a la genética. La malaria mata a un millón de niños al año y hay

### Trayectoria personal y profesional

Nació en Madrid en 1934, cursó sus estudios universitarios en Salamanca y en Madrid. Se trasladó a Estados Unidos para estudiar biología evolutiva a través de las enseñanzas de Dobzhansky, con quien se doctoró en 1964. En el ámbito docente, ha pasado por la Universidad Rockefeller de Nueva York, por la de California y, finalmente, Irvine, también en California.

Ayala se ha especializado en la evolución genética y ha destacado por sus investigaciones en torno al reloj molecular que sirve para calcular el tiempo transcurrido desde la separación de dos especies por las diferencias halladas en sus ADN. Ha publicado cientos de artículos en las principales revistas científicas y más de una veintena de libros. Su labor, tanto investigadora como divulgativa, ha sido reconocida con innumerables premios. Baste, para hacerse una idea, destacar que Francisco José Ayala es doctor honoris causa por las universidades de Atenas (Grecia); Bolonia y Padua (Italia); Barcelona, Islas Baleares, León, Madrid, Valencia, Vigo, Salamanca, País Vasco (España); Buenos Aires y La Plata (Argentina); Universidad de Chile; Masaryk y South Bohemia (Chequia); Ohio State University (EUA); Varsovia (Polonia); y Vladivostok (Rusia).



© UCI

200 millones de personas que padecen esta enfermedad que causa anemia falciforme. Si uno tiene este gen y uno normal, está protegido; si tiene los dos suele morir antes de llegar a la edad adulta. Ahora mismo es posible extraer células madre de la espina dorsal del enfermo, que es donde están los glóbulos rojos –con la anemia falciforme el cuerpo produce glóbulos rojos anormales–, introducir el gen normal en un laboratorio y volverlas a implantar en el individuo. Éste va a seguir produciendo células falciformes, pero también suficientes glóbulos en buenas condiciones para sobrevivir.

#### ¿Y los límites dónde están?

Hay que tener en cuenta las implicaciones sociales, las religiosas para las personas de fe y las filosóficas en base a definir lo que somos. Hay que estudiar cada caso. De ahí, las discusiones que se suceden y no sólo en los círculos científicos.

#### El hambre en el planeta sigue siendo la ‘enfermedad’ de mayor morbilidad ¿Cree que algún día se dará con la ‘vacuna’?

El hambre tiene solución, es un problema social: con la cantidad de comida que se desperdicia en el mundo occidental se podría paliar el hambre que se estima afecta a 800 millones de personas. El hambre es un problema político; la posibilidad biológica de alimentar a toda la humanidad es real.

#### ¿Con alimentos transgénicos?

No necesariamente, pero no hay nada malo con los alimentos transgénicos. Además, comer

alimentos sin modificación genética es imposible. Las vacas que nos dan la leche, el trigo con el que hacemos la harina y las gallinas que nos dan los huevos han cambiado enormemente, pero lo han hecho durante miles de años por un proceso de tanteo. Se cogía la vaca que daba más leche y se reproducía. Ahora hacemos eso mismo, pero de manera más eficiente... Todo está modificado genéticamente respecto a las plantas originales. Son prejuicios sin sentido.

#### Las bacterias evolucionan genéticamente e incrementan su inmunidad a los antibióticos ¿Cuál es el peligro real?

Es una carrera, pues ya muchos antibióticos, como la penicilina, no surten efecto. Se van reemplazando los antibióticos porque se crea resistencia y este es un proceso que no se puede evitar. Tenemos un millón de millones de células humanas y diez millones de millones de bacterias; sin las bacterias no podríamos vivir. El problema es que las bacterias que causan enfermedades van mutando y se inmunizan frente al antibiótico. En una de las investigaciones que llevo a cabo con estudiantes tratamos de descubrir nuevos antibióticos producidos por bacterias y estudiar los genes de éstas que resisten a los distintos antibióticos. Una de las situaciones que ha complicado las cosas ha sido tratar al ganado con antibióticos como tratamientos preventivos. Luego ingerimos al animal o sus derivados y también a esas bacterias inmunes. De todos modos, ya se usan menos antibióticos en animales destinados al consumo humano.

#### ¿Realmente la humanidad se podría enfrentar a una pandemia letal?

En teoría, sí. En la práctica, no. Hay tanta diversidad genética, ambientes y estilos de vida tan diferentes que en términos prácticos una pandemia universal no creo que fuera posible. De todos modos, yo soy optimista y como optimista pienso que vivimos en el mejor de los mundos posibles. Tengo un compañero que es muy pesimista y me dice que lo malo es que seguramente yo lleve razón.

#### ¿La ciencia y la religión son antagónicas?

Depende de cómo se presente una y otra, pero no tienen por qué ser antagónicas: se ocupan de cosas muy distintas. La ciencia trata de entender los procesos naturales, la religión busca el sentido de la vida y trata de definir nuestras relaciones con Dios u otros individuos. Son cosas distintas que no han de entrar en contradicción. La religión da consuelo a una gran parte de la humanidad, algo que no hacen los conocimientos científicos.

#### El hombre ha adaptado el entorno a sus necesidades ¿seguirá evolucionando la especie?

No es posible frenar la evolución. Los cambios que ocurren a nivel genético y que se transmiten a la progenie no se pueden controlar, pero la evolución es un proceso muy, muy lento. Hace cien mil años nuestra especie llegó de África a Europa. Eso se traduce en un total de cuatro mil generaciones y resulta muy poco en la escala de la evolución... Desde entonces, apenas hemos cambiado. ■



Los Large Size Telescopes (LST), en la imagen, son los telescopios más grandes de la red Cherenkov (CTA) y están especialmente diseñados para detectar los rayos gamma de menor energía.

CON LA NUEVA RED DE TELESCOPIOS SERÁ POSIBLE RATIFICAR O DESMONTAR ALGUNAS LEYES FUNDAMENTALES DE LA FÍSICA

# OBSERVAR RAYOS GAMMA PARA SABER CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

Cada hemisferio de la Tierra albergará una de las dos sedes de la futura Red de Telescopios Cherenkov (CTA, Cherenkov Telescope Array) diseñada con el objetivo de cubrir todo el espacio exterior y en estéreo, una técnica que permite reconstruir de forma eficiente las propiedades de los sucesos espaciales. Gracias a los telescopios con los que estará dotada -de mayor sensibilidad que los actuales- será posible estudiar con detalle una de las más potentes radiaciones del Universo, los rayos gamma. España ha sido elegida para albergar el Observatorio Norte en Roque de los Muchachos, en la Isla de Palma, unas instalaciones que estarán formadas por 20 telescopios.

Texto: **RICARDO TAPIA**  
Fotos: **G. PÉREZ, IAC (SMM)**



Superar esta limitación, entre otras, es lo que consiguen los modernos telescopios Cherenkov, que no los detectan directamente, sino sus efectos. ¿De qué forma? Aprovechando la capa alta de la atmósfera, ya que al entrar en contacto con ella el rayo se descompone en electrones y fotones creando una sucesión de cascadas de partículas de las que sólo unas pocas llegan a unos diez kilómetros de la superficie de la Tierra. Instante en el que durante nanosegundos se produce un destello de luz azulada muy brillante, el efecto Cherenkov. Con ese cono de luz que detecta el telescopio, los investigadores intentan inferir qué tipo de fotón gamma origina la cascada, de qué dirección viene y cuál es su energía.

¿Y de qué sirve poder reconstruir la trayectoria de los rayos gamma? Para observar con muchos más matices los fenómenos más violentos del Universo, los procesos físicos que generan más energía –agujeros negros que engullen materia, explosiones de supernovas, púlsares o estrellas binarias– capaces de dejar un rastro que es invisible pero que está ahí: el rayo gamma. Un espectro visible gracias a estos telescopios que son capaces de detectarlo. Y con ello, la posibilidad de estudiar y resolver todo tipo de cuestiones físicas: la búsqueda de materia oscura, la detección de los efectos de la gravedad cuántica o el análisis de la materia y la física más allá del modelo estándar o el origen. Así como las consecuencias de los rayos cósmicos, que son constantes, proceden de cualquier parte del cielo y contribuyen en un 15% a la radiactividad natural (ya que ésta no proviene sólo de los materiales radiactivos que se encuentran en la corteza terrestre).

## EL PROYECTO CTA

La Red de Telescopios Cherenkov (CTA, Cherenkov Telescope Array) es una iniciativa internacional, liderada por la Unión Europea y Japón, basada en un consorcio de colaboración en el que unos 1.500 científicos e ingenieros, de más de 30 países de los cinco continentes, llevan trabajando desde hace unos diez años y que pretende aumentar las posibilidades o capacidades de los dos telescopios MAGIC (en España), los cuatro HESS (en Namibia) y los cuatro VERITAS (en EEUU) actualmente operativos. Aparatos de menor tamaño (en torno a los 10 metros de diámetro), con menor capacidad de detección y excesivamente costosos de mantener. Razones por las que todavía se está debatiendo si serán retirados una vez que los nuevos observatorios entren en funcionamiento, allá por 2021.

El futuro CTA contará con dos sedes. Una en el hemisferio Sur, probablemente en el Observatorio Europeo Austral, de Chile, y otra en el Norte –sólo a falta de firmar el documento del acuerdo– en El Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. En éste, se van a instalar veinte telescopios: cuatro LST (Large Size Telescope, de 23 metros de diámetro) y 15 MST (Medium Size Telescope, de 12 metros). En cuanto a las instalaciones del Sur, estarán conformadas por 4 LST, 25 MST y unos 50 SST (Small Size Telescope, de 5 metros).

“Todos los telescopios trabajan de forma conjunta, mediante una técnica llamada estereoscopia. Cada uno ve el rayo gamma desde una dirección ligeramente distinta. Como triangulando, para saber de qué dirección viene. Esa es la razón del elevado número de telescopios que se quiere des-

**L**a riqueza del Universo en objetos que producen rayos gamma de alta energía –por tanto fuentes que demuestran la existencia de potentes aceleradores de partículas celestes– es elevada. De ahí la importancia de observar este tipo de rayos que provienen de una estrella determinada y viaja en una única dirección, ya que se convierten en una ‘ventana’ para conocer mejor el funcionamiento del Universo. Eso sí, al ser de muy alta energía, los rayos gamma deben ser estudiados desde la Tierra porque su elevada distribución energética supone –curiosamente, aunque no para leyes de potencia– menor presencia de protones y por tanto mayor dificultad para ser detectados.

## Los nuevos telescopios tendrán una sensibilidad diez veces superior a los actuales y con un rango espectral más amplio que cubrirá energías que van desde decenas de giga electronvoltios a centenares de teras

plegar y de que sean más grandes que los actuales, porque cuanto más grande es el espejo más luz recoge y puede bajar en energía, es decir, más débil puede ser el rayo gamma que se detecte. Se trata de energías de rayos gamma en torno de Tera electronvoltio (TeV). Con un telescopio de tres metros de diámetro se podría observar a un TeV, con uno de 20 metros ya es posible captar por debajo de 100 gigas electronvoltios (GeV), 0.1 tera electronvoltio. Queremos estar en el rango entre 10 GeV hasta 100 TeV”, explica Juan Cortina, del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE), ubicado en Barcelona, encargado de coordinar el proyecto CTA en

España y uno de los programadores de los telescopios MAGIC.

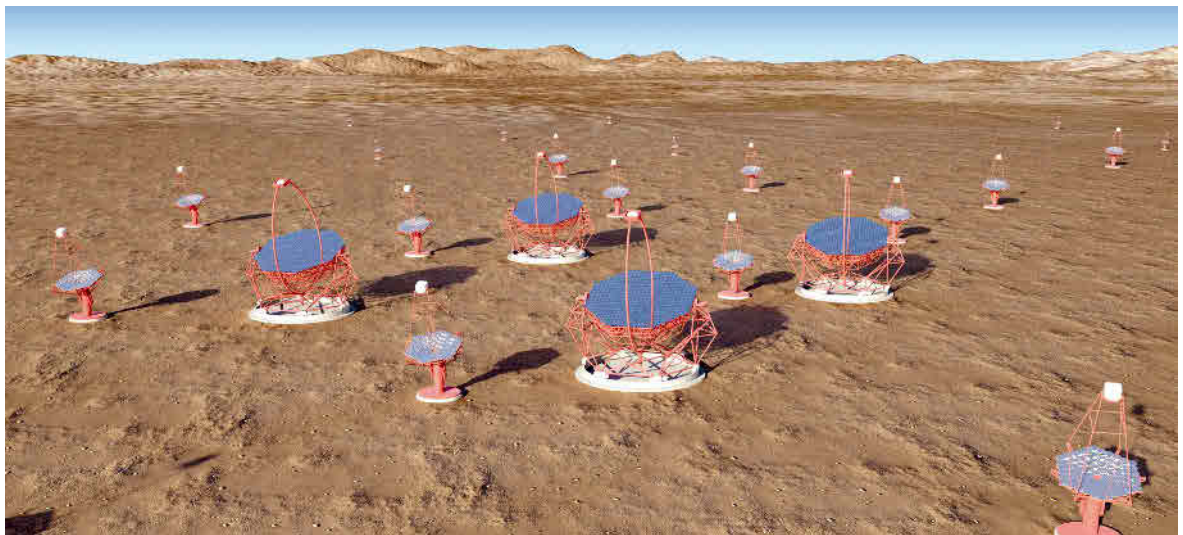
El coste total del Observatorio Sur es de 200 millones de euros, mientras que el del Norte es de aproximadamente 90 millones, de los que el Gobierno de España se ha comprometido a aportar 40. Recientemente la secretaria de Estado de I+D+i, Carmen Vela, ha explicado la importancia de esta apuesta para que el CTA Norte se ubique en El Roque: “Canarias, que aporta un cielo extraordinario y unas infraestructuras de primer nivel, es una potencia mundial en astronomía que refuerza su importancia con esta nueva red de telescopios”. Y

Cortina confirma lo que supone para los investigadores nacionales. “Al entrar en el CTA con esa gran inversión que va a aportar el ministerio nos garantiza retorno de tiempo, vamos a poder hacer investigaciones mucho más competitivas”.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS TELESCOPIOS

Los nuevos telescopios tendrán una sensibilidad diez veces superior a los actuales y con un rango espectral más amplio que cubrirá energías que van desde decenas de giga electronvoltios a centenares de teras. Y toda la red en conjunto ofrecerá la posibilidad de disponer de un único instrumento que cubra todo el cielo. Así, si se produjese cualquier fenómeno, por ejemplo el estallido de una supernova, se garantizará que se va a observar.

Su robotización será mucho mayor para que no requieran excesivo mantenimiento. El objetivo es que su mantenimiento sea



Alrededor de los telescopios más grandes, de 23 m de diámetro, se colocará una red de telescopios medianos (12 m de diámetro) y pequeños (6 m de diámetro).

## Las razones de un físico para investigar los rayos gamma

El técnico del Instituto de Física de Altas Energías (IFAE) Juan Cortina no esconde que la astrofísica no tiene aplicación 'práctica', que es física fundamental, investigación pura y dura. "Lo principal es descubrir características nuevas sobre cómo funciona el Universo. Disponer de CTA es poder investigarlo en este rango de energías que aún no está explorado, averiguar más sobre las leyes fundamentales de la Física, por ejemplo en materia oscura, o de acercarse mucho más a lo que sucede en un agujero negro, donde están implicadas esas leyes que se podrán testear, ratificarlas o negarlas, o descubrir otras nuevas... La Gravitación de Einstein es una teoría que sobre todo se aplica cuando se está cerca de objetos muy grandes (como los agujeros negros) y existe un campo gravitatorio muy fuerte. Como este tipo de objetos no es fácil de investigar, es necesario 'irse' muy lejos y analizar la radiación que se produzca cerca de ellos. Esa radiación son los rayos gamma. Por eso, estudiándolos, se pueden descubrir fenómenos nuevos o que rompan lo que se esperaba según determina la teoría de la relatividad general".

Ese es el tipo de investigación que Cortina defiende que se puede desarrollar, así como en otros campos, por ejemplo el de la materia oscura: "Dos de las partículas que la conformasen podrían chocar entre sí y aniquilarse. Son como la materia y la antimateria, y producen rayos gamma que podrían estar ubicadas en las energías que vamos a analizar. Por tanto, si se observa que llegan rayos gamma de un punto del cielo del que no deberían venir podría tratarse de materia oscura. Hay zonas en los centros de las galaxias donde se espera que se acumule la materia oscura y por tanto se emitan muchos rayos gamma. CTA nos va a permitir llegar muy cerca de esos puntos, del flujo, del brillo que emitan los rayos gamma de materia oscura".

menos costoso que los actuales. En el CTA se busca que su hardware resulte más robótico, que muchas operaciones se hagan ya de forma automática, y que el instrumento sea mucho más fiable para reducir el número de fallos. Están diseñados para una vida útil de unos 30 años. Con ellos se podrá operar –y obtener datos– de forma remota desde cualquier laboratorio o despacho, sin que surjan impedimentos que no sea posible solucionar en la distancia.

En el caso de los LST se trata de telescopios de espejo, porque resulta difícil fabricar lentes tan grandes, cuyo diámetro es de 23 metros, con forma parabólica y teselado con espejos

más pequeños de dos metros cuadrados para garantizar que pueden seguir la parábola idónea en cualquier posición a la que apunten. Gracias a su sistema interno de óptica activa pueden moverse con ayuda de sus motores para mantener el espejo siempre enfocado a su cámara correspondiente. Su estructura es ligera para que en menos de 20 segundos, tras recibir la orden, apunten al lugar de cielo especificado.

El telescopio 'recoge' la luz y la dirige a un punto más pequeño hacia el que permanece enfocada una cámara de grandes dimensiones, tres por tres metros, y provista de unos 2.000 fotomultiplicadores, detectores de luz con una

respuesta de lectura muy rápida capaces de captar un pulso de luz de menos de un nanosegundo. Los datos que obtiene se guardan en discos físicos, que posteriormente son enviados a los centros de procesado para su análisis por el personal investigador.

En España se han diseñado elementos del LST, piezas de la mecánica o la parte inferior que mueve al telescopio. Respecto a la cámara, toda su mecánica se está desarrollando en el CIEMAT, así como parte de su electrónica en colaboración con la Universidad Complutense, el instituto de Física de Altas Energías y la Universidad de Barcelona. También gran parte del software es de diseño nacional. Además, se participa en parte de la electrónica de la cámara en el MST. Sin olvidar trabajos más vinculados con la física, la ciencia o la preparación de observaciones futuras.

El CTA, para Juan Cortina, es innovador porque va a ser un observatorio abierto a toda la comunidad científica: "Se va a permitir que cualquier astrónomo pueda pedir observaciones. Por eso, como lo importante al trabajar con un telescopio es saber hacia dónde apuntar, se hará primero un trabajo previo para determinar qué estrellas son ideales para investigar lo que se busca. A los astrofísicos se les ofrecerá que escojan qué estrellas investigar y se elegirán las mejores propuestas. Eso sí, los miembros de CTA tendremos siempre tiempo propio y adicional para usar los telescopios. Todos los datos los podremos recoger nosotros, algunos nos pertenecerán y otros no, pero muchos serán comunes para todos". ■

Desde una órbita situada a 400 kilómetros de la superficie terrestre el EUSO detectará, observará y estudiará estos breves destellos de luz causados por la radiación cósmica que llega desde el espacio profundo.

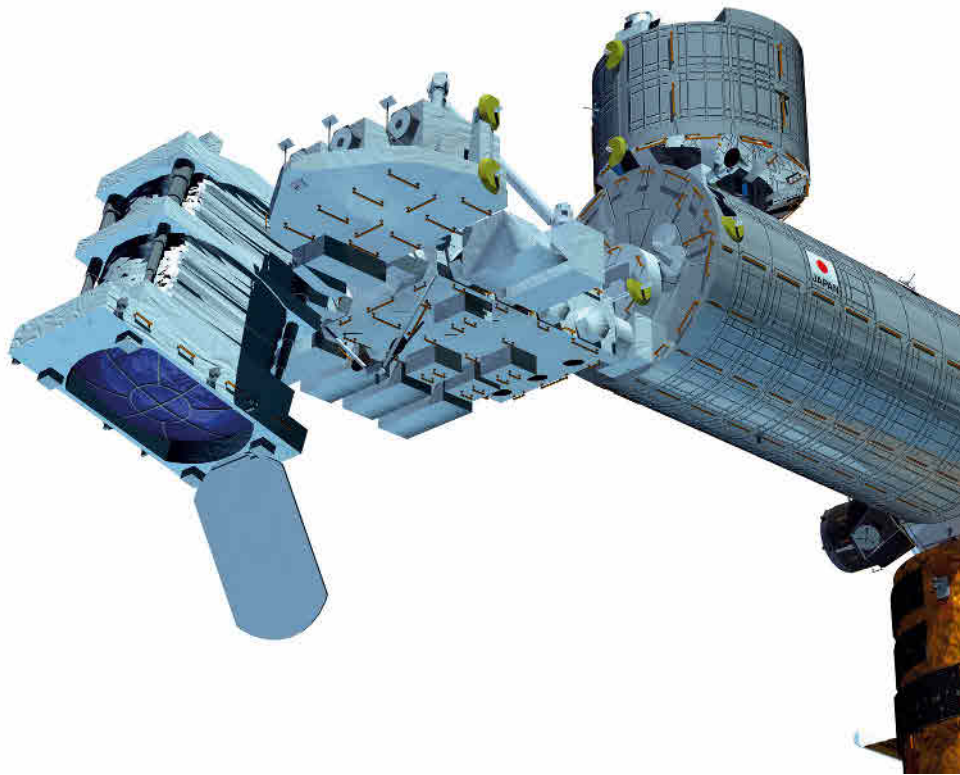
EL OBSERVATORIO ESPACIAL DEL UNIVERSO EXTREMO (JEM EUSO) SE INSTALARÁ EN 2017 EN LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

## UN CAZADOR DE RADIACIÓN CÓSMICA

El bombardeo es constante, pero la atmósfera terrestre frena y transforma las partículas de ultra-alta energía. De no ser así, la vida sería imposible en el planeta. Pero ¿de dónde llegan o por qué contienen esa inmensa energía? Es un misterio. Tan sólo se conoce poco más del cinco por ciento de la materia que compone el Universo. Del resto, un 23% es materia oscura y lo demás energía oscura, la energía que se cree provoca la expansión del Universo. La instalación de un observatorio en la estación espacial buscará dar caza a estos mensajeros cargados de tan valiosa información para desentrañar esas cuestiones.

Texto: **PABLO ALMERA**

Fotos: **EUSO**



**E**stá previsto que en el año 2017 quede instalado en el módulo experimental japonés (por sus siglas en inglés, JEM) el observatorio espacial del universo extremo (EUSO) en la Estación Espacial Internacional (ISS), a 400 kilómetros sobre la superficie del planeta.

El EUSO es la apuesta mundial para conocer un poco mejor la radiación cósmica de ultra-alta energía (Ultra-High Energy Cosmic Rays, UHECR) y, por tanto, del universo extremo. En esta misión están participando 13 países, 77 institutos y unos 280 investigadores con el apoyo de instituciones internacionales y agencias espaciales nacionales.

Hasta ahora, la radiación cósmica se estudiaba a ras del suelo. Primero, en observatorios como el del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Después, en el Observatorio Pierre Auger, en Argentina, donde sigue operando una instalación que ocupa una superficie de tres mil metros

cuadrados y que, a pesar de su extensión, resulta insuficiente, porque los sucesos relacionados con la radiación cósmica que buscan los investigadores se producen una vez cada cien años por kilómetro cuadrado. En Pierre Auger se detecta una media de 30 partículas de ultra-alta energía al año, lo que no permite obtener la estadística necesaria para un conocimiento científico válido sobre la radiación cósmica.

### EN ÓRBITA

Para ampliar esa estadística era necesario trasladar la investigación al espacio y extender el campo de estudio. Cuando un rayo cósmico de ultra-alta energía choca con los átomos de la atmósfera terrestre se convierte en una cascada de nuevas partículas (EAS). El EUSO, desde una órbita situada a 400 kilómetros de la superficie terrestre, detectará, observará y estudiará estos breves destellos de luz causados por la radiación cósmica que llega desde el espacio profundo. Además, como la Estación Espacial

Internacional completa una órbita cada 90 minutos, los barridos del EUSO serán constantes y se prevé que cubran hasta un 60% de la atmósfera planetaria. Desde esa privilegiada posición, el sensor del EUSO, un telescopio diseñado con lentes de gran apertura y una distancia focal corta, detectará los rayos cósmicos de ultra-alta energía.

Estas partículas están cargadas con una energía por encima de 1.019 eV, casi un julio de energía (un julio equivale a 1.020 electronvoltios). Para hacerse una idea de la carga de estos rayos cósmicos, basta apuntar que en el acelerador de partículas de Ginebra (LHC CERN), la instalación con la tecnología más avanzada del planeta, las partículas que se obtienen son cien millones de veces más débiles que las que llegan del espacio.

### REACCIONES NUCLEARES

Si la radiación cósmica llegara a la superficie terrestre tal y como viaja por el Universo, la vida en

## Además de estudiar la radiación cósmica, se pretende asegurar la protección de los seres humanos y de las instalaciones más críticas del planeta, así como de las infraestructuras espaciales

la Tierra, tal y como se conoce, sería una quimera. Gracias a la atmósfera que rodea el planeta la radiación llega, pero transformada, minorizada y ramificada en millones de partículas no letales.

La colisión de un rayo cósmico de ultra-alta energía con las partículas de la atmósfera terrestre libera electrones que, a su vez, generan nuevas partículas que siguen colisionando con otras y provocando diferentes reacciones nucleares. Así se provoca una cascada –también cono-

cida como lluvia de partículas (EAS)– de más de 1.011 nuevas partículas. A pesar de su escasa duración, produce la luz de Cherenkov (más info págs. 28-31) y el fenómeno de fluorescencia. Este último es con el que operará el JEM EUSO y se reconoce por un haz de luz a caballo entre el azul y el ultravioleta que es el que se detecta y se registra para su posterior estudio.

El origen de los rayos cósmicos más energéticos sigue siendo un gran misterio y, por ahora, ha sido imposible identificar las

fuentes que los producen. Sí se ha confirmado su naturaleza extragaláctica. Los investigadores son conscientes de que se están adentrando en territorios de la Física completamente novedosos y que determinando la trayectoria de estos rayos será más fácil seguirles la pista hasta encontrar ese objeto –de reacciones nucleares violentísimas– capaz de acelerar partículas hasta las energías que se observan en los rayos cósmicos. Quizá, sea el principio para resolver qué es la materia oscura, que se sabe que existe por su influencia gravitatoria sobre los astros, pero que se desconoce su composición.

Con el observatorio JEM EUSO, además de estudiar la radiación cósmica e independientemente de incrementar el conocimiento científico –también se presupone que estas partículas guardan mensajes del universo primigenio–, se pretende asegurar la



El lanzamiento de la cámara infrarroja se ha resuelto con éxito, aunque valorar toda la información recogida durante las 24 horas del vuelo suborbital monitorizando su funcionalidad llevará a los investigadores españoles cerca de un año.

## Misiones del observatorio JEM EUSO

- Identificación de fuentes UHE
- Medición de la energía de las fuentes de los espectros individuales
- Medición del espectro de trans-GZK
- Descubrimiento de neutrinos UHE
- Descubrimiento de los rayos gamma UHE
- Estudio del campo magnético galáctico y extragaláctico locales
- Resplandor nocturno
- Eventos luminosos transitorios (TLE)
- Meteoros y meteoritos
- La relatividad y las pruebas de la gravedad cuántica

protección de las personas y de las instalaciones más críticas del planeta, y también la protección de las personas y de la instrumentación en el espacio, ya sea en operaciones orbitales o en viajes de exploración a otros planetas.

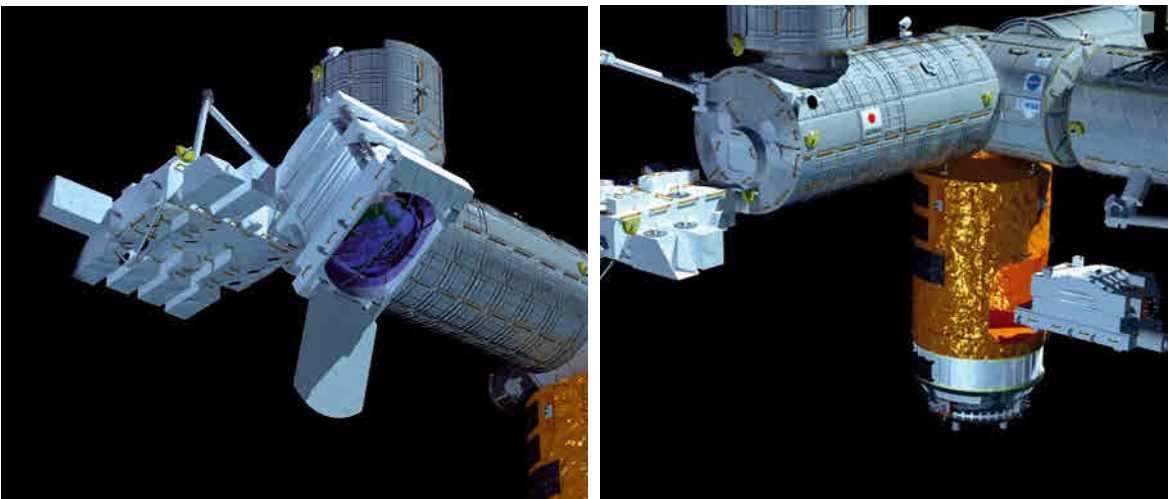
### MADE IN SPAIN

España es uno de los 13 países que participa en el proyecto JEM EUSO aportando la cámara infrarroja (IRCAM) que formará parte del observatorio que se instalará en la Estación Espacial Internacional. La profesora M<sup>a</sup> Dolores Rodríguez Frías, de la Universidad de Alcalá de Henares, es la Investigadora Principal del Proyecto Coordinado del MINECO para la Contribución Española a la Misión Espacial JEM EUSO. Esta doctora en Físicas lleva veinticinco años estudiando la Radiación Cósmica de Ultra-Alta Energía (UHECR) y, desde 2007, está adscrita al programa espacial EUSO dirigiendo el diseño y la construcción –cien por cien española– de esta carga útil.

Bajo su batuta, la tecnológica española –ocupa poco más que una caja de zapatos– ha volado en dos globos estratosféricos: EUSO-Balloon de la Agencia Espacial Francesa (CNES), lanzado el 24 de agosto de 2014, y el NASA-Balloon, lanzado desde Fort Sumner (New Mexico) el 10 de octubre de 2015.

El primer vuelo constituyó un éxito que permitió seguir avanzando en el desarrollo de un segundo prototipo en el que se implementaron diferentes mejoras. El lanzamiento más reciente, previsto para el 17 de septiembre de 2015, pero aplazado hasta el 10 de octubre por las malas condiciones meteorológicas, también se ha resuelto con éxito, aunque valorar toda la información recogida durante las 24 horas del vuelo suborbital de la IRCAM monitorizando su funcionalidad llevará a los investigadores españoles cerca de un año.

“El lanzamiento de esta carga útil constituye por si mismo un hito: es la primera vez que la NASA vuela una instrumentación espa-



Un sensor, diseñado con lentes de gran apertura y una distancia focal corta, detectará los rayos cósmicos de ultra-alta energía.

## El origen de los rayos cósmicos más energéticos sigue siendo un gran misterio y, por ahora, ha sido imposible identificar las fuentes que los producen. Sí se ha confirmado su naturaleza extragaláctica

cial de tecnología española, algo que muy pocos países han conseguido hasta ahora”, remarca Rodríguez Frías. La IRCAM destaca por ser una cámara de radiación infrarroja diseñada para operar a 400 kilómetros de la superficie terrestre, desde la ISS. Su función: medir la interferencia de las nubes de la atmósfera en la trayectoria de los rayos cósmicos para poder utilizar el telescopio principal en días nublados. La prueba se ha realizado a 40 kilómetros de altitud (cuatro veces más que lo que alcanza un vuelo comercial) porque, como señala

Rodríguez Frías, “el ambiente es más agresivo que en la órbita de la ISS; si la cámara sobrevive en la estratosfera, sobrevivirá a 400 kilómetros”.

El propósito de la contribución española es científico, tecnológico y estratégico. En los dos primeros aspectos ya se puede considerar un éxito, pues toda la carga útil es de fabricación española, y estratégicamente este proyecto posicionará a España asegurando fondos públicos y privados para continuar en el mapa espacial internacional. ■

### Cámara infrarroja IRCAM

IRCAM es la primera cámara infrarroja construida con tecnología aeroespacial y desarrollada íntegramente en España. El diseño y ensamble del equipo ha sido coordinado por el Grupo de Espacio y Astropartículas de la Universidad de Alcalá de Henares y financiado por un proyecto coordinado del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) que aglutina al Instituto de Astrofísica de Canarias, la Universidad de León, el Instituto de Microgravedad Ignacio Da Riva (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el Laboratorio de Cargas Útiles del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) junto a la empresa del sector aeroespacial ORBITAL.



España aporta al proyecto la cámara infrarroja (IRCAM), puesta a prueba en dos vuelos experimentales en globos aerostáticos.

# SIERRA ALBARRANA

## El Cabril y su entorno



© Junta de Andalucía

### SENDERO DEL RÍO BEMBÉZAR, TRAVESÍA ÚNICA

En plena sierra cordobesa, los amantes de la naturaleza pueden disfrutar de un sendero que discurre paralelo al río Bembézar y encajado en el valle. El camino, de 13 kilómetros, transcurre entre bosques de gran riqueza y asentamientos de diversos tipos de aves.

Pág. 40

### PRESENTADA LA GUÍA DEL PARQUE NATURAL SIERRA DE HORNACHUELOS

A través de cuatro rutas temáticas la Guía Oficial muestra el patrimonio natural y etnográfico de este espacio protegido de algo más de 60.000 hectáreas, destacando los valores más sobresalientes del espacio, así como las costumbres, usos y aprovechamientos tradicionales.

Pág. 42



© Univ. de Córdoba

### 'MELLARIA, ROMANOS EN EL ALTO GUADIATO'

Los primeros resultados de este proyecto se han mostrado en una exposición celebrada en Fuente Obejuna, que constata la potencialidad arqueológica del territorio de la antigua ciudad de Mellaria.

Pág. 43



© . Ayo. Fuente Obejuna

### LA CASA CARDONA Y EL MODERNISMO DE PRINCIPIOS DEL SIGLO XX

Considerada una pieza clave del modernismo en Andalucía, este palacete construido entre 1905 y 1908 conserva el espíritu de las casas nobiliarias. Promovido por un enamorado de la imaginativa obra de Gaudí, el edificio tiene planta cuadrada, tres plantas, un sótano, una azotea y una espléndida rotunda de tres cuerpos en su ángulo suroeste. A mediados de los años cincuenta, un valenciano y abogado del Estado, José Cardona Sanz, se convertiría en el último propietario particular de este inmueble –antes de pasar a manos de diversas instituciones– y quién acabaría dándole el nombre por el que se le conoce.

Pág. 38



El Palacete, atribuido al arquitecto Adolfo Castañeyra Boloix y construido por el hacendado Pedro Celestino Romero del Santo a principios del siglo XX, es una joya del Modernismo.

ACTUALMENTE ES LA SEDE DEL MUSEO HISTÓRICO DE FUENTE OBEJUNA Y OFICINA DE TURISMO

## LA CASA CARDONA Y EL MODERNISMO DE PRINCIPIOS DEL SIGLO XX

Considerada una pieza clave del modernismo en Andalucía, este palacete construido entre 1905 y 1908 conserva el espíritu de las casas nobiliarias. Promovido por un enamorado de la imaginativa obra de Gaudí, el edificio tiene planta cuadrada, tres plantas, un sótano, una azotea y una espléndida rotonda de tres cuerpos en su ángulo suroeste. A mediados de los años cincuenta, un valenciano y abogado del Estado, José Cardona Sanz, se convertiría en el último propietario particular de este inmueble —antes de pasar a manos de diversas instituciones— y quien acabaría dándole el nombre por el que se le conoce.

Texto: **NATIVIDAD GAVIRA Y BÁRBARA GORDO**

Fotos: **AYTO. DE FUENTE OBEJUNA**

# Y

a desde los años cincuenta del siglo pasado, los últimos moradores

de la Casa Cardona mostraron su deseo de abrir este palacete modernista a la sociedad de la comarca, hacer de esta pieza única un lugar de encuentro turístico y artístico. Un propósito por fin conseguido después de muchas vicisitudes y de haber estado condenado el inmueble a un largo periodo de abandono.

Tras el inicio de su rehabilitación en 2006 y su reinauguración en 2012, la Casa Cardona conoce ahora su esplendor como Museo Histórico de Fuente Obejuna y sede de la Oficina de Turismo. Además su planta baja está concebida como una gran sala de exposiciones y en la primera está prevista la creación de un Centro de Interpretación de la famosa obra de Lope de Vega que todo el pueblo representa anualmente. Con todo ello se ha convertido en un núcleo de actividad que sirve de brújula al visitante de la localidad y sus catorce aldeas. Sin duda, uno de los motores culturales del municipio.

## BIEN DE INTERÉS CULTURAL

Su recuperación comenzó con el reconocimiento como Bien de Interés Cultural (BIC) en 2004 y entrar a formar parte del catálogo General de Patrimonio Histórico de Andalucía. Las obras para 'reconstruirla' supusieron una inversión de 2,63 millones de euros, de los que la Consejería de Vivienda aportó el 91,5% del presupuesto y el resto el Ayuntamiento de Fuente Obejuna. Hoy es un edificio polivalente, adaptado a los tiempos y cuyos 1.320 metros están destinados a diversos espacios. El semisótano es en la actualidad la mencionada sede del Museo Histórico de la localidad, la planta baja se dedica



Detalle de las pinturas murales que decoran las habitaciones principales de Casa Cardona.

a la organización de exposiciones y sus extensos jardines arrojan la historia y leyenda de esta casa.

El Palacete, atribuido al arquitecto Adolfo Castañeyra Boloix y construido por el hacendado Pedro Celestino Romero del Santo a principios del siglo XX, es una joya del Modernismo. Es obra del mismo autor de la Iglesia de Santa Bárbara de Peñarroya Pueblonuevo, el antiguo Banco Hispanoamericano de Pozoblanco y la actual sede del Colegio de Arquitectos de Córdoba o el IES Maimónides en Córdoba. Durante la Guerra Civil, la casa sirvió de refugio y sufrió enormes desperfectos, perdiendo parte de su primitiva voluptuosidad. Años después, la familia Cardona, procedente de Valencia, se instala en Fuente Obejuna, debido a un traslado profesional del cabeza de familia. Pronto su esposa repara en la hermosura de la vieja casa semiderruida y deciden comprársela a los herederos de Romero del Santo. Cuando en 1948 por

fin se instalaron, había resultado más costosa su reparación que su adquisición.

Este tesoro, de propiedad municipal, disfruta hoy en día de un mayor grado de protección arquitectónica, lo que asegura la pervivencia de sus grutescos que se retuercen sobre los vanos de las fachadas, de sus cristales multicolores y de sus gigantescas hojas de piedra. Las habitaciones principales están decoradas con preciosas pinturas murales y giran en torno a un patio interior –cubierto por una amplia claraboya– que es el elemento que centraliza las estancias. De él parte una escalera que asciende en tres tramos. La fachada principal está formada por una puerta de arco de medio punto y cuenta con tres balcones con balaustrada de piedra. Mientras, la otra fachada, en ángulo con la principal, se proyecta sobre el jardín y dispone de una abundante decoración vegetal. ■

El sendero discurre entre meandros, barrancos y bosques de gran riqueza



DURANTE EL RECORRIDO ES POSIBLE VER  
UN NÚCLEO DE NIDOS DE BUITRES LEONADOS

## SENDERO DEL RÍO BEMBÉZAR, UNA TRAVESÍA ÚNICA

En plena sierra cordobesa, en el Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos, los amantes de la naturaleza pueden disfrutar de un sendero espectacular que discurre paralelo al río Bembézar y encajado en el valle. Con un total de 13 kilómetros, y apto para todos los públicos, el camino transcurre entre bosques de gran riqueza y asentamientos de diversos tipos de aves.

Texto: **SUSANA VELASCO**  
Fotos: **JUNTA DE ANDALUCÍA**

**L**a ruta comienza cerca de la localidad de Hornachuelos, en lo que se conoce como la presa de derivación del Bembézar, y finaliza en la presa principal del río. Una vez que llegas a la presa secundaria, crúzala y toma el camino en dirección Norte dejando a la izquierda el cauce del río. A partir de ahí, el sendero discurre entre meandros, barrancos y bosques de gran riqueza. La vegetación que más abunda en la travesía es el matorral mediterráneo, los acebuches y los al-

garrobos, pero, según te adentras en el bosque, puedes contemplar robles, encinas o alcornoques. Incluso, si evitas hacer ruido al andar, es posible disfrutar de los sonidos de diversas especies de aves y rapaces, por ejemplo el buitre leonado.

Al principio la senda es algo estrecha, pero en pocos metros se ensancha y se convierte en un amplio y cómodo camino que se mantendrá así hasta el final del recorrido. Cuando lleves casi un kilómetro desde el inicio de la ruta, comprobarás que el río hace su primer quiebro, lo que te obliga a cruzar el pequeño arroyo que forma. Si miras a la otra orilla tendrás la posibilidad de contemplar Hornachuelos al borde del precipicio, sin duda una estampa espectacular.

### CONVENTO DE SANTA MARÍA DE LOS ÁNGELES

Unos kilómetros más adelante, llegas a un imponente edificio visiblemente abandonado. Se trata de una construcción del siglo XV, que fue un convento franciscano de la orden de Santa María de los Ángeles. Después de la Desamortización, se utilizó durante bastantes años como centro de caza. Más tarde volvió a manos del clero, que lo utilizó hasta los años 70 del siglo pasado como seminario de la Diócesis de Córdoba. Cuando se le dejó de dar esta finalidad, volvió a caer en el olvido. Y así, hasta la actualidad, sin ningún uso.

Al avanzar aproximadamente medio kilómetro más, alcanzas una de las zonas más espectaculares del recorrido, las buitreras. El acantilado que se observa justo enfrente está plagado de nidos de buitre leonado, una de las aves



El imponente edificio del siglo XV de Santa María de los Ángeles constituye otro de los grandes atractivos de la ruta.

rapaces de más envergadura de la Península Ibérica, superando incluso al águila real. Está prácticamente asegurado ver buitres sobrevolando el cielo si te mantienes en silencio. Se trata de uno de los núcleos más importantes de España de anidación de estas aves. Durante el periodo de cría, a partir de mediados de diciembre y hasta el uno de agosto, esta ruta se cierra al público para no perturbar la reproducción de ésta y otras rapaces. Además de contemplar a este majestuoso animal, en este tramo es posible ver otros animales, como buitres negros, águilas reales e incluso algún zorro o jabalí, que también pueblan estos bosques.

Dejando atrás las buitreras, continúa por el camino hasta alcanzar -tras una curva- el arroyo de Guazulema. Anda varios kilómetros y cruza también el arroyo de Cinco Aguas. En este punto, y ya cerca de finalizar la ruta, estarás bajo la presa principal del Bembezár. Sigue el camino marcado y cruza el puente que pasa por el

#### Ficha técnica

- Distancia: 13,3 km
- Duración: 4 horas
- Dificultad: Media-baja
- Época para recorrerlo: Desde el 1 de agosto al 15 de diciembre exclusivamente
- Requisitos: Autorización expresa de la Delegación Provincial de Medio Ambiente de Córdoba o del centro de visitantes de Huerta del Rey
- Antes de salir: Asegúrate de llevar agua, comida y un buen calzado apto para travesías de montaña.
- Dónde aparcar: No existe parking habilitado, es recomendable dejar el coche en Hornachuelos.

último arroyo, el Calderas. Aquí la pista se vuelve a estrechar y comienza un pequeño camino asfaltado que concluye en el poblado del embalse. Objetivo logrado. ■

## HORNACHUELOS

## PRESENTADA LA GUÍA OFICIAL DEL PARQUE NATURAL SIERRA DE HORNACHUELOS



Con la publicación de la Guía Oficial del Parque Natural Sierra de Hornachuelos la Junta de Andalucía quiere mejorar el conocimiento de este espacio protegido de algo más de 60.000 hectáreas y potenciar en torno a él una actividad turística sostenible. A través de cuatro rutas temáticas la publicación muestra el patrimonio natural y etnográfico del Parque, desta-

cando los valores más sobresalientes del espacio, así como las costumbres, usos y aprovechamientos tradicionales.

La primera de las rutas es 'De la Sierra a la Vega', un recorrido que atraviesa el Parque Natural entre Villaviciosa de Córdoba y Posadas, pasando por Hornachuelos. El itinerario discurre por paisajes de singular belleza, pudiendo hacer recorridos a pie por el Sendero del Bembézar o conocer lugares de valor histórico como el Palacio de Moratalla.

La segunda ruta, 'El agua en el Parque', discurre desde el municipio de Almodóvar del Río, pasando por los embalses de La Breña II y Bembézar, hasta llegar al embalse del Retortillo, y pretende dar a conocer al visitante el efecto modelador sobre el relieve de los tres grandes ríos que atraviesan el Parque Natural: el Guadiato, Bembézar y Retortillo.

'Refugio de Ermitaños', la tercera ruta, debe su nombre a la profunda tradición eremítica de la Sierra de Hornachuelos. El recorrido parte desde la Aldea de San Calixto hasta Santa María de las Escalonías, con especial atención al Monasterio de Santa María de los Ángeles.

Por último, la ruta de 'Un paseo etnográfico' pretende dar a conocer los usos y los aprovechamientos tradicionales en la Sierra de Hornachuelos, entre los que destacan la actividad cinegética, el corcho y la miel, entre otros.

En su última parte la guía ofrece información práctica a partir de la que el visitante podrá documentarse sobre los distintos equipamientos de uso público que ofrece el Parque Natural, así como empresas de turismo, alojamientos, restaurantes o fiestas populares.

La guía, editada por Almuzara, se puede conseguir en versión en papel en librerías especializadas o descargar gratuitamente en [www.juntadeandalucia.es/medioambiente](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente). ■

## HORNACHUELOS SUSTITUIRÁ LA RED DE AGUA POTABLE DE LOS POBLADOS

El Ayuntamiento de Hornachuelos ha presentado un plan de actuaciones que financiará con el superávit de sus arcas. La mayoría de iniciativas están basadas en las demandas de los vecinos, con los que se han reunido y en las que se expusieron una serie de necesidades que ellos consideraban prioritarias. Entre ellas se incluye la sustitución de la red de abastecimiento de agua potable de los poblados, una obra prioritaria por una cuestión de salubridad ya que las tuberías actuales son de uralita. ■

### NAVAS DE LA CONCEPCIÓN

## REABIERTO EL MIRADOR DEL ANTIGUO DEPÓSITO DE AGUA

El pasado cuatro de diciembre, el Ayuntamiento de Navas de la Concepción ha reabierto al público el mirador de esta localidad, situado en el antiguo depósito de agua que abastecía al pueblo y que a su vez está emplazado sobre el también antiguo Cerro de las Escuelas, conocido popularmente como Cerro de la Infanta Cristina. Desde este depósito, que fue convertido en mirador en el año 2013, es posible tener una magnífica vista en 360 grados de todo el pueblo, de los tejados de sus viviendas, así

como de la belleza paisajística de los alrededores. ■



Panorámica del antiguo depósito de agua que ahora sirve de mirador

## FUENTE OBEJUNA

## CELEBRADA LA EXPOSICIÓN 'MELLARIA, ROMANOS EN EL ALTO GUADIATO'



Sala de la exposición

© Univ. de Córdoba

Los primeros resultados del proyecto 'Mellaria, romanos en el Alto Guadiato' han sido dados a conocer durante el mes de diciembre en las localidades de Fuente Obejuna y Belmez. En una serie de conferencias, mesas redondas y exposiciones se han mostrado—gracias a un minucioso trabajo de fotografía aérea— de la potencialidad arqueo-

lógica de la zona comprendida por el territorio de la antigua ciudad de Mellaria y que, en la actualidad, abarca prácticamente toda la comarca del Alto Guadiato.

Este proyecto científico ha sido dirigido por Antonio Monterroso Checa y ha sido posible llevarlo a cabo con la firma de un convenio entre la Universidad de Córdoba, su Grupo de Investigación Antiguas Ciudades de Andalucía-HUM 882 y el Grupo de Desarrollo Rural Valle del Alto Guadiato. En la exposición se ha podido contemplar la historia de Mellaria, desde la prehistoria hasta la época romana. ■

## PEÑARROYA —PUEBLO NUEVO

## EN LAS RUTAS DE LAS JORNADAS EUROPEAS DE PATRIMONIO

Con motivo de las Jornadas Europeas de Patrimonio Histórico, que este año tenían como temática el Patrimonio Industrial y Técnico, la Junta de Andalucía ha organizado siete rutas gratuitas por Córdoba y provincia. El objetivo de este programa es acercar el patrimonio cultural y natural a los ciudadanos europeos. El patrimonio industrial minero de Peñarroya-Pueblonuevo fue el gran protagonista de la última de estas jornadas en Andalucía. En colaboración con la Fundación Cuenca del Guadiato, los asistentes visitaron la Mina Santa Rosa, la fundición de plomo y desplantación, el taller de reparación de vagones, el cerco de productos químicos y refractarios y los talleres, el Almacén Central, el Barrio Francés y la iglesia de Santa Bárbara. ■

## AZUAGA

## LA BANDA DE MÚSICA ACOMPAÑARÁ EL PASO DE MARÍA SANTÍSIMA DE LA PALMA

La Junta de Gobierno de la Hermandad Misericordia y Palma, del municipio de Valdepeñas, ha elegido a la Banda de Música de Azuaga —creada en 1988 a instancias del Ayuntamiento de la localidad— para que acompañe el paso de palio de María Santísima de la Palma en su estación de penitencia el Jueves Santo de 2016. Esta corporación penitencial agradece a la Banda de Música la disponibilidad y el interés

mostrado para reemplazar a la que durante cuatro años ha ejercido esta labor, la Banda Maestro Emilio Cano, de Membrilla.

Con esta iniciativa se consolida aún más la trayectoria de esta banda de música perteneciente a la Federación Extremeña de Bandas de Música y que está compuesta en la actualidad por 67 músicos y cuya dirección recae en Valentín Miragany Roca. En el

## ALANÍS

## PRESUPUESTO PARA LA MEJORA DEL CASTILLO



© Ayto. Alanís

La diputación de Sevilla destinará 150.000 a la restauración del castillo.

La Diputación de Sevilla ha aprobado una inversión de 150.000 euros para actuaciones de mejora en el Castillo de Alanís. Esta subvención se viene a sumar a otros 31.681 euros que irán destinados a la mejora de los parques y jardines de la localidad. Ambas partidas correrán a cargo del Plan Supera que nació para reconducir los excedentes económicos de las liquidaciones de los ejercicios presupuestarios 2012 y 2013 de la Diputación.

Dado que la liquidación del ejercicio presupuestario 2014 arrojó un excedente económico de unos 30 millones, la institución ha resuelto destinar este fondo a actuaciones propuestas por los municipios cordobeses y tramitadas por los mismos. ■



© Ayto. Azuaga

La banda está compuesta por 67 músicos y está dirigida por Valentín Miragany.

año 2002, esta formación ganó el primer Premio de Interpretación y también el primero a la Mejor Banda de Extremadura en el III Certamen de Bandas 'Ciudad de la Música', de Villafranca de los Barros. ■

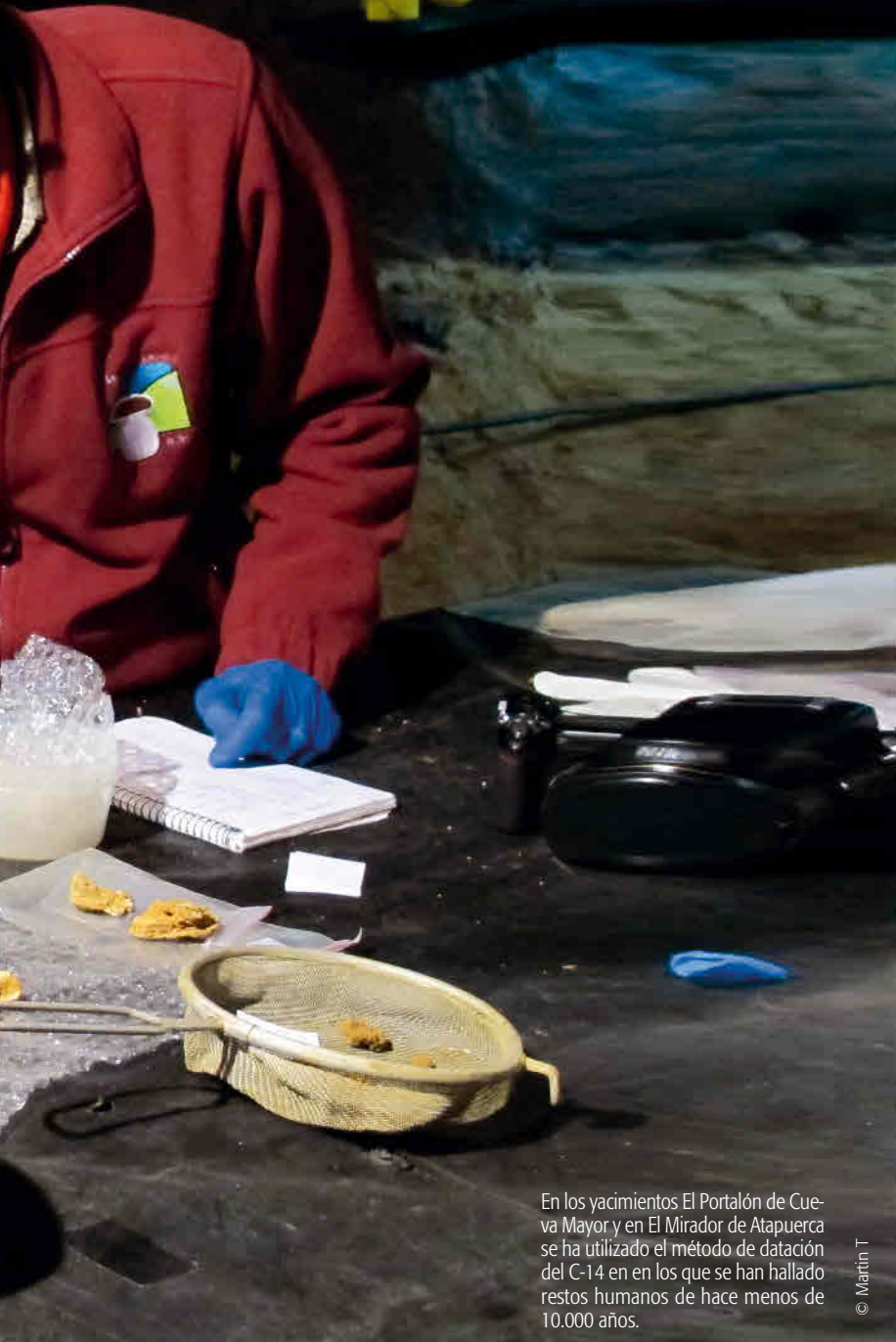


EL ANÁLISIS SE LLEVA A CABO MEDIANTE RADIOMETRÍA O ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADORES

## UN DETECTIVE DEL PASADO LLAMADO CARBONO 14

Tras el sistema que permite datar la edad de cualquier resto orgánico —ya sea un fósil, un fragmento de madera, un pergamino o una semilla— se encuentra un isótopo llamado carbono 14. Un átomo que proviene de reacciones nucleares producidas en la atmósfera y generadas por rayos cósmicos que interactúan con el oxígeno para formar dióxido de carbono. Este elemento lo absorben las plantas en la fotosíntesis y después pasa a los animales permaneciendo casi inalterable durante toda la vida del organismo. Al conocer la proporción inicial de C-14 que había en la atmósfera antes de su muerte, los restos que quedan en él determinan el tiempo transcurrido.

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**



En los yacimientos El Portalón de Cueva Mayor y en El Mirador de Atapuerca se ha utilizado el método de datación del C-14 en los que se han hallado restos humanos de hace menos de 10.000 años.

© Martín T

**C**uando los químicos norteamericanos Martin Kamen y Sam Ruben bombardearon un fragmento de grafito en un acelerador de partículas, buscando un átomo que les permitiera conocer mejor la fotosíntesis, no se esperaban que el resultado fuera un isótopo radiactivo sintético muy distinto al que buscaban: habían descubierto el carbono 14, el mismo que de forma natural se produce en la atmósfera con el bombardeo de átomos de nitrógeno por los rayos cósmicos. Tampoco

llegaron a sospechar que aquel inesperado descubrimiento abriría las puertas al pasado de la Humanidad tal como lo ha hecho. Hoy, 75 años después, sigue siendo el método más utilizado para saber con precisión a qué fecha pertenece cualquier material orgánico, ya sea un fósil, un fragmento de madera, un pergamino o una semilla.

Durante años, el comportamiento del carbono 14 fue un misterio para la ciencia. Hubo que esperar a que el físico Willard Libby descubriera en 1948 que aquel hallazgo tenía una capacidad asombrosa como reloj con marcha

atrás. Ocurrió casi al final de la II Guerra Mundial, cuando llegó a sus manos un pedazo de madera de acacia que había pertenecido a la tumba del faraón Zoser. Por datos indirectos, los arqueólogos pensaban que tenía 4.650 años de antigüedad, pero Libby determinó contando átomos de carbono 14 que en realidad tenía 3.979 años, una precisión asombrosa para la época. Hoy todas las momias se datan con un sistema gracias al cual en 1960 consiguió el Nobel de Química.

## CÓMO SE FORMA ESTE ISÓTOPO

En realidad, unos años antes el propio Libby había revelado los mecanismos de formación de este isótopo a través de reacciones nucleares en la atmósfera, generadas por los rayos cósmicos. El carbono 14 así producido se esparce por la atmósfera y reacciona con el oxígeno para formar dióxido de carbono, que luego absorben las plantas en la fotosíntesis. De esta forma, el C-14 entra en la cadena alimentaria, pues de las plantas se transmite a los animales. Es un proceso que tiene lugar a lo largo de toda la vida, por lo que su nivel es constante en todos los tejidos. La proporción de carbono 14 en los seres vivos es similar a la atmosférica: aproximadamente, uno de cada billón de átomos de carbono es carbono 14.

## La proporción de carbono 14 en los seres vivos es similar a la atmosférica: aproximadamente, uno de cada billón de átomos de carbono es carbono 14

Cuando el organismo muere, ese proceso de transmisión se interrumpe y entonces empieza a disminuir su cantidad por agotamiento. Libby determinó que el periodo de semidesintegración o semivida del isótopo eran 5.568 años, una cifra que posteriormente se ha precisado más, hasta fijarse hoy en 5.730 años. Como se conoce la proporción inicial de carbono 14, es decir la que había en la atmósfera antes de morir ese organismo,

es posible determinar el tiempo transcurrido desde la muerte de un ser vivo midiendo la que queda en los restos.

Con todo, como método de datación tiene algunas limitaciones. La más importante es que sólo es posible utilizarlo con restos orgánicos de hasta 60.000 años de antigüedad. En los más antiguos, la cantidad de carbono 14 es tan insignificante que resulta imposible conseguir unos resultados

medianamente precisos. Es un margen de error que varía entre 40 y cientos de años, en función de la antigüedad de las muestras.

### DIFICULTADES

Otro problema con el que se encontraron los investigadores es que la concentración de C-14 en la atmósfera, que durante decenas de miles de años fue casi idéntica, ha tenido alteraciones en los últimos 100 años. Por un lado, con la Revolución Industrial comenzó a liberarse carbono que estaba bajo tierra, un proceso que continúa acelerado, afectando las mediciones. Pero el cambio más importante se produjo a partir de 1950, debido a que las pruebas nucleares que se desarrollaron



En general, los arqueólogos y paleontólogos prefieren ahora usar los AMS, porque no tienen que destruir tanto material y, además, se puede tener una fecha muy aproximada en sólo una hora.

© Martín T



© Martín T

75 años después del descubrimiento del carbono 14, éste sigue siendo el método más utilizado para saber con precisión a qué fecha pertenece cualquier material orgánico, ya sea un fósil, un fragmento de madera, un pergamino o una semilla.

durante la Guerra Fría duplicaron su concentración natural.

La referencia atmosférica dejó de ser válida para las muestras orgánicas muertas a partir de entonces. A mediados de la década de los 90, el nivel de C-14 aún era un 20% superior al de 1950, así que desde entonces se tomó como patrón de referencia las medidas de madera ese año, que se encuentra en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de EEUU.

“Lo cierto es que el conocimiento de la historia de la vida en la Tierra dio un salto espectacular con el descubrimiento de la radioactividad y del carbono 14. Antes no teníamos fechas fiables para las muestras. Disponíamos

de una escala con tiempos geológicos relativos. Ahora, cualquier material orgánico con carbono puede datarse y cada vez con más rapidez y menos cantidad de muestra”, apunta Josep María Parés, coordinador de Geocronología en el Centro Nacional de Investigación en Evolución Humana (Cenieh).

Parés es investigador del Proyecto de Atapuerca, donde en dos yacimientos se ha utilizado este método de datación, en El Portalón de Cueva Mayor y en El Mirador, en los que se han hallado restos humanos de hace menos de 10.000 años. “Utilizamos restos vegetales asociados a los fósiles, pues tiene menos complicaciones en su tratamiento que los huesos. En Cueva Mayor encontramos que

en las estalactitas había restos del hollín de las hogueras que los antepasados prendieron en el interior. Lo más crítico del proceso es la preparación y recogida de las muestras para evitar contaminaciones si se quiere obtener un buen resultado. Las manipulaciones pueden dar lugar a grandes errores.”, explica el investigador.

### ANÁLISIS EN LABORATORIOS

El siguiente paso es llevarlas a un laboratorio, donde se realiza el análisis, por dos caminos distintos. El clásico, el mismo que utilizó Libby, es la datación radiométrica, que detecta cómo decae la radioactividad, es decir, cómo disminuyen los átomos de C-14

## Como método de datación tiene algunas limitaciones. La más importante es que sólo es posible utilizarlo con restos orgánicos de hasta 60.000 años de antigüedad

en la muestra, comparándolos con los que había cuando estaba viva. Pero se necesita una muestra grande, al menos 10 gramos, si se quieren tener datos fiables. Y requieren tiempo, pues hay que esperar a que tenga lugar la semidesintegración (unos 15 átomos por minutos).

La segunda técnica, más utilizada hoy, es la Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés) de partículas. En este caso, sólo se precisan unos miligramos, que primero se convierten en grafito y luego se bombardean con iones pesados, lo que permite medir las concentraciones al margen

de la radioactividad natural. “En general, los arqueólogos y paleontólogos prefieren ahora usar los AMS, porque no tienen que destruir tanto material y, además, se puede tener una fecha muy aproximada en sólo una hora”, afirma Javier Santos, investigador del Servicio de Datación de Carbono 14 del Centro Nacional de Aceleradores (CNA-CSIC), ubicado en Sevilla.

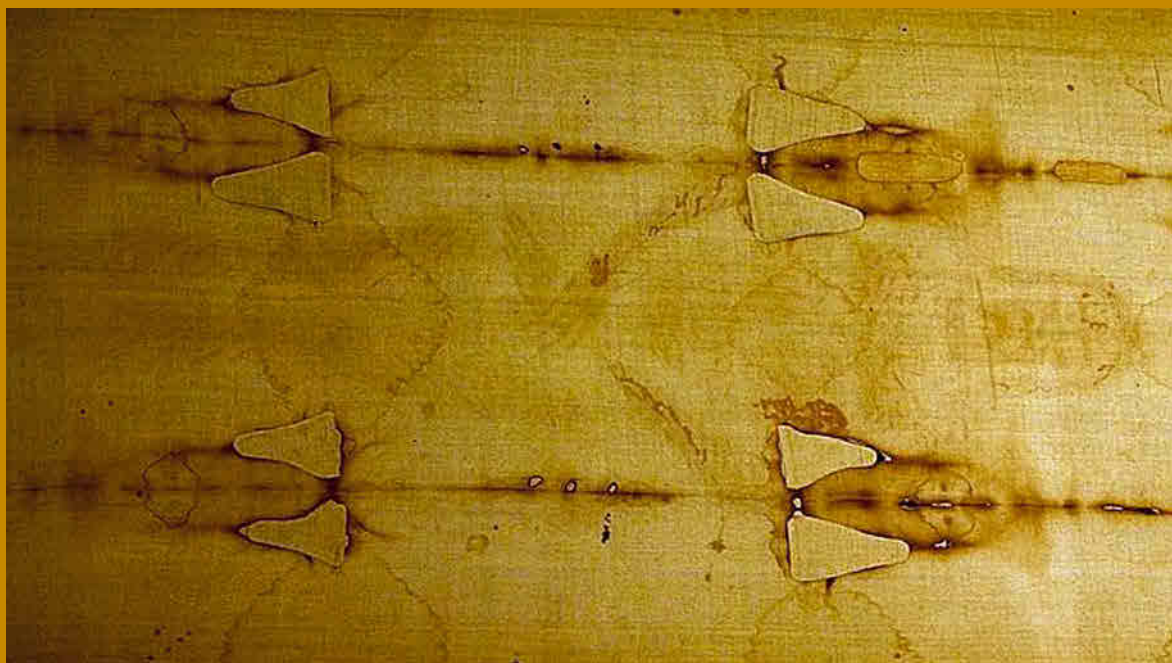
Esta instalación, inaugurada en 2007, es la única con AMS que existe en España. También en la Universidad de Barcelona se datan muestras, pero por el sistema de radiocarbono, y uno de los dos únicos lugares donde se realizan

dataciones con carbono 14 en el país, así que, en un país con tanto pasado por descubrir, son muchos los investigadores que recurren a instituciones extranjeras. “Nosotros no damos abasto, realizamos unas 700 dataciones al año, muchas relacionadas con arqueología, pero también nos piden análisis de sedimentos para estudiar el origen de los suelos, su evolución, para investigaciones geológicas y medioambientales”, explica Santos, quien comenta que los aceleradores, que comenzaron a conocerse en la década de los 80, han supuesto una gran evolución técnica. “Los primeros de los años 80 eran máquinas de grandes dimensiones, de hasta 50 metros de largo, pero a mediados de los 90 comenzaron a desarrollarse aceleradores mucho más pequeños, de medio millón de voltios, y ahora la mayoría son de siete u ocho metros. Siguen suponiendo una gran inversión, pero en los últimos 60.000 años han cambiado mucho la vida en la Tierra y estos átomos nos ayudan a averiguarlo”. ■



Equipos del Centro Nacional de Aceleradores (CNA-CSIC), en Sevilla, el único con Espectrometría de Masas con Aceleradores que existe en España.

## De la Sábana Santa a los neandertales



Son infinitos los misterios que ha revelado este isótopo desde los años 50, pero sin duda uno de los más conocidos es el del Lienzo de Turín o Sábana Santa, que según la Iglesia Católica envolvió el cuerpo de Jesucristo. En 1988, con autorización del Vaticano, los laboratorios de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, la Universidad de Oxford y la de Arizona realizaron, de forma separada, tres pruebas de datación por radiocarbono con pequeños fragmentos del sudario. Y los tres concluyeron que aquel lino era de la Edad Media, entre los años 1260 y 1390, unos resultados que se publicaron en la revista científica *Nature* y levantaron mucha polémica, pues ponía en duda la autenticidad de una de las reliquias más valiosas de esta doctrina.

Fue tal la repercusión, que años después se encargó otra investigación que contrarrestara los datos del C-14.

En España, uno de los casos que más repercusión ha tenido fue la datación de los fósiles de neandertales de la cueva asturiana de El Sidrón. En una primera prueba se les otorgó una fecha de 10.000 años, tan “aberrante”, llegó a señalar el coordinador del yacimiento, Marco de la Rasilla, que ni siquiera se hizo pública. Tiempo después, el equipo recurrió al laboratorio de Oxford, donde cuentan con un AMS. Allí se les otorgó una antigüedad mucho más ajustada: aquellos humanos ocuparon la cueva hace 49.000 años, mil años arriba o abajo. Había habido un problema de contaminación.

También se utilizó este sistema en otro caso famoso: Ötzi, la momia de un hombre que vivió hace unos 5.300 años y que fue descubierta en 1991 por unos alpinistas alemanes en la frontera entre Austria e Italia. En un primer momento, debido a su excelente estado de

conservación se pensó que podía tratarse de algún montañero que en el pasado había fallecido en la cordillera, y quedó sepultado para siempre en el hielo. Gracias al Carbono 14 se reveló, para sorpresa de la comunidad científica, que se trataba de un individuo del Neolítico europeo, la momia más antigua del continente.

Se inició entonces una exhaustiva investigación de todo el equipamiento que llevaba, que ha permitido conocer muchos detalles de cómo era la vida de los grupos humanos que vivían en la zona: cómo era la ropa y los zapatos con los que se protegían del frío, los tatuajes que se ponían en la piel, los hongos medicinales que utilizaban para las infecciones, así como el ‘kit’ de herramientas con el que emprendían un viaje como el que realizaba Ötzi cuando le sorprendió la muerte.



Cuando la autoridad competente determina que es necesario decomisar un animal para investigar si su procedencia es legal, el Seprona lo traslada a una serie de instituciones para que se hagan cargo de él.

EL CONVENIO SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS (CITES) VELA POR LA SUPERVIVENCIA DE ESTOS ESPECÍMENES

## REFUGIO PARA LOS ANIMALES INCAUTADOS POR TRÁFICO ILEGAL

Fundaciones y centros especializados en fauna y flora dan cobijo y ofrecen cuidados a los especímenes decomisados por el Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil en operaciones de comercio ilegal. Animales amparados por un convenio internacional cuya finalidad es lograr que el comercio, concretamente una explotación excesiva, no suponga una amenaza para su supervivencia. Muchos de ellos han sido transportados en condiciones pésimas, por lo que requieren tratamientos específicos y albergarlos en unas instalaciones que recrean su hábitat natural o mantengan temperaturas estables como en sus lugares de origen.

Texto: **BRUNO DÍAZ Y VICKY VALE**



**P**roteger a los animales y plantas en peligro de extinción de aquellos que sólo se mueven por intereses lucrativos y de los que coleccionan seres vivos sin ningún tipo de miramiento fue la razón principal de la ratificación en 1976 del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna (CITES). Acuerdo al que están suscritos 180 países, más la UE como organización regional, y al que España se adhirió en 1986. Este convenio supuso la creación de una clasificación –con tres apéndices– de especies protegidas con las que no se puede comerciar.

“Lleva tiempo que un nuevo tipo de animal se incorpore en la lista, ya que requiere el debate entre un grupo científico y otro administrativo, más la aprobación del comité correspondiente. Se dispone de un documento con los criterios

que se deben cumplir para añadir un animal, sobre todo el que esté en peligro de extinción, pero es conveniente contactar con su país de origen para conocer bien su situación”, explica Mercedes Núñez, coordinadora nacional de la Subdirección General de Inspección, Certificación y Asistencia Técnica de Comercio Exterior, perteneciente a la Secretaría de Estado de Comercio.

La concienciación por el bienestar animal ha aumentado en los últimos años, no sólo legislativamente sino también por la preocupación social que existe. Sin embargo, el tráfico ilegal de animales –aunque mucho menor que el legal– sigue en aumento. Entre 2002 y 2015, la Guardia Civil ha recuperado 17.159 especímenes incluidos en CITES, sobre todo reptiles y aves. “Según la Interpol, los grupos delictivos que se dedicaban al narcotráfico han orientado sus actividades a este comercio porque da muchos beneficios, un ejemplar de loro puede valorarse en 12.000 euros, y les resulta menos arriesgado, ya que las penas en los códigos penales o las sanciones por infracción son menores”, comenta el capitán Ortega, ingeniero de Montes de la Jefatura del Seprona, de la Guardia Civil.

### LA DOBLE VERTIENTE

Hace décadas, España, por su gran biodiversidad, era un país del que se sacaban especies amenazadas, más por coleccionismo que por negocio, pero en la actualidad es sobre todo una puerta de entrada a Europa de especímenes provenientes sobre todo de África, por la cercanía, y Latinoamérica, por los históricos lazos comerciales. Combatir este tráfico es una de las misiones del Seprona, el Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil.

“Nuestro ámbito de actuación es el mercado interior, cuando la ‘mercancía’ ha superado los controles aduaneros. Solemos recibir información de ciudadanos, instituciones o de la propia autoridad CITES en España, el Ministerio de Economía, sobre una posible tenencia de un animal protegido o de una operación con visos de ilegalidad. Incluso las redes sociales dejan pistas. Hace poco desde una ONG se nos comunicó que una persona había subido la foto de un macaco de Berbería, un primate, algo prácticamente impensable de tener en propiedad en Europa”, dice el capitán Ortega.

Es cuando el Seprona inicia las investigaciones. Obtiene la identidad del sospechoso, lleva a cabo un seguimiento de la operación de compra-venta y averigua dónde puede esconder al animal. Una vez recabada toda la información, se acude al investigado para incautarle el espécimen y comunicarle que ha cometido una infracción administrativa. O, si se trata de un delito de contrabando, se solicita una orden judicial. “En función del valor del animal hay dos tipos de procedimientos, uno administrativo y otro judicial, si su valor es, respectivamente, inferior o superior a 50.000 euros. No hay que descartar que la persona investigada no tuviese en ese momento la documentación pero la aportase a posteriori, con lo que se le devolvería el animal. Si el decomiso es definitivo, el espécimen pasa a ser propiedad de la Dirección General de Comercio e Inversiones. Si está incluido en el anexo A no se pueden vender ni ceder, por lo que se dedican a proyectos de cría o recuperación”, explica Núñez.

### ACOGIDA

Cuando la autoridad competente determina que es necesario decomisar un animal para investigar su

## Una de las especies amenazadas con las que más se trafica es la tortuga mora, autóctona en España, pero que se introduce desde el Norte de África para, según el Seprona, cubrir las necesidades de coleccionistas europeos

procedencia, el Seprona lo traslada a una serie de instituciones o fundaciones con el objeto de que se hagan cargo del mismo. “Darles un sitio donde puedan permanecer en las mejores condiciones posibles mientras se soluciona su situación de ilegalidad –ya sea por tráfico, tenencia o abandono– es una de nuestras misiones, siempre y cuando tengamos disponibilidad

de espacio en las instalaciones y contemos con personal que pueda atenderlos y mantenerlos”, dice Silvia Villaverde, directora veterinaria de la Fundación para la Investigación en Etología y Biodiversidad (FIEB), una organización con sede en Casarrubios del Monte (Toledo) que desde hace dos años funciona como ‘santuario CITES’ y ha acogido a cerca de 350 animales.



Tras pasar días encerrados en jaulas y con poco acceso a comida y agua, ejemplares como los loros llegan a los centros de acogida con problemas psicológicos.

Se elaboran listados conjuntamente con la autoridad CITES que especifican el tipo de especies que este tipo de organismos puede recibir en función de las características de sus instalaciones, ya que cada animal tiene sus propios requerimientos de seguridad, espacio o condiciones. Una vez comprobado que pueden acogerlo y llega a sus recintos se verifica en qué estado se encuentra, ya que muchos han sido transportados por los traficantes en muy malas condiciones. “Si se trata de animales delicados, se les intenta introducir viajando en avión, porque cuanto antes llegue menor mantenimiento les supone. Ya sea en el equipaje de mano, adormecidos e introducidos en unos canutos de cartón, esperando que el escáner del aeropuerto no los detecte, o en cinturones adheridos al cuerpo del traficante en el caso de huevos de animales protegidos. Al ser ‘material’ biológico, el arco de seguridad no lo detecta”, aclara Ortega.

Villaverde confirma que, aunque algunos sí llegan a los centros en perfecto estado, muchos deben recibir cuidado inmediato: “A veces recibimos animales incautados en mitad del proceso de transporte, que llevan muchos días metidos en jaulas y con poco acceso a comida y agua. Hay especímenes con alteraciones derivadas de la cautividad o del mal cuidado. Es habitual que los loros, por ejemplo, tengan problemas psicológicos y se arranquen sus plumas, o aves rapaces con problemas renales debido a que no ha sido adecuada la dieta que se le ha dado durante mucho tiempo”.

### TRATAMIENTO

Tras esa primera valoración, a cada animal se le hace un chequeo de admisión y un examen veterinario que incluye el análisis de

sangre, ya que han de pasar una cuarentena para verificar que no son portadores de infecciones que pudiesen afectar al resto de especímenes. Además se elabora un informe que especifica si el animal dispone de anilla o chip, o las condiciones en las que se encuentra en el momento de la entrega. “Las autoridades deben poder comprobar fácilmente que si a alguno no ha sido posible salvarlo no es por la asistencia sanitaria que se le haya dado y sí por las lesiones que tenía. Si muere, se hace un análisis postmortem especificando las causas”, explica Villaverde. Y la representante de la Secretaría de Estado de Comercio ratifica que todo se lleva a cabo de forma exhaustiva: “Los centros nos comunican regularmente si hay bajas o nacimientos. Contamos con una base de datos totalmente actualizada”. La trazabilidad de estos animales debe ser absoluta.

Una de las especies amenazadas con las que más se trafica es la tortuga mora, autóctona en España, pero que se introduce desde

## Permisos y certificaciones en la UE

Obtener un permiso de importación depende de cada tipo de especie, del país de procedencia y de los requisitos fijados en la normativa específica de la UE, el Reglamento (CE) 338/97, que clasifica los animales según su grado de protección en cuatro anexos. Para A y B –anexos más rigurosos que los apéndices I y II de CITES– se solicita un permiso de exportación antes de que los especímenes salgan del país origen. Una vez presentado, se evalúa el caso y se verifica si hay o no restricciones, que se trata de una compra sostenible. Si las especies están amparadas por CITES no se pueden importar desde cualquier aduana. En España existen doce puntos para realizar la operación y en los que el importador debe solicitar un informe de inspección para que se compruebe la documentación y los animales enviados.

Si se trata de fauna exótica –la mayoría, especies amenazadas– se requiere siempre el certificado CITES. “Hay otros animales que no están tan seriamente amenazados y se pueden introducir, aunque su comercio también sea ilegal, para los que no se requiere un certificado CITES pero sí la documentación que trace la ruta que ha seguido y la factura de compra-venta. En España hay muchos animales que no se pueden introducir libremente por cuestiones sanitarias, que traigan enfermedades exóticas, o por tratarse de especies invasoras”, explica el capitán Ortega, del Seprona.

el Norte de África para, según el Seprona, cubrir las necesidades de coleccionistas europeos a los que no les preocupa que se trate de un delito. Por eso, al igual que hay centros especializados en primates, como la fundación alicantina Primadomus, u otros para felinos, FIEB cuenta con un centro específico para ese tipo de

tortuga. “El problema es que con el cambio en el código que pena su tenencia, mucha gente las llevo a centros de recuperación antes de que entrase en vigor y ahora tenemos muchas y poca financiación para curarlas y devolverlas al campo”, señala Villaverde, cuyo centro también cuenta con una instalación específica para la cría en cautividad del visón europeo, el mamífero más amenazado de Europa. Un recinto que busca recrear su hábitat, con su río y su vegetación de ribera, y sin contacto con el ser humano.

El tráfico ilegal de animales es una realidad, pero Mercedes Núñez aboga para que ello no oscurezca el aspecto positivo del que sí es comercio legal: “La mayor parte de los especímenes CITES corresponde a comercio legal y sostenible, incluso aporta beneficios a muchos países de origen que necesitan usar esos recursos para su desarrollo. El Convenio es muy efectivo para la conservación de especies en su hábitat natural y ha favorecido el aumento de las poblaciones locales”. ■



Entre 2002 y 2015, la Guardia Civil ha recuperado 17.159 especímenes incluidos en el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna (CITES).

© Guardia Civil



Peñalara, en Guadarrama, Madrid, es una de las cuatro lagunas de la Península Ibérica de origen glaciar que se monitoriza periódicamente y permite conocer la evolución con el calentamiento global.

INVESTIGADORES ESPAÑOLES Y PORTUGUESES RECONSTRUYEN LA EVOLUCIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA NORTE

## PROYECTO PALEONAO: CÓMO CONOCER EL PATRÓN DE LAS LLUVIAS

NAO, el efecto oscilación del Atlántico Norte, es la diferencia de presión atmosférica entre Islandia y Azores, y lo que rige la variación del clima cada doce meses. Para estudiar y entender este fenómeno que determina la llegada o no de las lluvias e influye en los ecosistemas marinos y terrestres, se puso en marcha el Proyecto PaleoNAO. Basado en registros meteorológicos históricos, sus investigadores usan sensores naturales como los lagos para recabar datos. Es el caso de la laguna de origen glaciar de Peñalara, cuyos sedimentos permiten conocer la evolución del clima desde hace miles de años y observar tendencias a largo plazo de lo que acabará pasando en cuanto a precipitaciones y cambios de temperatura.

Texto: **ANA AYALA**



© Fotolia

**T**emperaturas de invierno en primavera o de verano cuando es otoño; un verano o un invierno que comienzan después de su fecha 'oficial'; una primavera o un otoño que se prolongan más allá de su 'temporada'... Un gran número de estudios confirma que el clima está cambiando y con ello las variaciones del patrón que determinan el tiempo en los hemisferios Norte y Sur. En el primer caso se trata del efecto oscilación del Atlántico Norte (NAO), es decir, la diferencia de presión atmosférica entre Islandia y las Islas Azores. En el Sur (ENOS) ocurre por el fuerte contraste de las temperaturas superficiales del Pacífico tropical, que ocasiona la aparición de El Niño por anomalías cálidas, y de La Niña, por las

frías. Ambos, NAO y ENOS, son dos de los principales modos climáticos que rigen la variabilidad natural del clima cada doce meses y, por tanto, cada varios años. Y con estos fenómenos, también está cambiando el recorrido de los vientos, la temperatura, la radiación solar...

## REPERCUSIONES

El estudio de la NAO, o de la Oscilación del Atlántico Norte, es de gran importancia por su influencia sobre los ecosistemas, es decir, la mayor o menor producción de zooplacton o las fluctuaciones de los diferentes caladeros de peces se producen por los cambios en la temperatura de la superficie marina y por los vientos asociados a las variaciones de la NAO.

También influye en el ecosistema terrestre, en la temporada de crecimiento de las plantas o en el desarrollo de invertebrados, como anfibios y aves. "Es el principal modo climático del Hemisferio Norte, que controla la llegada o no de las precipitaciones a la Península Ibérica y a toda la fachada atlántica europea a lo largo del año. Sus efectos más importantes son durante el otoño y el invierno, que es cuando llegan los frentes atlánticos a la península. Que un invierno sea húmedo o seco depende de cómo esté la situación de este modo climático. Por eso, es fundamental entender su dinámica, ya que así se sabe cuál es el patrón de lluvias en la Península Ibérica", explica Santiago Giralt, el investigador que impulsó el proyecto PaleoNAO.

## EL ORIGEN

Durante más de cinco años, Giralt y su equipo estuvieron estudiando El Niño, uno de los dos fenómenos para entender la variabilidad

climática, en las costas chilenas y en la Isla de Pascua. Y cuando ya tuvieron suficientes datos para saber cómo funcionaba, decidieron hacer lo mismo con la NAO.

En 2010 arranca la primera fase de este trabajo que se prolonga hasta 2013 y que está financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través de su Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación. Lo primero que hicieron sus responsables fue elegir dos localidades, Las Azores y la Península Ibérica. Para estudiarlo en la primera zona contactaron con dos universidades,

## El comienzo

A principios del siglo XX, Sir Gilbert Thomas Walker -profesor, físico, climatólogo meteorólogo y estadístico británico-, identificó por primera vez el fenómeno NAO, que se define como un índice que mide la diferencia de presión en superficie entre Ponta Delgada (Las Azores) y la estación de Stykkisholmur (Islandia). Desde esa fecha hasta la actualidad, sin embargo, también se han producido variaciones a la hora de valorarlo: "Algunos investigadores han propuesto utilizar el análisis por componentes en vez de los índices basados en las estaciones, que no son representaciones óptimas de la variabilidad temporal de los patrones", según explican un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias de Ourense, de la Universidad de Vigo, coordinados por Juan A. Añel Cabanelas en su artículo 'Revisión a la oscilación del Atlántico Norte y su influencia sobre la Península Ibérica y Canarias'.

## El proyecto PaleoNAO estudia fenómenos climáticos de baja frecuencia, pero con gran importancia, para lo que utilizan unos sensores naturales, los lagos

las de estas islas y la de Lisboa, “porque los principales investigadores especialistas de la NAO están en la capital portuguesa”, comenta Giralt, quien también recalca que “este es un proyecto de financiación nacional, pero con grandes repercusiones de carácter internacional”.

### CÓMO Y QUÉ MIDE PALEONAO

Los fenómenos climáticos se pueden estudiar a diferentes escalas temporales y lo habitual es hacerlo a partir de los registros meteorológicos, porque son los datos más fáciles de generar. Sin embargo, esto tiene una limitación, ya que sólo se tienen datos de los últimos cien años. En el

caso del proyecto PaleoNAO se estudian fenómenos climáticos de baja frecuencia, pero con gran importancia, y para ello se utilizan sensores naturales, como son los lagos: “Cuando hay un nivel de sequía el nivel del lago baja, lo que queda registrado en el sedimento del fondo”.

Así, estos científicos sacan un testigo del fondo del lago, es decir, los sedimentos. “Esto permite reconstruir la evolución climática de la zona a escala de miles de años y ver tendencias a largo plazo de lo que acabará pasando, por ejemplo, con las precipitaciones en la Península Ibérica o con la temperatura”, comenta Giralt. El sedimento, o el barro, son como los anillos de los árboles, se acumulan, “de forma que

lo más hondo es lo más antiguo y lo más cercano a la superficie, lo más reciente”. Y, para ello, los investigadores utilizan un sistema de perforación, semejante a una torre petrolífera, pero mucho más pequeña, que “permite perforar el sedimento del lago hasta 20 metros de longitud”.

### LA IMPORTANCIA DE LA LAGUNA DE PEÑALARA

En España sólo hay cuatro lagunas de origen glaciar y con un registro documental, es decir, una serie de parámetros físicos y químicos monitorizados periódicamente: Peñalara (en Guadarrama, Madrid), Cimera (en Ávila), Redón (en el Valle de Arán, Lérida) y Sanabria (en Zamora). “Todas son lagunas de alta montaña, importantes porque la nieve se acumula en estas zonas y porque son una de las principales fuentes de recarga de agua de los acuíferos de la Península”, explica Giralt. El estudio de estas lagunas permite conocer cómo será su evolución con el calentamiento global, “ya que actúan como sensores de lo que está pasando con el clima”.

Y de ahí la importancia de la laguna de Peñalara, ya que se encuentra en un espacio protegido y en el que la Comunidad de Madrid ha venido realizando un seguimiento ecológico mensual durante los últimos 20 años. “Esto ha permitido que tengamos una información ecológica muy extensa, y de esta manera se puede interpretar mucho mejor cómo responden los ecosistemas acuáticos frente a los cambios ambientales”, según comenta Giralt. Otro aspecto fundamental es que, para poder reconstruir el pasado se necesita algún elemento en el que quede registrada alguna señal de cómo eran las



A partir de las tomas extraídas del lago los científicos reconstruyen la evolución climática de la zona y ven posibles tendencias en precipitaciones y temperatura.

condiciones ambientales hace siglos o incluso milenios, comenta Ignacio Granados, otro de los investigadores principales de este proyecto, y limnólogo del Centro de Investigación, Seguimiento y Evaluación del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

### LA SEGUNDA FASE: ANÁLISIS

En la actualidad, el proyecto PaleonAO está en su segunda fase, que dura otros tres años, de 2014 a 2016, y en la que se están analizando todos los datos obtenidos durante la primera etapa. En esta ocasión está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el investigador principal es Alberto Sáez, de la Universidad de Barcelona. “Se trata de RapidNAO y en el que una vez reconocida la validez de las series sedimentarias, las estudiamos realizando análisis geoquímicos de alta resolución, es decir, de varios años, y biológicos de resolución media,

lo que supone de decenas a centenares de años. Con ello nos proponemos valorar las variaciones de lluvias, temperatura, vientos... ocurridos durante los periodos de cambio climático rápido que sabemos, por otros registros, que han sucedido en los últimos mil años y cómo se relacionan estos cambios con la dinámica de la NAO”, comenta Sáez.

Así, estos científicos se preguntan si se produjo un incremento de las precipitaciones o del número de tormentas durante el paso de la época cálida del Optimo Medieval a la Pequeña edad del Hielo. “También lo que ha sucedido con las precipitaciones durante el más reciente calentamiento global, un cambio de clima rápido parecido a otros del pasado pero provocado por la actividad humana. Estamos en plena investigación, pero por el momento tenemos indicios de un incremento de las precipitaciones y de las tormentas. Todos estos resultados han de servir para

### La Laguna de Peñalara

Hace más de 20 años que se inició la investigación sobre la limnología del Parque Natural de Peñalara, en el Parque Nacional de Guadarrama (Madrid), es decir, los estudios que profundizan en los ecosistemas acuáticos continentales, como ríos, estuarios, lagos o lagunas. El objetivo era mejorar el estado en el que se encontraba la laguna helada situada en el fondo del circo de Peñalara. Y el comienzo de estos estudios permitió descubrir la inmensa base de datos que alberga este antiguo glaciar.

hacer predicciones de cambios en los parámetros climáticos en el futuro”, comenta Sáez, quien recuerda que aún así, todavía quedan dos años de investigación y los resultados son sólo provisionales, ya que están aplicando una serie de correcciones a los datos de lluvia y temperatura antes de conocer las tendencias definitivas de cambio. ■



El equipo de investigación. Está compuesto por 21 especialistas y estudiantes que cubren una amplia gama de disciplinas, entre climatología, sedimentología, geoquímica, geomorfología, ecología, palinología, pigmentos y diatomeas.



La International Code of Zoological Nomenclature (ICZN) ha dictaminado que el fartet (*Aphanius iberus*), un pez endémico de la Península Ibérica, siga conservando el nombre genérico de *Aphanius*.

REGLAS PARA DENOMINAR LAS NUEVAS ESPECIAS DE FAUNA Y FLORA O LOS FENÓMENOS NATURALES

## LOS NOMBRES DE LA CIENCIA

El científico y naturalista sueco Carlos Linneo creó en 1735 la nomenclatura binomial para designar de forma muy precisa a los organismos vivos, e incluso ya en las antiguas civilizaciones se 'bautizaba' a las estrellas. Poner nombre a las cosas no es un simple capricho. Nominar de una forma u otra tiene explicaciones investigadoras, para situar el espécimen dentro de una familia acorde a sus características; divulgadoras, para dar a conocer el descubrimiento de nuevos animales o astros celestes; o informativas, si se pretende advertir de forma clara a la población de la llegada de un huracán que puede ser devastador.

Texto: **ESMERALDA MARDOMINGO**

**I**nteligencia, dame el nombre exacto de las cosas”, decía Juan Ramón Jiménez en *Eternidades*. El lenguaje debe reflejar la realidad, porque lo que no tiene nombre no existe. Es importante nombrar a las cosas para determinar su identidad y darlas a conocer. Y así se hace con las nuevas especies que encuentran los científicos, y hasta ese momento son desconocidas para el hombre; los ciclones tropicales que cada año se originan en los grandes océanos o los nuevos astros que se descubren en el universo.

En la actualidad, la Unión Astronómica Internacional (IAU), el organismo que regula la nomenclatura de los astros, se encuentra en pleno proceso para decidir qué nombre da a veinte nuevos sistemas planetarios. “Es la primera vez en la historia que se convoca una consulta popular para asignar el nombre a una estrella y también la primera ocasión en que se pone nombre a planetas situados fuera del Sistema Solar”, explica el astrofísico Javier Gogas, catedrático del Departamento de Astrofísica de la Universidad Complutense de Madrid y presidente de la Sociedad Española de Astronomía (SEA).

Esta Sociedad se ha sumado a la propuesta que hace casi un año presentó oficialmente el Planetario de Pamplona –con el apoyo del Instituto Cervantes– para bautizar a la estrella ‘mu Arae’ con el nombre del escritor español Cervantes, y a los cuatro planetas que la orbitan con el de los principales personajes de su novela “*El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha*”: Quijote, Sancho, Dulcinea y Rocinante.

Presentando a Cervantes como candidato a ser un astro de la constelación de Ara o el Altar, a unos 50 años luz de la tierra, se quiere hacer divulgación de la ciencia y dar a conocer uno de los hitos de la astronomía del último siglo: “Mucha gente no sabe que en los últimos 20 años se han descubierto más de 2.000 planetas. No estamos solos en el universo”, señala Javier Gogas.

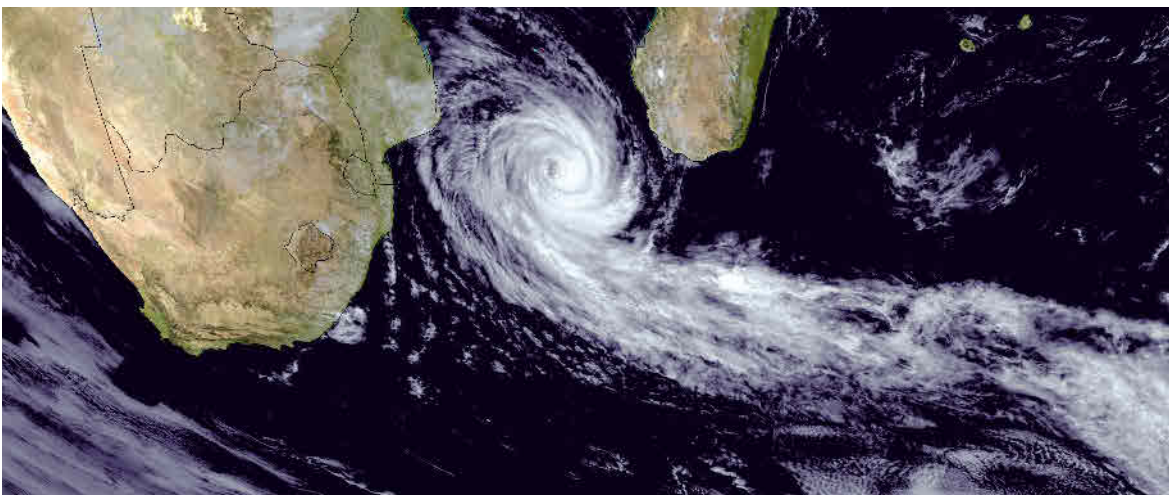
A lo largo de los siglos, culturas como la babilonia, en la antigua Mesopotamia, o la griega han bautizado a las estrellas más brillantes. No obstante, la mayor parte de los nombres que hoy se usan proceden del árabe. Para catalogar a las estrellas se les asigna –de más brillante a más débil– letras griegas seguidas del nombre de la constelación a la que pertenecen. Ahí están Alfa Centauro,

Beta Lyrae... “Cuando se acaban las letras griegas –aclara Javier Gogas– se empiezan a utilizar números antes de la constelación y, desde finales del siglo XIX, estos ya son de varias cifras”.

### CON NOMBRE DE MUJER... Y DE HOMBRE

Si en astronomía nombrar a las estrellas responde a una labor divulgativa, el nombre de los fenómenos atmosféricos ayuda a informar convenientemente a la población de los posibles riesgos y las precauciones que debe adoptar. Los meteorólogos nombran a los ciclones tropicales –en los que se incluyen los huracanes y tormentas tropicales– para facilitar la comunicación entre ellos y dar a conocer las áreas que van afectando y dónde se prevé que llegarán. “Así, con su nombre, queda claro cuál es el huracán que se está describiendo en ese momento”, comenta la meteoróloga Ana Cals Carro, portavoz de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Esta nomenclatura también es más precisa a la hora de publicar avisos a la población. “La experiencia nos ha demostrado que el uso de nombres de hombres y mujeres en



El nombre de Funso, el ciclón tropical que barrió el sur de África en 2012, no podrá volver a utilizarse hasta 2018.

## Si en astronomía nombrar a las estrellas responde a una labor divulgativa, el nombre de los fenómenos atmosféricos ayuda a informar convenientemente a la población de los posibles riesgos y las precauciones que debe adoptar

la comunicación escrita y hablada es más corto, más rápido y causa menos errores que cualquier otra identificación de huracanes hasta la fecha”, dice Ana Casals. Por eso, advierte, “este nombre no se debe traducir para evitar confusiones”.

También es más fácil recordar el nombre de una persona que un número o un nombre científico. Difícil olvidar a *Katrina*, el devastador huracán que arrasó Nueva Orleans (EEUU) en 2005. Por eso no se volverá a utilizar ese nombre para denominar a un ciclón tropical, así como tampoco el de aquellos otros huracanes que hayan provocado víctimas mortales o hayan tenido efectos particularmente devasta-

dores. De esta forma, ya no existirá más un nuevo *Gordon* porque, con categoría 1, en 1994 se convirtió en uno de los más mortales a su paso por Haití, o tampoco *Mitch*, considerado el peor del siglo XX, que en 1998 provocó al menos 18.000 víctimas entre muertos y desaparecidos. “Siempre que un huracán haya tenido un impacto importante, cualquier país afectado por la tormenta puede solicitar a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que se ‘retire’ el nombre del huracán, que al menos durante 10 años no podrá ser reutilizado”, explica Ana Casals.

Desde 1979 el organismo de Naciones Unidas que representa la voz

científica en cuando al comportamiento de la atmósfera y el clima en la Tierra, la OMM, y el Servicio Meteorológico de Estados Unidos (*National Weather Service*) utilizan nombres alternos de hombres y mujeres en las listas que tienen preestablecidas para poner denominar a los huracanes. Antes de esa fecha sólo empleaban nombres femeninos. Cada lista contiene un nombre por cada letra del alfabeto (las letras Q, U, X, Y, Z no se incluyen debido a que pocos nombres empiezan con ellas). Existen seis listas para la cuenta del Atlántico y otras tantas para la del Pacífico. Cada temporada se utiliza una, que se deja preparada el año anterior, hasta que acaba el ciclo y vuelve a empezarse por la primera lista. Así, la que se utilizó en 2014 es a la que se recurrirá en 2020 y en 2026. “Hay que prepararlas todos los años”, dice Casals, “porque cuando se ha retirado el nombre de un huracán por ser especialmente destructivo y queda en los registros históricos, este nombre se sustituye por otro que comience con la misma inicial. Cada lista tiene 21 nombres y si la temporada registrara más de 21 huracanes en una zona, se comenzarían a nombrar según el alfabeto griego: alfa, beta...”.

Los nombres los ponen los organismos encargados de ello en las diferentes zonas de huracanes. En el Atlántico Norte corresponde al Centro Nacional de Huracanes de los EEUU; en el Atlántico Sur es *Marinha do Brasil* el centro meteorológico regional especializado, mientras que los que se producen en el Pacífico Noroccidental los nombran desde el centro de tifones de Tokio. Los huracanes que se producían en las Antillas durante mucho tiempo se bautizaban con el nombre del santo del día. En algunas bibliografías hablan de



La Unión Astronómica Internacional puso el nombre de Makemake al planeta enano descubierto en 2005, perteneciente al dios creador de la mitología de la Isla de Pascua.

© International Astronomical Union

## Borrados de la lista

Los nombres de los huracanes dependen de la zona del mundo donde se produzcan y están relacionados con las lenguas que se hablan en ellas. Las zonas que establece la Organización Meteorológica Mundial son Atlántico Norte, Atlántico Sur, Pacífico Nororiental (hasta el meridiano 140° W), Pacífico Nor-Central (desde la línea de cambio de fecha hasta el meridiano 140 W), Pacífico Noroccidental,

Filipinas, Océano Índico Norte, Región Australiana, que comprende a su vez las tres subregiones: Indonesia, Australia y Papúa Nueva Guinea, y por último la región Suroeste del Océano Índico y el Océano Pacífico Sur. Esta Organización decidió retirar de las listas los nombres de los siguientes ciclones tropicales por su efecto destructor y la devastación que ocasionaron.

	Nombre	Año		Nombre	Año		Nombre	Año		Nombre	Año
1	Agnes	1972	20	David	1979	39	Gilbert	1988	58	Joan	1988
2	Alicia	1983	21	Dean	2007	40	Gloria	1985	59	Juan	2003
3	Allen	1980	22	Dennis	2005	41	Gustav	2008	60	Katrina	2005
4	Allison	2001	23	Diana	1990	42	Hattie	1961	61	Keith	2000
5	Andrew	1992	24	Diane	1955	43	Hazel	1954	62	Klaus	1990
6	Anita	1977	25	Donna	1960	44	Hilda	1964	63	Lenny	1999
7	Audrey	1957	26	Dora	1964	45	Hortense	1996	64	Lili	2002
8	Betsy	1965	27	Edna	1968	46	Hugo	1989	65	Luis	1995
9	Beulah	1967	28	Elena	1985	47	Igor	2010	66	Marilyn	1995
10	Bob	1991	29	Eloise	1975	48	Ike	2008	67	Michelle	2001
11	Camille	1969	30	Fabian	2003	49	Inez	1966	68	Mitch	1998
12	Carla	1961	31	Felix	2007	50	Ione	1955	69	Noel	2007
13	Carmen	1974	32	Fifi	1974	51	Irene	2011	70	Opal	1995
14	Carol	1954	33	Flora	1963	52	Iris	2001	71	Paloma	2008
15	Celia	1970	34	Floyd	1999	53	Isabel	2003	72	Rita	2005
16	Cesar	1996	35	Fran	1996	54	Isidore	2002	73	Roxanne	1995
17	Charley	2004	36	Frances	2004	55	Ivan	2004	74	Stan	2005
18	Cleo	1964	37	Frederic	1979	56	Janet	1955	75	Tomas	2010
19	Connie	1955	38	Georges	1998	57	Jeanne	2004	76	Wilma	2005

los huracanes de Santa Ana, San Felipe o San Zenón.

### RIENDA SUELTA A LA IMAGINACIÓN

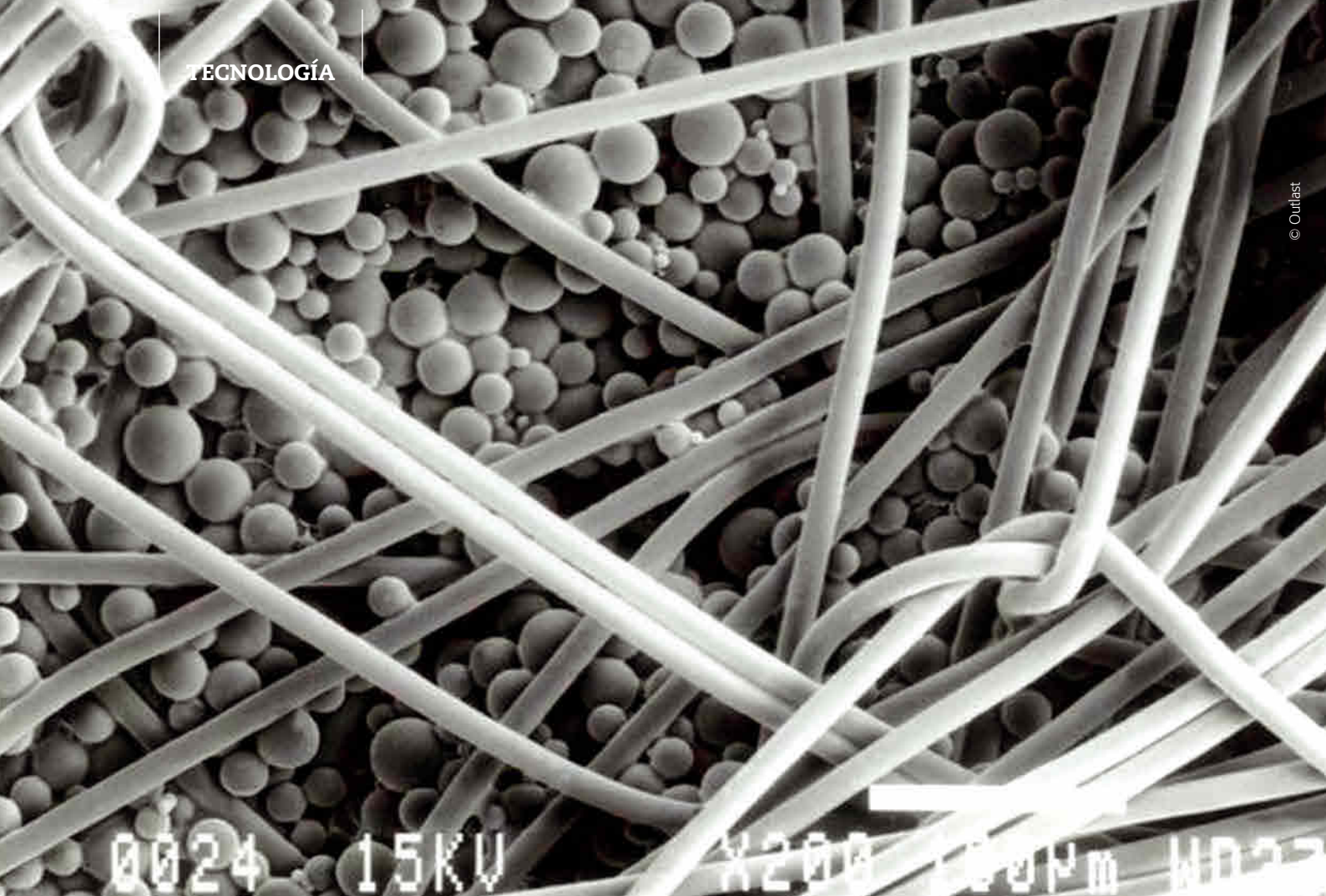
Más llamativos son los nombres de algunas de las nuevas especies descubiertas. “Nos hemos basado en un personaje de *Star Wars* con *Xenokerys amidalae*”, explica Israel M. Sánchez, colaborador del Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC. “Es un nuevo fósil miembro de un misterioso linaje emparentado con el de las jirafas y okapis que vivió hace unos 15 millones de años. El nombre del género, *Xenokeryx*, significa ‘cuerno raro’, y el específico (de la especie), *amidalae*,

hace referencia al extraño cuerno a modo de peineta que estos animales tenían en la parte posterior de cráneo, ya que recuerda a uno de los extravagantes peinados de Padme Amidala, la reina de Naboo, del Episodio I de la saga *Star Wars*”, añade Juan López-Cantalapiedra, investigador en el Museo de Historia Natural de Berlín.

“Existe un código, el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica, para nombrar a las nuevas especies animales que se van descubriendo; pero en la práctica se puede ser muy original porque los requisitos son muy laxos, con que se forme una palabra ya se puede usar como nombre”, explica Israel M. Sánchez. Tanto es así que el presidente de

los EEUU, Barack Obama, ha servido de inspiración para el líquen *Caloplaca obamae*. “Hay un *Han solo*, y otros taxones (especie, género, familia,...), dedicados a personajes del escritor Tolkien, como el género *Smaug* (un lagarto sudafricano)”, añade Sánchez.

Los científicos aun tienen mucha libertad a la hora de nombrar nuevas especies aunque existe una serie de convenciones para los nombres científicos. Por ejemplo, para nombres zoológicos está la *International Code of Zoological Nomenclature* (ICZN) como la más aceptada. Ahora también hay webs como [zoobank.org](http://zoobank.org) que se encargan de dar identificadores a los nuevos taxones descritos. ■



Poliéster de microcápsulas PCM, siglas en inglés de Material de Cambio de Fase.

LAS NUEVAS PRENDAS MODIFICAN SUS PROPIEDADES EN RESPUESTA A ESTÍMULOS EXTERNOS PARA OFRECER UN BENEFICIO A SU PORTADOR

## LLEGAN LOS TEJIDOS INTELIGENTES CAPACES DE REACCIONAR ANTE CADA NECESIDAD

Que den calor o frío en cada circunstancia, hidraten o refresquen, cambien de color para proteger de los rayos ultravioletas al salir a la calle, impidan las manchas o se autolimpíen, combatan las bacterias, administren medicamentos, repelan el agua o incluyan sensores electrónicos que, por ejemplo, envíen datos biomédicos a distancia. Así serán —o ya son— las prendas de un futuro cada vez más cercano. Todo gracias a los tejidos llamados inteligentes, textiles activos que permiten interactuar con las personas o los entornos. Otra dimensión al hábito de vestir y también la respuesta a un mundo interconectado.

Texto: **PURA C. ROY**

**D**urante siglos, la función que se le daba a las prendas

estaba únicamente vinculada a las fibras que el ser humano conocía desde antaño. Sus características provenían, simplemente, de sus propiedades. Sin embargo, desde no hace mucho, la aparición de los llamados textiles inteligentes, capaces de reaccionar según lo que se necesite, está a punto de ocasionar una revolución. Sus diversas, novedosas y numerosas aplicaciones harán que en poco tiempo su uso se generalice en muchos campos de la sociedad.

Centros de investigación y empresas están totalmente centrados en estos tejidos inteligentes que pueden alterar su naturaleza en respuesta a la acción de diferentes estímulos externos, físicos o químicos, modificando alguna de sus propiedades para conferir beneficios adicionales a sus usuarios. Para los expertos es más apropiado denominarlos tejidos funcionales, activos o interactivos, pero lo cierto es que tanto en la comunidad científica como en sectores empresariales y comerciales se conocen como textiles inteligentes.

Entre ellos los hay de muchas clases, por ejemplo, los que proporcionan calor o frío, o que cambian de color, con memoria de forma, que protegen de los rayos ultravioleta, combaten las bacterias, o regulan la distribución de perfumes, de cosméticos, o medicamentos. Habitualmente se clasifican en tres categorías. Pasivos: mantienen sus características independientemente del entorno exterior y sólo detectan las condiciones medioambientales o exteriores. Activos: no sólo detectan el estímulo exterior sino

que reaccionan y actúan ante él. Muy activos: este tipo de tejidos adaptan automáticamente sus propiedades al percibir cambios o condicionantes externos.

Junto con el uso de tecnologías como la microelectrónica, la informática o la nanotecnología, estos textiles hacen posible la obtención de resultados sorprendentes. Para conseguir alguna de esas propiedades los más habituales son textiles que incorporan microcápsulas PCM, siglas en inglés de Material de Cambio de Fase. El microencapsulado es una técnica que permite liberar gases, líquidos o sólidos. La membrana que los contiene es muy fina, del orden de 1µm de grosor, mientras que el diámetro habitual de las microcápsulas puede variar desde unas pocas micras hasta unos 150 µm, aunque también hay tamaños mayores. Las prendas que las incorporan permiten lograr un cierto aislamiento frente al calor o el frío al regularlo dependiendo de las condiciones medioambientales y facilitando así al cuerpo adaptarse a lo que necesita. Los principales son de ceras y parafinas (alcanos), cuyo valor latente puede estar alrededor de 200 kJ/kg. Entre los alcanos más frecuentemente utilizados están el octadecano, nonadecano y eicosano, de puntos de fusión 28,2, 32,1 y 36,8 C, respectivamente. Las microcápsulas se pueden incorporar de forma directa a la propia fibra sintética en el proceso de hilatura por extrusión. Pero también pueden añadirse durante el acabado.

Entre las aplicaciones más conocidas están los llamados cosmetotextiles, prendas hidratantes, refrescantes o perfumadas. Los aromas y las cremas deben liberarse para actuar, por lo que su duración es limitada. “Las fases de liberación de los principios activos dependerán de si estos

van encapsulados o no y si estos se preparan para ser liberados por contacto en la piel y no en los lavados”, explica Jordi Esqueña, investigador del Instituto de Química Avanzada de Cataluña, dependiente del CSIC.

## CROMÁTICOS O CAMALEÓNICOS

Los conocidos como cromáticos o camaleónicos pueden cambiar su color dependiendo de las condiciones externas. Los fotocromáticos son aquellos que cambian de color al actuar determinadas radiaciones sobre ellos. Una de las formas de obtenerlos es aplicando microcápsulas que contengan agregados de colorantes sensibles a la acción de la luz, lo que permite aumentar la velocidad de las reacciones fotoquímicas que se encuentran en fase líquida en el interior de la cápsula. Otra forma es mediante la aplicación directa por alguno de los procedimientos de estampación o de ciertas tintas sensibles a la luz. Entre estos textiles, los más utilizados son los sensibles a las radiaciones UV. Por ejemplo, prendas de vestir que cambian de color cuando se pasa del interior de una vivienda al exterior. Y son las actividades lúdicas, los espectáculos, donde más se usan los textiles fabricados con estos tejidos.

Los textiles termocrómicos son aquellos que cambian su coloración al modificarse la temperatura exterior. Los hay de dos tipos: de cristal líquido, que permite la reflexión selectiva de la luz o colorantes que sufren un reordenamiento molecular (leucocolorantes) como consecuencia de un cambio de temperatura, por ejemplo las espirolactonas. El problema es que el plazo de envejecimiento de estas moléculas es aún demasiado corto. También

## Para conseguir alguna de las nuevas propiedades los más habituales son textiles que incorporan microcápsulas, una técnica que permite liberar gases, líquidos o sólidos

hay algunos que cambian de color por efecto de la humedad, y que se pueden utilizar en bañadores. A veces se añade un reactivo químico que permite su aplicación en pañales.

Las películas fotoactivas pueden ser integradas en tejidos textiles mediante procesos de laminación o cosidas. El secreto de la flexibilidad conseguida se debe a la combinación de los sustratos y las capas que integran el material para su elaboración, aun así dicha flexibilidad es todavía limitada.

### MEMORIA DE FORMA

Otra tecnología utilizada para regular la temperatura corporal

es la de los llamados materiales con memoria de forma. Consiste en tejidos plásticos con bolsas de aire que aumentan de volumen con el frío para proporcionar más aislamiento al cuerpo, o con poros que se abren con el calor para facilitar la transpiración.

En prendas de vestir, los investigadores han experimentado con películas de poliuretanos (PU) termoplásticos incorporadas entre capas adyacentes de tejido. Cuando baja la temperatura y estos materiales alcanzan la temperatura de activación, la bolsa de aire encerrada entre esas dos capas muy próximas (que es la responsable del aislamiento térmico) incrementa su volumen y, por tanto, su capacidad de ais-



Encapsulado en fibra de la firma Outlast.

### Nanotecnologías

Cuando se pasa de lo micro a lo nano, es posible manipular las superficies para lograr polímeros de nanofibras o materiales recubiertos de nanopartículas. Entre las aplicaciones de la nanotecnología textil están los tejidos antimanchas y los que repelen el agua. Los ingenieros integran en el tejido nanotubos de carbono para confeccionar ropa ligera y resistente que no se ensucia. Mediante procedimientos nanotecnológicos se ha reproducido en la superficie tejidos el efecto autolimpiador de ciertas plantas (como el loto) y las alas de algunos insectos, que les permite mantenerse limpios de polvo y agua. Los tratamientos con plasma permiten cambiar las características superficiales de fibras y tejidos, modificando las propiedades vinculadas a la higroscopicidad de los materiales, transformando su nanoestructura.

En la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona se investiga para que las fibras textiles detecten sustancias químicas. La ropa, impregnada de una tinta de nanotubos de carbono, detecta fluidos corporales como el sudor o la orina y transforma la información en señales que pueden ser monitorizadas y analizadas al instante por un médico a través de un ordenador o un dispositivo móvil.

lamiento y protección contra el frío. Si hace calor, el sentido de la deformación de las capas de PU es inverso.

Existen también materiales textiles de permeabilidad variable que, al aumentar el calor desprendido por el cuerpo, incrementan el tamaño de los intersticios y, por tanto, la capacidad de que el sudor se evapore a través de ellos. Por el contrario, cuando el cuerpo se enfría, el material textil recupera su forma inicial aumentando su capacidad de abrigo. En la vestimenta, las temperaturas necesarias para activar la memoria de forma deben ser próximas a la del cuerpo.

## ELECTRÓNICA Y ELECTRICIDAD

Los tejidos conductores de la electricidad se obtienen utilizando fibras intrínsecamente conductoras: metálicas, de carbono, o también mediante hilos híbridos o metalizados. Los utiliza el personal técnico de las llamadas salas limpias o se emplean para diseñar trajes de bomberos, pero en el futuro puede generalizarse su uso incluso para la ropa de vestir corriente. La razón es la incidencia que tienen sobre el confort de este tipo de prendas al disipar las cargas eléctricas estáticas por el roce entre fibras sintéticas.

Los tejidos electrónicos permiten la unión de la microelectrónica y el textil a partir de la incorporación de una nueva propiedad a los polímeros textiles, la conductividad. Para incluir elementos electrónicos a la ropa han sido claves la flexibilidad y la miniaturización.

“El reto de integrar sensores electrónicos a la ropa, sean leds o fibra óptica, es conseguir que estos sean lo más flexibles y livianos posible. Hay que desarrollar sistemas embebidos. Otro reto es que estén protegidos de tal manera que aguanten lavados caseros o industriales. Por ello otra línea de investigación es usar tintas conductoras. Estas quitan rigidez, pero hay que buscar integrarlas de manera adecuada”, comenta Jorge Moreno, responsable del área de textiles inteligentes de la Asociación de Empresas Textiles (Altex).

A pesar de que es difícil imaginar ropa con dispositivos electrónicos incorporados, y que además se pueda lavar, sus aplicaciones son diversas, desde las prácticas a las lúdicas. Entre los numerosos desarrollos

recientes destacan la incorporación de sensores a prendas de vestir, alfombras, paredes o cortinas, para controlar la luz, la temperatura o la seguridad. “Hemos desarrollado, por ejemplo, una alfombra inteligente de detección de personas, que puede ser utilizada como alarma de intrusión o como contador de entrada a hoteles o centros comerciales”, comenta Moreno.

Las llamadas *smart T-shirt*, con aplicaciones en medicina militar, constan de una red de fibras ópticas y conductoras que puede enviar datos de un soldado herido a una central en la que el médico puede evaluar la herida y aconsejar el tratamiento. Esto podría tener también aplicaciones para bomberos, policías o deportistas. “Alfred es un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea, en el que Aitex participa llevando a cabo la integración textil de sensores de movimiento y sensores biomédicos *wearable*”, explica Moreno, quien señala que “la monitorización de las constantes vitales tendrá en el futuro una gran demanda, dentro del ocio y la medicina”.

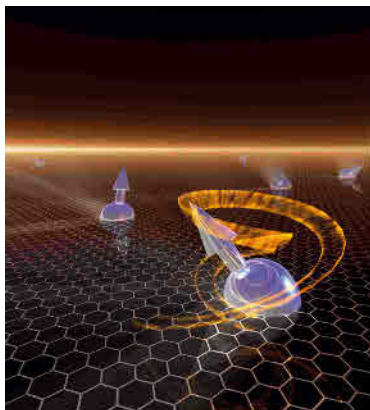
No obstante, la utilización de la electrónica y la informática en la industria textil suscita algunas dudas debido a la posibilidad de que se produzcan descargas eléctricas. Los investigadores trabajan en tecnologías como la emisión bluetooth, la energía solar o incluso la producida por el movimiento del usuario, no sólo para alimentar los dispositivos incorporados a las prendas sino incluso para recargar teléfonos móviles, ordenadores y tabletas.

Quizá no en lo estético, pero sí en lo práctico. Los investigadores de los nuevos textiles se convertirán en una nueva generación de sastres a medida. ■



Para incluir elementos electrónicos en la ropa han sido claves la flexibilidad y la miniaturización.

## DESARROLLAN UN NUEVO MATERIAL HÍBRIDO DE GRAFENO Y MOLÉCULAS MAGNÉTICAS



Representación de espines 'bañados' en grafeno

Un estudio internacional en el que colabora el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha desarrollado un nuevo material híbrido basado en el grafeno y en moléculas magnéticas.

La ausencia de magnetismo del grafeno había sido hasta ahora el principal obstáculo para su utilización en el campo de la espintrónica, base de la grabación magnética y la tecnología de discos duros. Pero con el nuevo material, formado por la unión de moléculas mag-

néticas, que contienen cuatro átomos de hierro, a una lámina de grafeno, las propiedades de ambos materiales mejoran notablemente estas posibilidades. Los experimentos llevados a cabo en los laboratorios del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón confirman que existe una importante interacción entre ambos componentes. Los resultados muestran que el grafeno apantalla de manera muy eficiente los espines moleculares (una propiedad física intrínseca de la partícula como la masa o la carga eléctrica) de fuentes de ruido tales como vibraciones o campos electromagnéticos.

Según los investigadores, este material podría resultar clave para usar las moléculas como unidades de información de un futuro ordenador cuántico ya que una ventaja adicional es que campos eléctricos generados por el grafeno pueden inducir la realización de operaciones cuánticas a velocidades mucho mayores que las accesibles usando campos magnéticos. ■

## UN LABORATORIO PORTÁTIL PARA BUSCAR VIDA EN OTROS PLANETAS

La Nasa está diseñando un laboratorio químico miniaturizado capaz de analizar muestras que puedan componer signos de vida y que podrá ser transportado en cualquiera de los vehículos robotizados con los que se suele operar en la superficie de Marte. Se tratará de uno de los dispositivos más sensibles de todos los que se han enviado a misiones espaciales hasta la fecha, que tendrá la posibilidad de buscar compuestos orgánicos como es el caso de aminoácidos y también de ácidos grasos.

Los primeros son los elementos que construyen las proteínas, y la vida surge cuando éstas contienen solamente uno de los tipos de aminoácidos.

Mientras que los segundos son los componentes fundamentales de las membranas celulares. El laboratorio portátil analizará las muestras que el vehículo robotizado introducirá en un tubo con agua a 100 grados centígrados. En el dispositivo se separarán los aminoácidos y los ácidos grasos



Laboratorio químico miniaturizado que operará en Marte.

para luego usar un láser que los detecte. Mediante la combinación de aditivos químicos, que actúan con una de las variedades de aminoácidos con una u otra, los investigadores podrán dar con la pista de la existencia de algún microorganismo, con un signo de vida. ■

## VENENO CONTRA EL CÁNCER

Investigadores del Instituto de Investigación Biomédica de Barcelona (IRB) han diseñado un tratamiento basado en un péptido -la unión de aminoácidos- obtenido del veneno de las avispas. La sustancia se introduce en las células tumorales para eliminarlas mientras las sanas no resultan perjudicadas. Para lograrlo, los científicos han diseñado un sistema que transporta el péptido, este crea unos poros en la membrana de plasma de las células y las elimina por necrosis o destrucción celular programada. ■

## CHIP CON POSIBILIDAD SENSORIAL

La Universidad de Columbia ha utilizado la maquinaria molecular de sistemas vivos para alimentar un circuito integrado de trifosfato de adenosina (ATP), la principal fuente de energía de las funciones celulares. Lo han conseguido uniendo un circuito integrado hecho de un semiconductor convencional de estado sólido complementario (CMOS) con una membrana bicapa lipídica artificial que contiene bombas de iones impulsadas por ATP. Este logro abre la puerta a la creación de sistemas artificiales completamente nuevos que contienen componentes tanto biológicos como en estado sólido. ■



## **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** for  
improvement

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



# EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

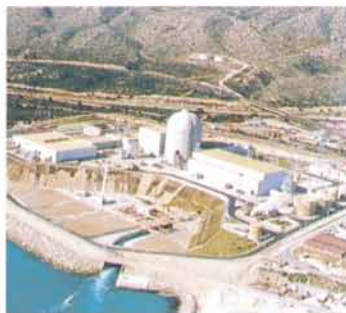
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

- ▶ 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.