

# ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

## Medidas para reducir la contaminación lumínica

### Criterios de evaluación del impacto radiológico

Carles Lalueza Fox, biólogo y  
paleogenetista: “Alrededor de  
un 2,5% de nuestros genes son  
neandertales”

Conferencia OIEA sobre desmantelamiento de  
instalaciones nucleares / Entrevista a J.C. Lentijo



WESTINGHOUSE DECOMMISSIONING  
AND REMEDIATION SERVICES

GLOBAL PROJECT EXPERIENCE  
ADVANCED TECHNOLOGY



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

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

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



# DESMANTELAMIENTO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE INSTALACIONES NUCLEARES, UN RETO DE FUTURO

El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) convocó en Madrid, a finales de mayo, una Conferencia Internacional sobre Desmantelamiento y Restauración Ambiental, encuentro en el que se dieron cita más de medio millar de especialistas internacionales en este terreno para compartir y revisar retos, logros y lecciones aprendidas en relación con los programas de desmantelamiento y restauración ambiental que se han implementado durante la última década.

Actualmente, según datos del OIEA, están clausuradas 157 centrales nucleares y sólo el 10% de ellas se han desmantelado, además, las proyecciones de este organismo indican que para el año 2030 habrá otros 150 reactores que necesitaran ser desmantelados. Por tanto, este área de desarrollo técnico constituye un importante reto de futuro para los países que adoptaron la energía nuclear y que, bien por haber tomado la decisión de prescindir de este tipo de energía o por acercarse el fin de la vida útil de sus plantas nucleares, tienen un horizonte de trabajo en el que es preciso que afrontan de manera segura, eficaz y medioambientalmente racional.

La elección de España para una conferencia internacional de

esta profundidad técnica, en la que participaron más de sesenta países, supone un reconocimiento a la política de clausura, desmantelamiento y restauración de emplazamientos establecida en los sucesivos Planes de Gestión de Residuos Radiactivos aprobados por el Gobierno de España. Dentro de este contexto, España es uno de los países con más experiencia, actividad y eficacia en el mundo. La experiencia en desmantelamiento y clausura alcanzada, tras los proyectos llevados a cabo en la antigua fábrica de Uranio de Andújar, los reactores nucleares experimentales Arbi y Argos, las centrales nucleares Vandellós I y Zorita, actualmente en marcha, o la restauración ambiental de antiguas minas de uranio en Andalucía, Extremadura y Castilla-León, nos sitúan un paso por delante frente a otros países avanzados, y nos otorgan un papel de consultor para aquellos que deben abordar de manera inmediata proyectos de este tipo.

Las conclusiones alcanzadas en esta Conferencia, presentadas por el presidente de Enresa en la sesión de clausura, incluyeron un amplio abanico de consideraciones, entre las que cabe destacar la necesidad de promover el esta-

blecimiento de políticas y estrategias en los Estados Miembros que carezcan de ellas, con especial atención al establecimiento de un marco jurídico y regulatorio apropiado; el desarrollo de programas de desmantelamiento y restauración ambiental tan pronto como sea posible, apoyándose en una planificación anticipada y en el mejor uso de los recursos financieros disponibles y todo ello con una planificación conjunta del proceso de desmantelamiento y de la gestión de los residuos radiactivos

En este sentido España constituye, nuevamente, un modelo avanzado ya que Enresa, la empresa pública responsable de estos proyectos, dispone de los tres elementos que el OIEA considera fundamentales para abordar con garantías estas actividades: un marco regulatorio y legal adecuado; un sistema de financiación, a través del Fondo para la financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos, que permite la disponibilidad de los recursos necesarios y el acceso a las más avanzadas tecnologías; y, finalmente, un sistema de gestión de estos residuos radiactivos que garantiza que no serán una carga, ni económica ni medioambiental, para las generaciones futuras. ■

## REVISTA ESTRATOS

**Edita:** Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (Enresa)

**Redacción:** Emilio Vargas, 7.  
28043 Madrid  
Tel. 91 566 81 00

**Suscripciones:** registro@enresa.es

**Correo electrónico:** prensa@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:

Paz Alegría, Pablo Almera, César de Echagüe, Germán Hesles, Esmeralda Mardomingo, Danyl Pérez, Nuria Prieto, Pura C. Roy y Rosa M. Tristán.

**Crédito imagen de portada:** NASA

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

Depósito legal: M-7 411- 1986

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





PÁGINA 10



PÁGINA 30



PÁGINA 34



PÁGINA 38

# SUMARIO

**EDITORIAL**

Desmantelamiento y restauración ambiental de instalaciones nucleares, un reto de futuro ... 3

**ACTUALIDAD ESTRATOS**

- La Junta General de Enresa aprueba sus cuentas anuales 2015 ..... 5
- El Cabril recibió 1.202,61 metros cúbicos de residuos radiactivos en 2015 ..... 6
- Los presidentes de los organismos reguladores de España y Estados Unidos visitan El Cabril .... 6
- Enresa imparte formación sobre radiactividad a empleados del sector siderúrgico ..... 6
- Enresa informó del avance del desmantelamiento al Comité de Información de José Cabrera ..... 7
- Reunión del Comité de Enlace Enresa-CSN ..... 7
- II Conferencia Internacional de Seguridad Física Nuclear en Madrid ..... 8
- Responsables de los planes de vigilancia ambiental de Enresa participan en un curso de formación ... 8
- CNL solicita permiso para construir una instalación de almacenamiento en Chalk River .. 9
- Australia selecciona emplazamiento para el centro de almacenamiento de los residuos radiactivos.. 9

**CONFERENCIA OIEA SOBRE CLAUSURA Y DESMANTELAMIENTO**

- Éxito del encuentro sobre clausura de instalaciones nucleares ..... 10
- Entrevista a Juan Carlos Lentijo, director general adjunto OIEA ..... 16

**I+D**

- La biosfera en el largo plazo: criterios y herramientas de evaluación del impacto radiológico ..... 18

**INTERNACIONAL**

- Protección radiológica y seguridad nuclear en Euratom ..... 24

**ENTREVISTA**

- Carles Lalueza Fox, biólogo paleogenetista .... 30

**MEDIO AMBIENTE**

- La contaminación lumínica, la cara oscura de la luz ..... 34

**TAXONOMÍA**

- Todavía quedan millones de especies por descubrir ..... 38

**SIERRA DE ALBARRANA**

- Uso y conservación de un ecosistema mediterráneo. 44
- Cómo trabajar la arcilla de forma artesanal. ... 46
- Actualidad Sierra de Albarrana ..... 48

**ARQUEOLOGÍA**

- Excavaciones arqueológicas 'a distancia' ..... 50

**QUÍMICA**

- Sintetizar sin contaminar ..... 56

**ENERGÍA**

- La piezoelectricidad: pasos de luz ..... 60

**NOTICIAS CIENCIA.** .....66

# actualidadestratos

## La Junta General de Accionistas de Enresa aprueba sus cuentas anuales y su informe de gestión de 2015



Enresa ha celebrado su Junta General Ordinaria y Universal de Accionistas, durante la que se han aprobado por unanimidad las Cuentas Anuales de la empresa y su Informe de Gestión de 2015, entre otros aspectos.

El presidente de Enresa, Juan José Zaballa, expuso a los representantes de los accionistas de la compañía, Mercedes del Real, directora de División de Participadas Energía de la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI); y Cayetano López, Director General del Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), un resumen de la actividad técnica y económica del pasado ejercicio. Zaballa destacó el rendimiento del Fondo para la Financiación de las actividades del Plan General de Residuos Radiactivos, que se situó en un 3,13 por ciento, por lo que al finalizar el año el valor de dicho fondo ascendió a 4.613 millones de euros.

En el ámbito técnico, el presidente destacó la actividad del

Centro de Almacenamiento de El Cabril, que cerró el año con un 73,27% de ocupación de residuos de baja y media actividad y un 22,43% de la primera estructura para residuos de muy baja actividad. En este sentido subrayó el fin de la construcción de la nueva estructura para residuos de esta tipología, la “Celda 30”.

Respecto a la gestión de residuos de alta actividad, Zaballa explicó que durante 2015 Enresa continuó con la preparación de la documentación necesaria para la obtención de la Autorización Previa y de Construcción del Almacén Temporal Centralizado en la localidad conquense de Villar de Cañas, destacando la emisión en julio de 2015 de los informes favorables del Consejo de Seguridad Nuclear a la Autorización previa y al Impacto Radiológico al público en operación normal, asociados a la Declaración de Impacto Ambiental que debe otorgar el Ministerio de Agricultura, Alimentación

y Medio Ambiente. El pasado ejercicio terminó además con 30 contenedores en el Almacén Temporal Individualizado de Trillo, 16 en el de José Cabrera y 9 en el de Ascó .

En el ámbito del desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares, el presidente de Enresa indicó, entre otros aspectos, que en José Cabrera el pasado año finalizaron las actividades de segmentación y empaquetado de los grandes componentes (el generador de vapor y la vasija del reactor) y que dio comienzo una nueva fase: la segmentación de las cavidades y el blindaje radiológico de del reactor y del foso de combustible, así como las tareas de caracterización radiológica.

Asimismo Zaballa aprovechó su intervención para agradecer al personal de Enresa su dedicación y destacó la planificación como un elemento clave ante el futuro de la compañía. ■



Sede central de Enresa en Madrid.

La instalación presentó la futura Celda 30 de residuos de muy baja actividad

## El Cabril recibió 1.202,61 metros cúbicos de residuos radiactivos en 2015

El Cabril recibió en 2015 un total de 1.202,61 m<sup>3</sup> de residuos radiactivos: 953 de baja y media actividad y 249,61 de muy baja actividad que llegaron en 187 expediciones. La mayor parte -1.188,66 m<sup>3</sup>- procedían de instalaciones nucleares y el resto, 13,95 m<sup>3</sup>, de hospitales, centros de investigación e industrias. Con lo almacenado, El Cabril se encuentra al 73,27% de su capacidad para residuos de baja y media actividad, y al 22,43% respecto a la primera estructura de residuos para muy baja actividad. Estos son los principales datos operativos de esta instalación presentados el 19 de

abril por su directora, Eva Noguero, quien destacó que, desde 1986 hasta 2015, El Cabril recibió un total de 41.931,12 m<sup>3</sup> de residuos radiactivos. Los de baja y media actividad almacenados ocupan veinte de las veintiocho estructuras de almacenamiento disponibles para este tipo de residuos. En este sentido, se presentó también la Celda 30, la segunda estructura para almacenar residuos de muy baja actividad, y cuyos trabajos de construcción de la primera sección de almacenamiento finalizaron en abril. Esta Sección I cuenta con una capacidad de 17.271m<sup>3</sup> y el coste de los traba-

jos de obra civil de esta primera fase ascendió a 1.738.731,8 €. El Consejo de Seguridad Nuclear informó favorablemente la puesta en marcha de esta instalación de almacenamiento el pasado 6 de junio

En 2015, la actividad de El Cabril se sometió a los controles externos y auditorías establecidos para este tipo de instalaciones. En el ámbito nacional, pasó once inspecciones del Consejo de Seguridad Nuclear y diversas auditorías de AENOR, relativas al sistema de gestión medioambiental, y de Audelco, sobre la prevención de riesgos laborales. ■

### Los presidentes de los organismos reguladores de España y Estados Unidos visitan El Cabril



Los presidentes de los organismos reguladores de España y Estados Unidos en El Cabril.

El presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhansen, el presidente de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de Estados Unidos, Stephen G. Burns, y el responsable de relaciones internacionales de la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN) de Francia, Stéphane Pailler, elogiaron la calidad técnica de El Cabril, tras su visita el 12 de marzo a esta instalación de Enresa, donde fueron recibidos por el presidente de la empresa, Juan José Zaballa, el director Técnico, Álvaro Rodríguez Beceiro, y la directora de El Cabril, Eva Noguero.

El grupo recorrió la instalación, deteniéndose con especial atención en la sala de control, la nave de contenedores, las plataformas de almacenamiento y su red de control de infiltraciones y, la instalación complementaria para residuos radiactivos de muy baja actividad. ■

### Enresa imparte formación sobre radiactividad a empleados del sector siderúrgico

Técnicos de la Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) de Enresa impartieron el 26 y 27 de abril, en la sede social de la empresa, un curso básico de formación sobre radiactividad y medida de la radiación dirigido a personal de las empresas siderúrgicas y de recuperación y fundición de metales, responsables de las medidas iniciales de vigilancia y control de presencia de material radiactivo en la chatarra.

Esta formación, que se repite unas tres veces cada año, se enmarca dentro de los compromisos asumidos por Enresa en el Protocolo de Colaboración sobre la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos firmado en noviembre de 1999 por los ministerios de Industria y Fomento, Consejo de Seguridad Nuclear, Enresa, la Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID) y la Federación Española de Recuperación (FER), con el objetivo de evitar que se puedan producir incidentes como consecuencia de la existencia de material radiactivo en los materiales metálicos que se reciclan. ■



Estos cursos se enmarcan en el Protocolo de Colaboración sobre la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos.

## Enresa informó del avance del desmantelamiento al Comité de Información de la Central Nuclear José Cabrera



Manuel Ondaro, director del desmantelamiento de Zorita, presentó los avances del proyecto en el Comité de Información.

El Casón Cultural “Condes de Saceda”, de Almonacid de Zorita, acogió el 11 de mayo la XVII Reunión del Comité de Información de la central nuclear “José Cabrera”, que estuvo presidida por el subdirector general de Energía Nuclear del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Redondo. Por parte de Enresa asistieron el director de Zorita, Manuel Ondaro, y el director de Operaciones de Enresa, Juan Luis Santiago, entre otros. Además, participaron la Jefa de Proyecto del Desmantelamiento en el CSN, Susana Solís; el jefe de Relaciones Institucionales del CSN, Pedro Vila-Belda; y Marta García Burgués de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias; la alcaldesa de Almonacid de Zorita, Elena Gordon, así como representantes de los ayuntamientos de Almonacid de Zorita, Yebra, Pastrana, Zorita de los Canes y Valdeconcha.

En su intervención, Manuel Ondaro detalló los avances producidos en el proyecto desde la última reunión del Comité, destacando los proyectos previstos este año y las actividades en el proceso de desmantelamiento y clausura de la instalación que, afirmó, se encuentran al 75% de su ejecución. Posteriormente, Susana Solís, del CSN, expuso las actuaciones del organismo regulador en materia de seguimiento y control del desmantelamiento de la planta y los representantes de la dirección general de Protección Civil y Emergencias detallaron las principales acciones de su departamento en el último año. Cerró la reunión del comité el responsable de Relaciones Institucionales del CSN, Pedro Vila-Belda.

Los comités de información, conforme a lo dispuesto en el artículo 13 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR), tienen por objeto informar a las distintas entidades representadas sobre el desarrollo de las actividades reguladas, así como tratar de forma conjunta las cuestiones que resulten de interés para todos. ■

### Reunión del Comité de Enlace CSN-Enresa

El 31 de mayo tuvo lugar la reunión del Comité de Enlace Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)-Enresa en el que participaron, por parte de Enresa su presidente, Juan José Zaballa; los directores Técnicos, Álvaro Rodríguez Beceiro; de Operaciones, Juan Luis Santiago; y de El Cabril, Eva Noguero, además de la responsable del Departamento de Seguridad y Licenciamiento, Elena Vico, entre otros. Por parte del CSN asistieron el consejero Fernando Castelló, que fue el encargado de coordinar la reunión, los consejeros Cristina Narbona y Javier Díez; la secretaria general, M<sup>a</sup> Luisa Rodríguez; el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera; la directora técnica de Protección Radiológica, M<sup>a</sup> Fernanda Sánchez; y la Subdirectora de Protección Radiológica Ambiental, Lucila Ramos, entre otros cargos del organismo regulador.

En la reunión se abordaron las previsiones de desarrollo del proyecto de construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) y de los Almacenes Temporales Individualizados (ATI) de combustible nuclear gastado. Asimismo, se analizaron los actuales procesos de desmantelamiento de las centrales nucleares de José Cabrera (Guadalajara) y de Vandellós I (Tarragona), así como la situación del centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba).

El Comité se reúne semestralmente para poner en común los temas que competen a ambas instituciones. ■

Organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear

## La II Conferencia Internacional de Seguridad Física Nuclear reúne en Madrid a más de doscientos expertos en esta materia



Expertos en seguridad física durante una de las exposiciones de la Conferencia.

El auditorio del Museo del Prado de Madrid acogió, del 11 al 13 de mayo, la Segunda Conferencia Internacional de Seguridad Física Nuclear, un encuentro técnico que

contó con la participación de más de 200 expertos en seguridad física de 20 países en el que se analizaron aspectos como la independencia de los organismos reguladores, la seguridad física de las fuentes radiactivas, el desarrollo de la cultura de seguridad o la confidencialidad de la información.

El propósito de la conferencia, organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear, era fortalecer la generación de capacidades de seguridad física nuclear en todo

el mundo y apoyar la implementación de buenas prácticas en este campo, proporcionando asimismo una plataforma de diálogo, intercambio de experiencia y fortalecimiento de relaciones entre entidades reguladoras homólogas competentes en seguridad física de materiales nucleares y radiactivos. En esta edición se abordó otro de los pilares fundamentales, la protección de la información sensible, y la regulación e implantación de los sistemas de ciberseguridad necesarios. ■

## Responsables de los planes de vigilancia radiológica ambiental de Enresa participan en un curso de formación



Los responsables de los PVRA's realizaron una visita a la estación de muestreo del ATC.

El objetivo de esta formación, realizada en el Vivero de Empresas del ATC en Villar de Cañas, fue unificar los procedimientos y técnicas de toma de muestras, así como analizar dudas y situaciones específicas que se abordan en su actividad habitual.

Unas veinticinco personas, encargadas de los PVRA's de El Cabril, Zorrita, Vandellós I y la Fábrica de Uranio de Andújar (FUA), asistieron al encuentro que sirvió para intercambiar conocimientos sobre los distintos programas de vigilancia radiológica de las instalaciones de Enresa. En el curso participaron también técnicos de Enusa y de Geocisa. El análisis del procedimiento de muestreo del Carbono 14 en aire, la homogeneización de las muestras ambientales y la elaboración del PVRA preoperacional del ATC fueron algunos de los temas que se abordaron durante el curso, que se complementaron con una visita a las estaciones de muestreo del ATC.

Enresa actualmente lleva a cabo PVRA's en las instalaciones de El Cabril, en la C.N. de Vandellós I, en la FUA y en el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera. ■

Técnicos responsables de la toma de muestras de los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA's) de Enresa participaron en abril en un curso de formación para el personal implicado en la recogida de muestras de los PVRA's que la empresa tiene establecidos en sus instalaciones.

## Fremap premia la baja siniestralidad laboral en Enresa



Trabajos de soldadura en la nave de fabricación de contenedores.

La Mutua Fremap galardonó a Enresa por su compromiso con la prevención de riesgos laborales y la baja tasa de accidentes de trabajo en sus centros de trabajo, en un acto celebrado el pasado 29 de abril en la sede de la CEIM/CEOE en Madrid. Además de Enresa, fueron premiadas empresas como BP OiI España S.A., Grupo Cepsa, Makro, Deloitte, Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, Airbus España, Saint Gobain, Ernest&Young, Icx España, Grupo Accenture, Mapfre, Microsoft Ibérica o Geotécnica, entre otras. ■

## INTERNACIONAL

## Canadian Nuclear Laboratories solicita permiso para construir una instalación de almacenamiento de residuos de baja actividad en Chalk River



Complejo canadiense de Chalk River Laboratories.

© I. Pedratic Ryan

La decisión en favor de esta solución técnica está basada en la experiencia acumulada en su uso, tanto aplicado en la industria nuclear como en otros campos, y su demostrada validez en cuanto a la protección del medio ambiente y el cumplimiento de los requisitos de seguridad.

Canadian Nuclear Laboratories (CNL) ha presentado su solicitud para iniciar el proceso de aprobaciones, incluyendo una evaluación ambiental federal, para su proyecto de construcción de una instalación de almacenamiento para los residuos radiactivos de baja actividad generados por esta organización. Los estudios realizados para la selección del emplazamiento para esta instalación, que tendrá un diseño similar a El Cbril, han identificado dos potenciales candidatos para acoger esta instalación: East Mattawa Road (EMR) Site, y The Alternate Site, ambos ubicados en el complejo de Chalk River Laboratories.

plimiento de los requisitos de seguridad.

Esta instalación dará solución a las obligaciones heredadas por CNL, que durante muchos años ha gestionado los residuos de sus operaciones, y también de universidades y hospitales canadienses, en instalaciones de almacenamiento provisional. La instalación propuesta ofrecerá una solución permanente en el almacenamiento de los residuos generados históricamente. Este programa contempla la revitalización de Chalk River Laboratories y el cierre de los emplazamientos de los laboratorios de Whiteshell y el centro de Desarrollo de la Energía Nuclear. ■

## El Gobierno de Australia selecciona emplazamiento para acoger el centro de almacenamiento de los residuos radiactivos generados en el país

Tras concluir en marzo el análisis de los resultados del proceso de consulta pública dirigida a la selección de un emplazamiento para la futura instalación de almacenamiento de los residuos radiactivos producidos en este país, el Departamento de Industria del Gobierno de Australia ha elegido el emplazamiento de Barndioota, en el estado de Australia del Sur, como candidato para ubicar la instalación que almacenará los residuos radiactivos producidos en el país.

En cualquier caso, la elección de este emplazamiento no supone una decisión final sobre la localización de la instalación, sino que representa una oportunidad para continuar el proceso y desarrollar el concepto con la comunidad, para garantizar que sus intereses son atendidos. Las próximas actividades se orientarán poder conseguir, en el plazo de un año, la decisión final sobre la localización definitiva de la instalación.

A finales del pasado año, el Gobierno de Australia publicó una lista con los seis emplazamientos voluntariamente nominados, tras un proceso de consulta pública, como candidatos para albergar un almacenamiento de residuos radiactivos. Tres de ellos estaban situados en Australia del Sur, y el resto de emplazamientos en Nueva Gales del Sur, Queensland y el Territorio del Norte, respectivamente. ■



MADRID ACOGIÓ LA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE EL FOMENTO DE LA APLICACIÓN GLOBAL DE PROGRAMAS DE CLAUSURA Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL

# ÉXITO DEL ENCUENTRO SOBRE CLAUSURA DE INSTALACIONES NUCLEARES



El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) eligió España para celebrar la Conferencia Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes. Cita a la que acudieron más de un millar de representantes de un centenar de países y de las organizaciones más destacadas del sector. Entre las conclusiones, se resaltó la importancia de combinar desmantelamiento y restauración para optimizar así la ejecución de estas operaciones.

**TEXTO: CÉSAR DE ECHAGÜE**

**E**l objetivo del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) se cumplió con creces y más de medio millar de expertos, técnicos e investigadores compartieron los avances y experiencias en el desarrollo de programas de clausura de instalaciones nucleares y de restauración ambiental de sus emplazamientos, deteniéndose en el análisis de los aspectos regulatorios, económicos y sociales.

En la jornada inaugural, Juan José Zaballa, presidente de Enresa, destacó la importancia de España como país con experiencia en el desmantelamiento y la restauración ambiental de instalaciones nucleares: “El desmantelamiento y la restauración ambiental de las instalaciones nucleares presentan un reto para aquellos países que adoptaron hace décadas la energía nuclear y que ahora pueden aportar su experiencia en estas actividades que incluyen aspectos y problemas asociados con la gestión, la tecnología, la seguridad

y el medio ambiente. En este contexto, España es uno de los países con experiencia y una actividad más efectiva en este campo”.

Zaballa asimismo destacó que “el coste de los proyectos de clausura y restauración medioambiental varía significativamente dependiendo del tipo de instalación, de la estrategia de desmantelamiento, del objetivo a liberar y la proximidad y disponibilidad de infraestructuras para el manejo de los materiales resultantes, del marco regulatorio y de la normativa vi-



© Reme Valls

gente. A este respecto, existe un interés cada vez mayor de cara a proporcionar una garantía de los recursos financieros disponibles para ejecutar y completar estas actividades evitando la transmisión de responsabilidades a las generaciones futuras”.

### ENCUENTRO PIONERO

El director general adjunto de Seguridad Nuclear del OIEA, Juan Carlos Lentijo, abrió su intervención recordando que la Conferencia de Madrid ha sido la primera en que se han presentado los programas de desmantelamiento y recuperación medioambiental de forma conjunta. En las anteriores, en 2002 en Berlín y en 2006 en Atenas, se trató el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, mientras que en las conferencias de 1999 en Arlington (USA), y en

2009 en Astana (Kazajistán), la protagonista fue la recuperación medioambiental.

Lentijo hizo hincapié en el trabajo que durante las últimas décadas se ha venido desarrollando en las actividades de desmantelamiento, dado que muchas de las instalaciones nucleares más antiguas están llegando al final de su vida operativa. Asimismo, enfatizó sobre el aspecto ético de esta labor: “Una generación que está aprovechando el uso de las tecnologías nucleares debe hacer todo lo que esté en su mano para resolver los problemas relacionados con la fase de clausura, desmantelamiento, rehabilitación del espacio ocupado y gestión de los residuos resultantes”. Además, el director general adjunto de la OIEA subrayó la importancia de “mostrar y transmitir la capacidad necesaria para cumplir con las responsabilidades existentes

que demuestren la sostenibilidad de las tecnologías nucleares y, de este modo, lograr la confianza y la aceptación de la sociedad para la construcción de nuevas instalaciones nucleares”.

### EXPERIENCIA ESPAÑOLA

Respecto a la elección de Madrid como sede de la Conferencia, Lentijo, Zaballa y Christophe Xerri, director de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y Residuos de la OIEA, aludieron a la experiencia española en materia de desmantelamiento y recuperación medioambiental. Zaballa, por su parte, destacó que, hasta el momento, de todas las centrales nucleares existentes en el mundo, sólo se han desmantelado diecisiete, dos de ellas en España “lo que nos ha permitido atesorar una importante experiencia”.

Lentijo también aludió al ejemplo español al explicar los pasos y plazos de desmantelamiento de una instalación de este tipo. “Lo ideal es que tan pronto se pueda se inicie el desmantelamiento, pero esto no siempre es posible por las licencias necesarias para comenzar a trabajar... Sea como fuere, lo importante es que se haga manteniendo los máximos niveles de seguridad”, explicó el director de Seguridad Nuclear del OIEA. De ahí, que en algunas instalaciones puede convenir retrasar el desmantelamiento para que las condiciones radiológicas sean más favorables para los trabajadores que van a intervenir en el desmantelamiento. “En España, por ejemplo, es necesaria una transferencia de titularidad entre la empresa explotadora y la especializada que se va a ocupar de la clausura que, en este caso, es Enresa”.

Por su parte, Xerri recordó que había presentado como ejemplo

de buena práctica el estado y progresión del desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera, en Zorita (Guadalajara) llevado a efecto por Enresa. El experto aportó una serie de datos para brindar una imagen general de la situación de los reactores nucleares en el planeta, con 444 operativos, 65 en construcción y 157 en parada permanente. En el resumen sobre el estado global de las actividades de desmantelamiento y rehabilitación medioambiental, Xerri mostró desde el estado de las zonas mineras de extracción de uranio repartidas por todo el planeta, hasta la progresión de los trabajos en las zonas afectadas por accidentes nucleares, como Chernobyl, Fukushima o Kyshtym. Asimismo, subrayó la importancia del papel del OIEA y de la colaboración constante con los estados miembros y otras organizaciones. “Es posible el desmantelamiento y la restauración

completa”, concluyó Christophe Xerri.

## EL PAPEL DE LOS GOBIERNOS

Desde el inicio de la Conferencia, los ponentes dejaron clara la importancia de que los diferentes Estados se impliquen en las actividades tratadas. José Manuel Redondo, subdirector general de energía nuclear, del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, resaltó el Programa Español para la Clausura y Recuperación Ambiental: “Está basado en una definición clara de las responsabilidades de los agentes implicados, con una estrategia de desmantelamiento y planificación a nivel nacional, un sistema de financiación para estas actividades, así como la existencia de una empresa pública de gestión de los residuos como es Enresa”.



Mesa presidencial durante la sesión inaugural.



Juan José Zaballa Gómez, presidente de Enresa, durante el discurso de apertura de la Conferencia

Redondo hizo un repaso a las actividades que está realizando Enresa en el campo del desmantelamiento y recuperación ambiental una vez que el titular de la instalación concluye las actividades de pre-desmantelamiento y la instalación se transfiere temporalmente a la empresa pública. Así, por ejemplo, el subdirector general de energía nuclear del Ministerio de Industria recordó el desmontaje y desmantelamiento de la mina de uranio de La Haba, en Badajoz; de la fábrica de uranio de Andújar, en Jaén; el desmantelamiento de los reactores de investigación Argos y Arbi, de las universidades de Barcelona y Bilbao, respectivamente; el desmontaje de la central nuclear Vandellós, en Tarragona, ejecutado en su primera etapa; el desmantelamiento de varias instalaciones nucleares y radiactivas del CIEMAT; y, por último, el desmantelamiento completo que se está llevando a cabo en la central nuclear de José Cabrera.

En el mismo sentido que Redondo se manifestó el consejero del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Fernando Castelló, que destacó en su intervención los principales retos a los que se enfrenta un regulador y que están relacionados con el desmantelamiento, desde un punto de vista normativo, como por ejemplo: dotar de un marco jurídico adecuado y dinámico en su aplicación, minimizando la producción de residuos, optimizando la protección radiológica de los trabajadores y aplicando los criterios y principios para la liberación de emplazamientos.

## ACUERDOS INTERNACIONALES

“La colaboración internacional ha hecho mucho más seguro desde



© JGH

**“Es necesario el compromiso y la cooperación internacional para fomentar y optimizar la ejecución de la clausura y recuperación ambiental de las zonas afectadas”**

(Juan José Zaballa, Enresa)



© Reme Valls

**“Hemos demostrado que es posible el desmantelamiento y la restauración medioambiental completa”**

(Christophe Xerri, OIEA)



© Reme Valls

**“La colaboración internacional ha hecho mucho más seguro desde el punto de vista nuclear el entorno del almacenamiento soviético de combustible gastado en el mar de Bering”**

(Vince Novak, BERD)



© Reme Valls

**“Es posible desmantelar instalaciones de forma segura para los trabajadores, el público y el medio ambiente, aunque no hay que olvidar que aún hay casos en las**

**que los programas de desmantelamiento y restauración ambiental se han estancado o avanzan a un ritmo más lento”**

(Peter Jonhston, OIEA)

el punto de vista nuclear el entorno del almacenamiento soviético de combustible gastado en el mar de Bering”, comentó Vince Novak, director de Seguridad Nuclear del Banco Europeo de Reconstruc-

ción y Desarrollo (BERD), quien aseguró que la Comisión Europea ha establecido otro fondo multinacional de características similares para el desmantelamiento y recuperación ambiental

de instalaciones nucleares en el centro de Asia, mostrándose confiado que funcione tan bien como el ejemplo citado.

Por su parte, María Betti, directora del Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea, apuntó que en el momento actual “es esencial el desarrollo profesional de expertos cualificados en programas de desmantelamiento nuclear”. Betti apostilló la necesidad de confeccionar un programa coherente en tecnología de descontaminación, metodología de gestión y almacenamiento de residuos, planteando a su audiencia dos preguntas a las que hay que dar respuesta: ¿Cuáles son los principales obstáculos que impiden el progreso de la clausura y restauración del medio ambiente? ¿Y cuáles son las soluciones para superar estas limitaciones?

Respuestas que se tienen que encontrar en el marco de una posición global y coordinada, pero sin olvidar las diferencias nacionales en sus estrategias y planes nucleares. Diferencias que remarcó Da-

niel Iracane, director de la Agencia de Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE): “La mejor política y la mejor estrategia de clausura tiene que definirse lo antes posible en todos los países, lo que dará lugar a la distribución de responsabilidades entre los diversos actores y a una racionalización del proceso de estimación de costos que evite hipotecar a las generaciones futuras”.

## ÉXITO

Poco antes de clausurar la Conferencia, los responsables del OIEA manifestaron que el encuentro había supuesto un éxito de participantes, propuestas, conclusiones e intercambios y de un objetivo concreto: atraer no sólo a los expertos en las diferentes disciplinas, también a directivos y responsables de las administraciones; es decir, a las personas más cercanas a la toma de decisiones, para, por una parte, transmitirles conocimiento y experiencia, y, por otra, oír sus

necesidades de cara a adaptar sus programas de asistencia a la idiosincrasia de cada país.

Juan José Zaballa cerró la Conferencia recalcando el valor de las ponencias y presentaciones de los asistentes: “Se ha arrojado luz sobre las zonas donde se han llevado a cabo importantes logros en los últimos años, se ha demostrado la importancia de la colaboración entre las agencias y organizaciones, y las oportunidades laborales para motivar a los jóvenes profesionales que deseen trabajar en este campo”.

Ahora es el momento de coordinar y llevar a la práctica las aportaciones de todos los participantes, como la planificación previa para hacer frente a las consecuencias de los accidentes nucleares o radiológicos de manera análoga a los planes de respuesta de emergencia que ya existen. Es el momento de que los gobiernos establezcan políticas nacionales y estrategias para asumir sus responsabilidades y que éstas no trasciendan a las generaciones futuras. De ahí la importancia del establecimiento de fondos de clausura y de recuperación ambiental en el marco de las políticas nacionales en el inicio de cualquier programa nuclear. Esta coordinación temprana es vital para garantizar un enfoque eficiente, eficaz, que garantice la seguridad y minimice los costes. En esa misma línea, también manifestó Zaballa que hay que dar forma a un marco legal y regulatorio que defina las responsabilidades de todas las partes.

## EL FUTURO

Otra de las conclusiones del encuentro ha sido la apuesta por conseguir confianza en los programas de desmantelamiento y



Christophe Xerri, Juan José Zaballa y Peter Johnston fueron los encargados de presentar las conclusiones de la Conferencia.

## Desde todos los países y todos los ámbitos

La comunicación integral, los beneficios laborales in situ, la descontaminación del entorno o las soluciones tecnológicas y de ingeniería son solo una muestra de las aportaciones de las sesiones técnicas celebradas durante el evento.

Bajo el título *Las restricciones sociales relacionadas con la participación de los interesados en la restauración ambiental y los procesos de desmantelamiento* la consultora Meritxell Martell defendió que la comunicación de riesgos sobre los procesos de desmantelamiento y restauración ambiental no debe plantearse exclusivamente desde el punto de vista técnico sino “como un proceso de participación de los interesados a través del cual se pueden salvar las brechas entre las partes interesadas”. Martell se refirió a las principales limitaciones sociales a la hora de implementar sus acciones: falta de conocimiento técnico; el síndrome de “no en mi patio trasero”; las experiencias negativas; la falta de apoyo gubernamental; y los cambios en los marcos legales.

El canadiense Joseph Muldoon se centró en la participación indígena en la restauración del entorno

de la mina de uranio de Gunnar, al norte de Saskatchewan; un Comité de Evaluación de Proyectos, integrado por representantes designados de la comunidad, se reunió en 130 ocasiones, implicándose de manera directa en la toma de decisiones y en su desarrollo y ejecución.

Kazumi Yoshikawa, del Ministerio de Medio Ambiente de Japón, presentó un estudio sobre el estado de los trabajos de descontaminación del entorno de Fukushima, mostrando la evolución de las acciones en las áreas evacuadas. Queda pendiente la eliminación de tierra y residuos contaminados a partir de las actividades de descontaminación que, por ahora, se almacenan en una instalación temporal.

Selena Gruji, de la Empresa pública de instalaciones nucleares de Serbia, expuso la base de los procesos de desmantelamiento iniciados a partir del método Monte Carlo (una simulación de problemas probabilísticos). Según Gruji, esta técnica se puede utilizar durante la caracterización radiológica, sobre todo, cuando los métodos convencionales consumen demasiado tiempo o recursos económicos. ■

restauración ambiental. En los últimos diez años se han operado avances muy significativos: se ha extendido el uso de la robótica y la tecnología de aviones no tripulados, el uso de la realidad virtual y el modelado. Pero tan importante como el desarrollo tecnológico es su posterior transferencia a un receptor que tenga los recursos para ponerlo en práctica. Con este fin, la cooperación internacional es una herramienta fundamental.

Zaballa fue contundente en este punto: “Se deben alentar públicamente bases de datos accesibles para promover las lecciones aprendidas y proporcionar una amplia disponibilidad de experiencias tecnológicas para que sean aplicadas”.

Al final de la Conferencia, Peter Johnston, director de la División de Radiación, Transporte y Seguridad del OIEA, remarcó “la cantidad de proyectos de desmantelamiento que se han producido con éxito y los muchos que se están ejecutando actualmente en entornos afectados por armas nucleares, actividades mineras, accidentes o en las instalaciones nucleares de generación eléctrica”.

Johnston subrayó la importancia de contar con marcos legales, regulatorios e institucionales, adecuados, y fortalecer la capacidad de los Estados miembros para hacer frente a las necesidades tecnológicas, financieras y profesionales de los próximos años.

Para el OIEA, la propuesta de combinar los dos ámbitos de desmantelamiento y restauración en una misma jornada es una señal inequívoca de que existen importantes sinergias entre ambas actividades que deben ser exploradas para fomentar y optimizar su ejecución en todo el mundo.

La Conferencia ha proporcionado la oportunidad de involucrar a todas las partes interesadas: expertos, autoridades gubernamentales, agencias nacionales, reguladores y operadores con el fin de discutir soluciones, hacer recomendaciones, establecer prioridades, fijar políticas nacionales, y hallar soluciones para generaciones futuras. ■

Juan Carlos Lentijo, director general adjunto del OIEA

## “Un proceso de desmantelamiento debe ser aceptado desde el punto de vista técnico, científico y social”

Si hace poco más de cinco años le insinuaban que su futuro profesional podía pasar por Viena, Juan Carlos Lentijo respondía con sinceridad que “no rotundamente”. Pero no pudo negarse cuando el actual Director General del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), Yukiya Amano, le llamó para ofrecerle un puesto de responsabilidad, al frente de la División del Ciclo de Combustible Nuclear y de Tecnología de Residuos y, posteriormente, nombrarle Director General Adjunto de este organismo Internacional.

**TEXTO: TERESA PALACIO Y JORGE FERNÁNDEZ**

**FOTOS: REME VALLS**

**A** finales de mayo Juan Carlos-Lentijo participó en Madrid en la Conferencia Internacional sobre Desmantelamiento y Restauración Ambiental del OIEA, un evento que resume muy bien la vocación de servicio que rige a este Organismo de Naciones Unidas y que sirvió para compartir experiencias, conocimientos y desarrollos técnicos entre sus Estados Miembros, quienes, de forma más o menos inmediata, deberán afrontar procesos de desmantelamiento de sus instalaciones nucleares o desarrollar proyectos de restauración ambiental de antiguas explotaciones mineras de uranio.

**Más de 500 expertos de todo el mundo se han reunido en Madrid. ¿Cuál ha sido el objetivo de este encuentro?**

En desmantelamiento y restauración ambiental es imprescindible la cooperación internacional, que no se trabaje aislado. La idea de encuentros como éste

es que cada país pueda convalidar lo que él lleva a cabo con la experiencia de otros países para que todos aprendamos de lo que se hace bien y, sobre todo, de las malas prácticas para no repetir las.

En el ámbito internacional, hay una buena experiencia de colaboración acumulada en operación de instalaciones nucleares. Sin embargo, en desmantelamiento y restauración ambiental todavía es necesario establecer escenarios de cooperación ya que estos procesos a nivel industrial han surgido más tarde.

Por otra parte, hay numerosos factores que requieren de actualización y de desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas. Para nosotros, como organismo internacional, es muy importante conocer de mano de los expertos y de los responsables de los Estados Miembros qué se está haciendo y cuáles son sus necesidades, ya que sabiéndolo podemos desarrollar y adaptar mejor nuestros programas de trabajo. El OIEA es una entidad de servicio. Trabajamos para sus 168 Estados Miembros, cada uno de ellos con unos intereses y unas necesidades diferentes.

**Precisamente el desmantelamiento de instalaciones nucleares tendrá un peso importante en el futuro del sector, ante el número de reactores que van a llegar al final de su vida útil en el mundo...**

Muchas de las centrales nucleares se construyeron en los años 70-80 y están llegando al final de su vida operativa. En este punto, los países están adoptando estrategias divergentes: en unos casos se está optando por alargar la vida de las instalaciones hasta 60 años y, en otros, cuando un reactor agota su vida útil, se hace una parada definitiva para iniciar el desmantelamiento. En estos momentos ya hay en torno a 160 centrales nucleares en distintas fases de desmantelamiento y es previsible que en el próximo decenio se sumen otras cien más. La ventaja de tener estrategias divergentes es que los desmantelamientos de muchas instalaciones que se construyeron prácticamente al mismo tiempo no hay que acometerlos simultáneamente y eso



puede mejorar la capacidad de planificación y sobre todo la asignación de recursos.

### **¿Qué necesita un país para llevar a cabo un proceso de desmantelamiento con solvencia?**

Lo primero, sin duda, es tener un plan de desmantelamiento, que será diferente según el país y el escenario nuclear que posea. Lo segundo, disponer de fondos suficientes para financiar ese proceso, ya que es una actividad industrial costosa. Lo tercero, tener una infraestructura tecnológica, de licenciamiento y reguladora solventes y que permitan acometer el desmantelamiento con altos niveles de seguridad física y tecnológica. También es muy importante que, como parte de la infraestructura del país, se disponga de una sistemática para la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado, ya que sin ello es imposible desmantelar.

### **¿Cómo es valorada la experiencia española en desmantelamiento a nivel internacional?**

España no sólo se ha embarcado en el desmantelamiento de dos centrales nucleares, Vandellós I y José Cabrera, sino que también ha adquirido experiencia en desmantelar reactores de investigación y de otras instalaciones del ciclo de combustible (de la minería). Por todo ello, ha acumulado una experiencia a la que no es ajena la organización de la Conferencia de Madrid. Creo que en esto ha habido una comunión de intereses entre el OIEA y España para situar este encuentro internacional en un lugar en el que se puede poner en valor esa experiencia acumulada. Sin embargo, no sólo se ha revisado la experiencia española. El objetivo es ver cómo podemos aprender unos de otros.

### **¿Esa experiencia española es extrapolable a otros países?**

Donde siempre se puede compartir conocimiento es en la

parte tecnológica o de licencia- miento y seguridad. Lo que es menos extrapolable es el programa, cómo cada país ha diseñado sus modelos para asegurarse la financiación de los proyectos. Otra cuestión con gran componente local es cómo el desmantelamiento o los procesos de restauración interaccionan con la sociedad. Si la energía nuclear en su conjunto requiere un gran esfuerzo para desarrollarse en un clima de aceptación social, el desmantelamiento y la restauración aún más, porque tiene que aceptarse no sólo desde el punto de vista técnico, científico y social. En definitiva, hay algunas metodologías que pueden compartirse, pero necesariamente requieren de una adaptación al medio.

### **¿Qué datos maneja el OIEA sobre la evolución de la energía nuclear en el mundo?**

Según el Informe anual del OIEA, hasta el accidente de Fukushima había unas expectativas de crecimiento de la energía nuclear muy notables en prácticamente todo el mundo. Después, y debido también a otros factores como la crisis, se han reducido drásticamente. Aún así sigue existiendo una perspectiva de crecimiento, aunque con grandes diferencias por regiones.

Con diferencia, Asia-Pacífico (China, India, Corea, Pakistán...) es la región que continúa con las perspectivas de nuevas centrales nucleares más altas, mientras que en Oriente Medio se mantienen las anteriores a Fukushima. En Europa del Este (Rusia, y países de la antigua URSS), se prevé crecimiento, y, sin embargo, en Europa occidental las previsiones que indica el modelo es que en el periodo 2030-2050 la producción de energía nuclear aumentará ligeramente. En EEUU, el escenario es parecido a Europa, si bien algo más optimista. Además, existen singularidades en algunos países concretos de Latinoamérica.

### **¿Cómo se percibe desde el OIEA el plan de mejoras que se han impulsado a raíz de las pruebas de resistencia tras Fukushima?**

Son los propios países usuarios de la energía nuclear los responsables de analizar su situación y mejorarla en la medida en que sea necesario. El OIEA presta asistencia a los Estados Miembros a través de su colección de normas de seguridad y la asistencia en su implantación voluntaria en cada país. Esto cubre desde el mero entrenamiento y formación, hasta la participación o promoción de proyectos de investigación para mejorar procesos técnicos concretos.

Después de Fukushima, la comunidad internacional reaccionó muy rápido y con energía. El OIEA trató de canalizar inmediatamente las demandas de asistencia por parte de los países, y de que esa actividad que se estaba desarrollando tuviera una coordinación internacional.

Observamos que todos los países desarrollaron el 'test de estrés' o planes de actualización de las evaluaciones de seguridad, que abarcaban desde la prevención hasta la reacción. El resultado es que se ha reforzado la seguridad en todos.

El OIEA ha estado trabajando, a través del Plan de Acciones de Seguridad Nuclear, para fomentar actuaciones de revisión y actualización de seguridad, como por ejemplo el análisis de metodologías de análisis de impacto de sucesos naturales o de actuación frente a accidentes severos. Tras ese trabajo hay satisfacción en todos los países por los créditos que esto generó.

El informe que el organismo publicó el año pasado sobre Fukushima es muy ambicioso, trata de analizar qué pasó, cómo evolucionó, cómo se gestionó el accidente y cómo se puede prevenir. De este análisis se derivan una serie de lecciones que esperamos sirvan para que todos los países las tengan en consideración a la hora de analizar sus sistemas de seguridad. ■



Vista aérea de la instalación de El Cabril.

## LA BIOSFERA EN EL LARGO PLAZO

# CRITERIOS Y HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO RADIOLÓGICO

La evaluación del impacto radiológico que producen los almacenamientos de residuos se realiza a través del uso de modelos. Se incluye la modelización del comportamiento en cuanto a transporte y acumulación de los radionucleidos en los distintos receptores medioambientales, considerando también la modelización de las vías de exposición al hombre. Además, se deben considerar los sistemas biosféricos futuros en los que la liberación de los radionucleidos se podría producir, así como el comportamiento del hombre en relación con estos sistemas futuros. El Ciemat ha trabajado durante los últimos años en una metodología para la evaluación de la seguridad de la biosfera en la gestión de los residuos.

Autor: **DANYL PÉREZ SÁNCHEZ, UNIDAD DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL PÚBLICO Y EL MEDIO AMBIENTE. DPT. DE MEDIO AMBIENTE (CIEMAT)**

Fotos: **ENRESA**



**E**l objetivo final de la gestión de los residuos radiactivos es proteger la biosfera de posibles impactos radiológicos, sin imponer cargas indebidas sobre las futuras generaciones. La evaluación del posible impacto radiológico asociado a la disposición de residuos radiactivos en sistemas de almacenamiento conlleva el análisis y cuantificación del transporte de los radionúclidos en la biosfera así como la estimación de las potenciales vías de exposición al hombre.

En el desarrollo de estrategias para el almacenamiento de residuos radiactivos, se considera el sistema basado en el concepto de barreras múltiples para aislar el residuo del medio ambiente y del hombre –la biosfera–. Estas barreras pueden ser tanto naturales como artificiales (de ingeniería), y trabajan juntas

para lograr el grado necesario de aislamiento y confinamiento del residuo. No obstante, en escalas de tiempo largas, de miles a decenas de miles de años, pequeñas cantidades de radionúclidos de vida larga pueden ser liberadas desde el repositorio y alcanzar la biosfera.

La evaluación de seguridad a largo plazo en la gestión de residuos radiactivos implica que la dosis anual de radiación debido a la posible liberación de los radionúclidos a la biosfera no supere los límites reglamentarios para el público. Para cuantificar estas dosis se deben desarrollar modelos que describan el comportamiento de los radionúclidos en el medio ambiente (Figura 1) y que permitan calcular las concentraciones en los distintos compartimentos de la biosfera para, posteriormente, estimar las dosis de radiación a los seres humanos y al medio ambiente, a través de las diferentes vías de exposición.

La demostración y el juicio sobre el cumplimiento de los criterios radiológicos van mucho más lejos que la simple comparación de las dosis calculadas. Se debe prestar atención a todos los argumentos que puedan ofrecerse como soporte, a fin de juzgar que se ha alcanzado una ‘confianza razonable’. El objetivo de las evaluaciones de seguridad es demostrar de forma convincente y coherente, tanto a las autoridades reguladoras como a la sociedad en general, la seguridad de la opción tecnológica adoptada. Constituye un elemento clave tanto en el licenciamiento de estas instalaciones como en su aceptación por diversos foros (científicos, sociedad). El alcance temporal de la evaluación dependerá de la duración de los potenciales impactos; en el caso específico de los residuos radiactivos será función de las propiedades físico-químicas de los elementos radiactivos, de las propiedades de la matriz en que se hallen, de las barreras

de ingeniería interpuestas y de las propiedades y condiciones del emplazamiento en que se ubica el almacenamiento. Se han de considerar asimismo los hábitos y dietas, así como la actividad de las poblaciones potencialmente afectadas y circundantes.

### LA BIOSFERA, ÚLTIMO RECEPTOR

En general, la biosfera está constituida por distintos medios ambientales: cuerpos de agua dulce, atmósfera, suelos y subsuelos, mares y sedimentos, así como por los organismos vivos que cada uno contiene (Figura 2). Aunque la biosfera en sí misma no puede considerarse en un sentido estricto como una barrera entre el residuo y el hombre, los procesos de dilución que se producen en ella juegan un papel importante, contribuyendo a asegurar que el impacto radiológico de posibles liberaciones desde el repositorio se reduce a un nivel aceptable.

Desde el punto de vista de la gestión final de los residuos radioactivos, la biosfera representa el receptor último al que llega, de manera retardada y diluida, una fracción de los radionúclidos liberados desde el almacenamiento. En este contexto, el concepto de biosfera incluye tanto el medio físico (atmósfera, suelo, sedimentos, aguas superficiales, etc.) como los seres vivos (flora y fauna) que con él interactúan. La cuantificación del impacto radiológico requiere el conocimiento de los procesos de acumulación y transporte de radionúclidos en el medio físico, así como los mecanismos de transferencia a los seres vivos, las vías de exposición al hombre

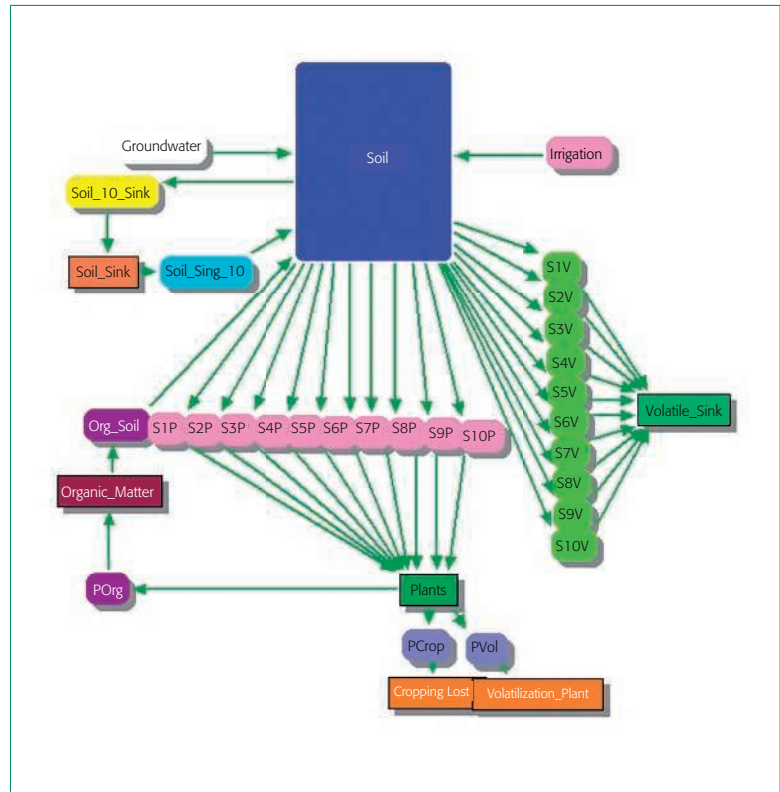


Figura 1. Modelo de comportamiento radionúclidos en el sistema Suelo-Planta implementado en el Código AMBER

y la estimación de las dosis potencialmente recibidas.

Cuando un flujo de radionúclidos es liberado en el sistema biosférico, se produce una dispersión en el medio que incluye diferentes fases. La dispersión de los radionúclidos depende de las propiedades físico-químicas del medio en que se propaga, así como de los procesos físicos (difusión, advección, desintegración radiactiva, etc.), químicos (dilución, reacciones químicas de precipitación/disolución, formación de complejos, etc.) y biológicos (bioturbación, metabolismo y bioacumulación) que tienen lugar entre dichos medios.

Aunque bajo determinadas circunstancias la biosfera puede

actuar como una barrera muy efectiva desde el punto de vista de la seguridad, las largas escalas temporales asociadas a la liberación de radionúclidos desde la geosfera y los cambios esperados en la estructura y características de la biosfera durante esos periodos de tiempo hacen que el tratamiento de este subsistema se realice de forma separada y relativamente independiente del resto de los componentes del sistema de almacenamiento.

Este tratamiento separado será más o menos correcto en función del mecanismo de transporte principal en la geosfera y, por tanto, del medio geológico, y de la coherencia entre las condiciones de contorno consideradas en la geosfera y la biosfera. En ocasiones, la interfaz geosfera-biosfera

no se corresponde realmente con una frontera físico-química en el sistema, por lo que el límite entre una y otra se establece de forma artificial a efectos de modelización del transporte de radionúclidos. En este último caso, las condiciones de contorno consideradas para el modelo de geosfera han de considerarse también para el modelo de biosfera.

Desde el punto de vista de la demostración de la seguridad del sistema de almacenamiento, la biosfera y, más concretamente,

## La evaluación de seguridad a largo plazo en la gestión de residuos radiactivos implica que la dosis anual de radiación debido a la posible liberación de los radionúclidos a la biosfera no supere los límites reglamentarios para el público

la población potencialmente expuesta, juega un papel fundamental, ya que, hasta la fecha, los límites o restricciones sobre

el sistema se establecen en términos de protección del público, específicamente en valores de dosis o riesgo.



Figura 2. Entorno de la biosfera en las instalaciones de El Cabril.

Por todo ello, cuando se habla de la biosfera en la gestión definitiva de residuos radioactivos, se deben considerar tres componentes fundamentales: la interfaz geo-biosfera, la propia biosfera y la población potencialmente expuesta. El tratamiento de cada uno de estos tres componentes dependerá, en primer lugar, de los objetivos fijados en la evaluación de seguridad y, si así se requiere, del conocimiento del sistema sobre el que se pretende realizar la evaluación.

La consideración de la biosfera en las evaluaciones de seguridad puede variar en complejidad desde un tratamiento muy simplificado, en el que se analiza la dosis al individuo crítico recibida por una única vía de exposición (p. ej. ingestión de agua contaminada), a un tratamiento muy complejo, en el que se analiza la evolución del sistema y las consecuencias a lo largo del tiempo (Figura 3).

### METODOLOGÍA DE SEGURIDAD

Durante los últimos años, el Centro de Investigaciones Energéticas,

## El Ciemat ha desarrollado para Enresa una metodología y herramientas para la evaluación de la seguridad de la biosfera en la gestión de los residuos radioactivos

Tecnológicas y Medioambientales (Ciemat) ha desarrollado para Enresa una metodología y herramientas para la evaluación de seguridad de la biosfera en la gestión de residuos radiactivos (Figura 4). Esta metodología incluye como aspecto primordial la modelización de la migración y acumulación de radionucleidos en la biosfera con el objetivo de

poder realizar la evaluación del impacto radiológico de la distribución de los radionucleidos en el medio ambiente. La metodología de evaluación de la biosfera desarrollada para Enresa en los sucesivos acuerdos de colaboración ha ido evolucionando en función de desarrollos y aplicaciones nacionales e internacionales, destacando dentro de estos últimos

la participación en el Programa BIOMASS del OIEA.

Dentro de esta metodología, se pueden distinguir las siguientes fases:

- (Definición del contexto de la evaluación.
- Selección de sistemas representativos del largo plazo, en la que se lleva a cabo la selección de escenarios o situaciones que pueden provocar un daño o impacto y la descripción del sistema o sistemas a evaluar.
- Desarrollo de modelos conceptuales o representación del sistema de procesos.
- Representación matemática.
- Resolución del modelo de simulación e interpretación de resultados.

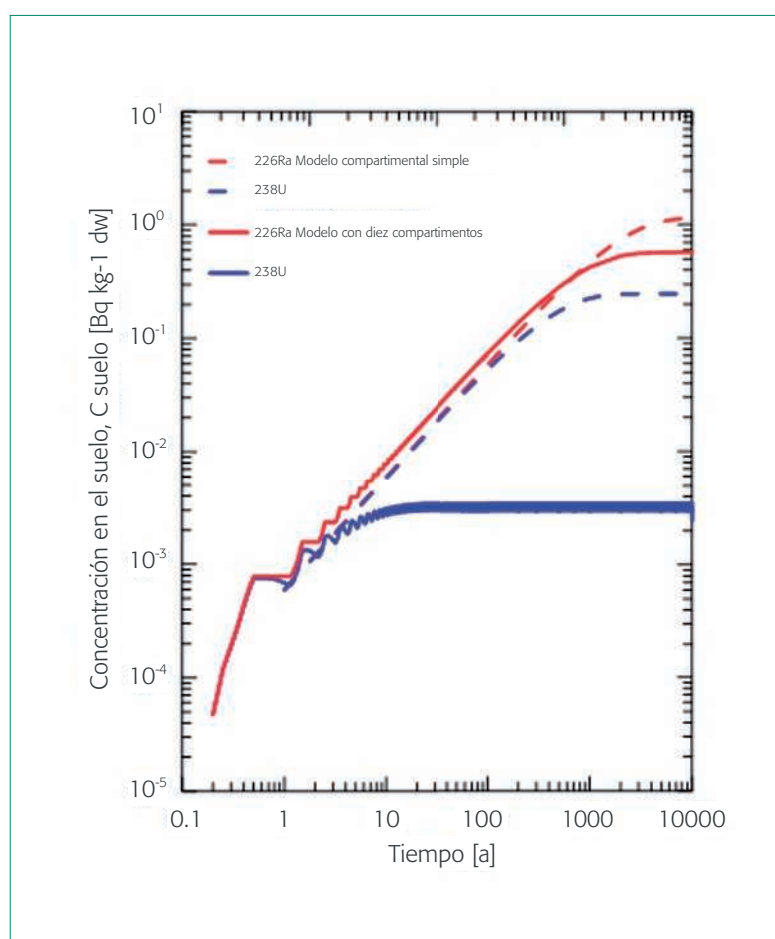


Figura 3. Comportamiento a largo plazo de las concentraciones calculadas en suelo utilizando diferentes tipos de modelos

La evaluación del impacto radiológico que producen los almacenamientos de residuos se realiza a través del uso de modelos. Cuando los radionucleidos son liberados o alcanzan el medio ambiente, el principal objetivo de la evaluación consiste en determinar qué grupos de población estarán expuestos a la radiactividad liberada y en qué medida. Los modelos de evaluación radiológica se utilizan para establecer y cuantificar la transferencia de los radionucleidos entre los distintos componentes ambientales y la exposición del hombre. Estos modelos requieren información sobre los procesos de transporte, acumulación o dilución que determinan la transferencia entre componentes ambientales (suelos, agua, sedimentos, organismos vivos, etc.). La exposición del hombre vendrá determinada por la concentración de radionucleidos en los distintos componentes bios-

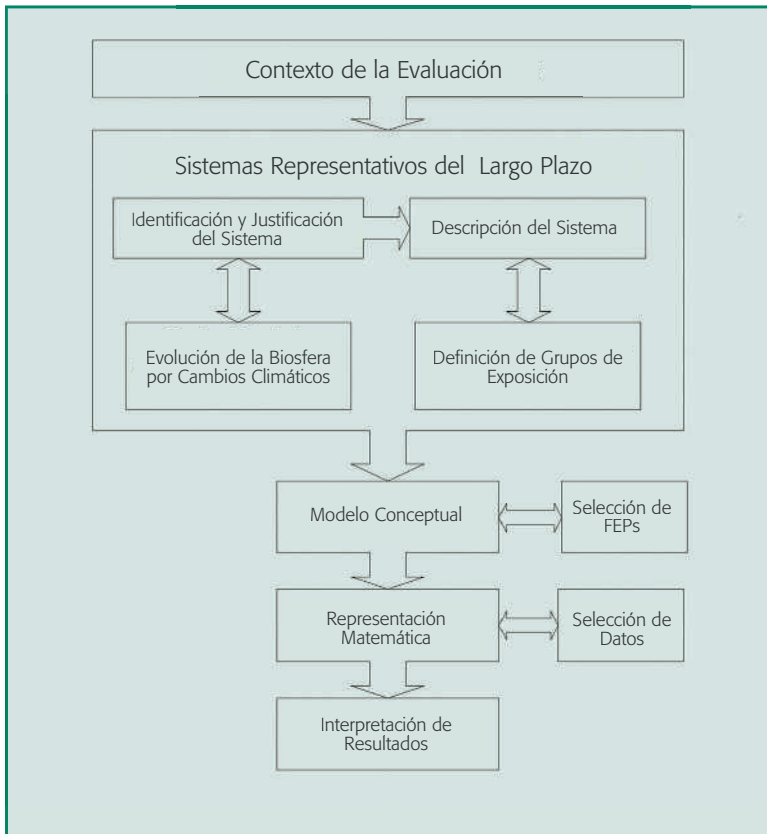
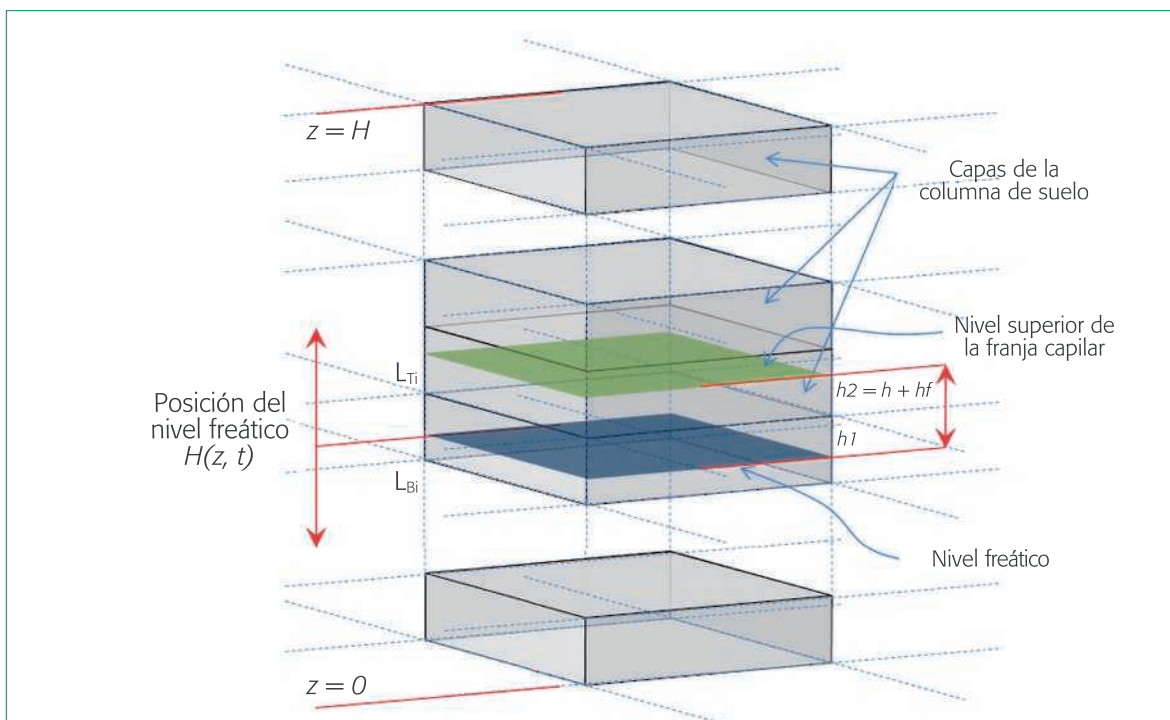


Figura 4. Metodología de evaluación de la biosfera

féricos con los que interactúa y sus vías de exposición a la radiactividad. Además, dadas las escalas temporales que es necesario manejar, se deben considerar los sistemas biosféricos futuros en los que la liberación de los radionucleidos se podría producir, así como el comportamiento del hombre en relación con estos sistemas futuros.

A nivel internacional, se han realizado esfuerzos para el desarrollo de metodologías de evaluación en la biosfera, así como para su aplicación práctica. Ejemplos de ello son la participación en el foro internacional BIOPROTA y en los programas del Organismo Internacional de la Energía Atómica, como BIOMASS (*Biosphere Modelling and Assessment Methods*), EMRAS (*Environmental Modelling for Radiation Assessment*) y MODARIA (*Modelling and Data for Radiological Assessment*). ■



Modelo de comportamiento hidrológico en suelos

# PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SEGURIDAD NUCLEAR EN EURATOM

Este artículo es la segunda parte de una trilogía dedicada al Derecho Comunitario que afecta a la gestión de los residuos radiactivos. La primera parte, publicada en el número anterior de esta revista, describía la génesis histórica de Euratom. Esta se centra en el capítulo del Tratado que posiblemente ha experimentado una mayor evolución en su interpretación y los desarrollos que han surgido de él: la parte relativa a seguridad nuclear y protección radiológica, el capítulo tercero.

Texto: **NURIA PRIETO SERRANO. DPTO. RELACIONES INTERNACIONALES DE ENRESA**

© Tribunal Justicia UE



Sala del Tribunal de  
Justicia de la Unión  
Europea.

**E**l capítulo tercero de Euratom lleva por título 'Protección Sanitaria'. El título en inglés, 'Health and Safety', refleja mejor sus contenidos, ya que aúna las disposiciones del Tratado tanto en el área de protección radiológica, como en el de seguridad nuclear. La diferencia entre protección radiológica y seguridad nuclear, de hecho, no era relevante en los tiempos de redacción del Tratado, o quizá debería decirse que ambos conceptos no han sido nunca independientes, por más que se establezcan distinciones desde el punto de vista de las competencias de los organismos. Sobre esta cuestión se volverá después.

### **LO QUE DICE EURATOM: CONTENIDOS DEL CAPÍTULO TERCERO DEL TRATADO**

El capítulo tercero contiene los artículos 30 a 39 y tiene su base en el artículo 2, según el cual para el cumplimiento de su misión la Comunidad deberá, en las condiciones previstas en el Tratado, "establecer normas de seguridad uniformes para la protección sanitaria de la población y de los trabajadores, y velar por su aplicación".

El artículo 30 establece que habrán de adoptarse normas básicas para la protección sanitaria de la población y los trabajadores contra los peligros que resulten de las radiaciones ionizantes; entendiendo por normas básicas las dosis máximas admisibles con un suficiente margen de seguridad, las exposiciones y contaminaciones máximas admisibles y los principios fundamentales de la vigilancia médica de los trabajadores. El artículo 31 define

el procedimiento para adoptar dichas normas, y el 32 establece que, a petición de la Comisión o de un Estado miembro, pueden ser revisadas o completadas según el procedimiento anterior.

Según el artículo 33, cada Estado miembro adoptará las disposiciones adecuadas para garantizar la observancia de las normas básicas establecidas, y tomará las medidas necesarias en lo que se refiere a la enseñanza, la educación y la formación profesional. La Comisión formulará las recomendaciones necesarias con objeto de asegurar la armonización de las disposiciones aplicables, a este respecto, en los Estados miembros.

En el artículo 34, se establece que todo Estado miembro, en cuyo territorio hayan de realizarse experimentos peligrosos, deberá adoptar disposiciones suplementarias para la protección sanitaria, después de haber recibido el dictamen de la Comisión sobre ellas. El dictamen positivo de la Comisión es preceptivo cuando los efectos de estos experimentos pudieran dejarse sentir en los territorios de los restantes Estados miembros.

El primer párrafo del artículo 35 requiere a los Estados miembros que creen las instalaciones necesarias a fin de controlar, de modo permanente, el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo, así como la observancia de las normas básicas. La Comisión tendrá derecho de acceso a estas instalaciones de control y podrá verificar su funcionamiento y eficacia. El artículo 36 requiere a los Estados miembros que comuniquen regularmente a la Comisión la información relativa a los controles mencionados en el artículo anterior.

El artículo 37 establece que cada Estado miembro deberá suministrar a la Comisión los datos generales sobre todo proyecto de evacuación, cualquiera que sea su forma, de los residuos radiactivos, que permitan determinar si la ejecución de dicho proyecto puede dar lugar a una contaminación radiactiva de las aguas, del suelo o del espacio aéreo de otro Estado miembro. La Comisión, previa consulta a un grupo de expertos, ha de emitir su dictamen en un plazo de seis meses.

El artículo 38 establece en sus dos párrafos iniciales que la Comisión dirigirá a los Estados miembros recomendaciones sobre el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo; y que en caso de urgencia adoptará una Directiva para intimar al Estado miembro de que se trate a tomar, en el plazo que ella determine, todas las medidas necesarias para evitar una infracción de las normas básicas y asegurar el respeto de las regulaciones pertinentes.

Para terminar, según el artículo 39, la Comisión deberá crear en el marco del Centro Común de Investigaciones Nucleares una Sección de documentación y de estudio de las cuestiones relacionadas con la protección sanitaria.

### **LO QUE EN LA PRÁCTICA SE HA HECHO**

La protección radiológica se ha desarrollado para establecer qué límites de radiación son tolerables para el ser humano y su entorno y velar por que esos límites no se sobrepasen, asentada sobre tres principios clásicos: la justificación, la optimización y la limitación de dosis. El Derecho de la protección radiológica es el primero que históricamente se ha desarrollado a partir del

## En los últimos diez años se han producido importantes avances en la regulación de protección radiológica, revisándose las recomendaciones de la ICRP, las normas del OIEA, y adoptándose la Directiva 2013/59/Euratom

capítulo tercero del Tratado. Sobre la base de los artículos 31 y 32, se han ido adoptando normas básicas de seguridad, desde el año 1959, a través de una serie de Directivas que han ido concatenándose en sucesivas enmiendas desde 1962<sup>1</sup>, en consonancia con el último estado del conocimiento, hasta llegar a la Directiva 2013/59/Euratom<sup>2</sup>, hoy vigente. La competencia de la

1 Referencia a las Directivas de 5 de marzo de 1962, Directiva 66/45/Euratom, Directiva 76/579/Euratom, Directiva 79/343/Euratom, Directiva 80/836/Euratom, Directiva 84/467/Euratom y Directiva 1996/29/Euratom.

2 Directiva 2013/59/Euratom de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.

Comunidad para regular en este área ha sido siempre incontestada y esta actividad normativa se ha considerado como la forma natural de verter en Derecho Comunitario las recomendaciones y las normas que adopta, sin efectos vinculantes, la comunidad internacional.

Como es sabido, la génesis de las normas básicas de seguridad se encuentra en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), Comisión que se establece en 1928 vinculada a los congresos de la Sociedad Internacional de Radiología. Desde 1964 hasta hoy, la ICRP ha ido ampliando sus recomendaciones originales y revisándolas perió-

dicamente. Estas recomendaciones no tienen efecto vinculante alguno aunque sirven como importante orientación a las autoridades nacionales e internacionales. La labor de la ICRP se completa con el Comité Científico de la ONU sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) y con la propia labor del OIEA: en consonancia con sus Estatutos, en 1962 el Organismo emitió sus primeras normas de seguridad con base en dichas recomendaciones. Al ritmo de las revisiones sucesivas de las propias recomendaciones de la ICRP, estas normas han sido revisadas periódicamente y en su adopción hoy intervienen diversas organizaciones internacionales, incluida la Comisión Europea.

Pero estas normas elaboradas por el OIEA tampoco gozan de plena fuerza vinculante. El OIEA sólo tiene una mayor autoridad para imponer el empleo de sus normas respecto a sus propias operaciones, cuando presta asistencia a un Estado y en las restantes circunstancias que menciona su Estatuto. De manera que, desde los inicios de la andadura de Euratom, se



Sede del OIEA en Viena.

© Rodolfo Quevenco/IAEA

han ‘comunitarizado’ todas estas recomendaciones y normas de Derecho blando, dándoles fuerza vinculante y convirtiéndolas en acervo cuyo cumplimiento sí es exigible por la Comisión Europea, con la posible apelación al Tribunal de Justicia de la UE.

Con el paso de los años, a la Directiva ‘base’ que establece las normas básicas de seguridad se han ido adhiriendo otras. En particular, tras el accidente de Chernobyl, proliferaron una serie de normas en el área de la protección radiológica, por ejemplo relativas a la información de la población en caso de emergencia radiológica o al nivel máximo de contaminación radiactiva en alimentos.

En los últimos diez años se han producido importantes avances en la regulación de protección radiológica, puesto que la revisión de las recomendaciones de la ICRP, vertida en particular en la Publicación 103 del año 2007, ha provocado la revisión de las normas del OIEA (publicación GSR Part 3 del año 2014), y la adopción de la nueva Directiva 2013/59/Euratom. En consonancia con dicha Recomendación, la Directiva adopta nuevos enfoques diferenciando entre las situaciones de exposiciones existentes, planificadas y de emergencia, y cubriendo todas las categorías de exposición: ocupacional, de la población y médica. Su dilatado término de transposición (hasta febrero de 2018) da una idea de la amplitud de cuestiones que abarca y la posible complejidad afectando a ámbitos de competencia diferentes. Esta Directiva no sólo deroga a su anterior versión de 1996, sino también a otras Directivas que regulaban cuestiones específicas de protección radiológica.



Retirada de fuentes radiactivas.

© Enresa

### LAS DIRECTIVAS DE TRASLADOS Y DE CONTROL DE FUENTES

En los artículos 31 y 32 del Tratado tiene también su base la Directiva de control de fuentes de 2003<sup>3</sup> y la Directiva de traslados de 2006<sup>4</sup>. Ambos textos tienen particular interés para la gestión de residuos radiactivos.

El objeto de la Directiva 2006/122/Euratom de control de fuentes es doble: evitar las situaciones derivadas de un control inadecuado de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas, y armonizar los controles existentes en los Estados miembros estableciendo requisitos específicos que garanticen que las fuentes permanezcan controladas.

La cuestión de los traslados de residuos con efectos transfronterizos había sido objeto de una

Directiva en 1992<sup>5</sup>, si bien en 2006 se adoptó una nueva Directiva, hoy vigente, introduciendo dos cuestiones importantes: la extensión del ámbito de aplicación a los traslados de combustible gastado para su reproceso y la generalización de un procedimiento de consentimiento automático entre los Estados miembros.

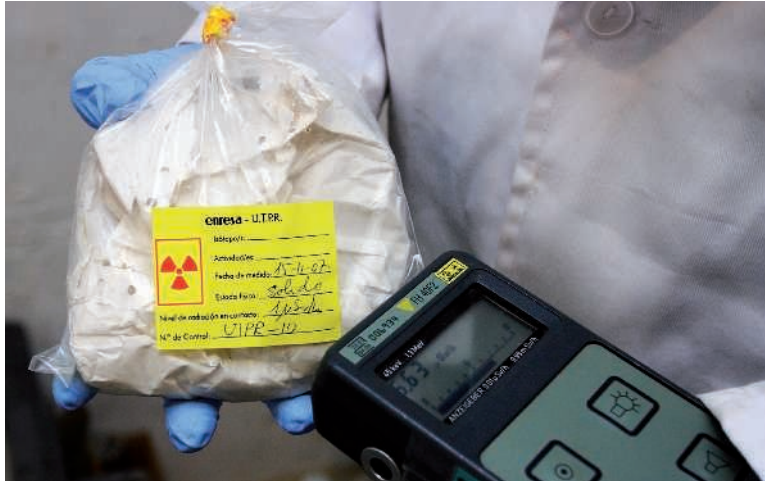
Por otra parte, el artículo 37 del Tratado, como se ha visto, es el único que se refiere explícitamente a los residuos radiactivos, estableciendo la obligación de los Estados de comunicar a la Comisión los datos generales de sus proyectos de evacuación de residuos. En desarrollo de este artículo, la Comisión ha adoptado sendas Recomendaciones en 1999 y ulteriormente en 2010 con el objeto de precisar el término ‘evacuación de residuos’, determinar los datos generales que han de comunicarse, los plazos, etc<sup>6</sup>. Estas disposiciones guardan una estrecha relación con la normativa relativa a la comunicación

3 Directiva 2003/122/Euratom de 22 de diciembre de 2003 sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas.

4 Directiva 2006/117/Euratom relativa a la vigilancia y al control de los traslados de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado.

5 Directiva 92/3/Euratom del Consejo, de 3 de febrero de 1992, relativa a la vigilancia y al control de los traslados de residuos radiactivos entre Estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la Comunidad.

6 Referencia a las Recomendaciones 1998/829 y 2010/635 de 11 de octubre (vigente).



Retirada de residuos pequeños productores.

a raíz de un incidente que había afectado al reactor del submarino nuclear Tireless muy cerca de Gibraltar. Ambos casos quedaron dirimidos por el Tribunal con el mismo razonamiento: el Tratado Euratom en su conjunto no es aplicable al empleo de la energía nuclear con propósitos militares.

## DIRECTIVAS DE SEGURIDAD NUCLEAR Y DE GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

© Entesa

de proyectos de inversiones por el artículo 41 del Tratado, ya ajena al capítulo tercero<sup>7</sup>.

### ¿APLICA EL CAPÍTULO 3 A ACTUACIONES MILITARES?

Se ha indicado anteriormente cómo establece el artículo 34 del Tratado Euratom la necesidad de solicitar dictamen de la Comisión cuando hayan de realizarse experimentos particularmente peligrosos, dictamen que debe ser favorable si esos experimentos puedan tener efectos transfronterizos. El ejemplo más notable en que podría haberse aplicado este artículo fue quizá el de las pruebas militares francesas en el atolón de Mururoa, en el verano de 1995. Sin embargo, el artículo 34 no fue de aplicación en aquella ocasión por considerar la Comisión que las pruebas realizadas en la Polinesia francesa no ofrecían un riesgo perceptible de

exposición significativa para los trabajadores o la población<sup>8</sup>.

Al hilo de esto, se ha cuestionado en diversas ocasiones la capacidad de la Comisión para controlar determinadas actuaciones de los Estados miembros en el ámbito militar, o la aplicabilidad del Tratado Euratom en estos casos. Estas cuestiones han quedado resueltas por el Tribunal de Justicia en dos casos célebres: los asuntos 'Jason'<sup>9</sup> y 'Tireless'<sup>10</sup> en los años 2003 y 2004. En el primer caso, la Comisión consideraba que Reino Unido había incumplido las obligaciones del artículo 37 del Tratado al no haber suministrado los datos generales relativos a un proyecto de evacuación de residuos en el desmantelamiento del reactor militar Jason. En el segundo caso, la Comisión consideraba que el Reino Unido había incumplido la normativa de protección radiológica por no haber informado a la población susceptible de verse afectada en caso de emergencia radiológica,

Desde la perspectiva actual, los resultados más notables en el desarrollo de Derecho derivado del Capítulo 3 de Euratom son la Directiva 2009/71/Euratom de seguridad nuclear<sup>11</sup> -enmendada en 2014<sup>12</sup>- y la Directiva 2011/70/Euratom de gestión de residuos radiactivos<sup>13</sup>. Su adopción ha tenido un alto coste para la Comisión desde el punto de vista del litigio para que se viera reconocido su derecho de iniciativa legislativa y la ulterior negociación fallida en el conocido como 'Paquete Nuclear'. Si hubiera que hacer una narración de los hechos que llevaron a la adopción de estas dos Directivas, todo se retrotrae al momento en que se adopta la Convención de Seguridad Nuclear en el seno del OIEA, en 1994. Hacia 2002, los Estados miembros de la UE la habían ratificado y se planteaba la necesidad de que la Comunidad Euratom se incorporara a ella. La Convención permite su

7 Reglamento (Euratom) del Consejo N° 2587/1999, de 2 de diciembre de 1999, relativo a la definición de los proyectos de inversión que deberán comunicarse a la Comisión de conformidad con el artículo 41 del Tratado constituido de la Comunidad Europea de la Energía Atómica; y Reglamento (CE) N° 1209/2000 de la Comisión de 8 de junio de 2000, por el que se determinan los procedimientos de ejecución de la obligación de comunicación establecida en el artículo 41 del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica.

8 Decisión de la Comisión de 23 de octubre de 1995; véase también el Auto del Tribunal de Primera Instancia de 22 de diciembre de 1995, asunto T-219/95 R.

9 Asunto C-61/03, Comisión vs. Reino Unido.

10 Asunto C-65/04, Comisión vs. Reino Unido.

11 Directiva 2009/71/Euratom del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares.

12 Directiva 2014/87/Euratom del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se modifica la Directiva 2009/71/Euratom, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares.

13 Directiva 2011/70/Euratom del Consejo, de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos.

## La Directiva de 2006 introduce dos cuestiones importantes: la extensión del ámbito de aplicación a los traslados de combustible gastado para su reproceso y la generalización de un procedimiento de consentimiento automático entre los Estados miembros

firma por organismos regionales o internacionales, siempre y cuando estos efectúen una declaración indicando qué artículos de ella les son de aplicación y la extensión de sus competencias respecto a esos artículos. Comisión y Consejo tenían interpretaciones diferentes sobre este último punto. El Consejo interpretaba que Euratom tenía exclusivamente competencias en protección radiológica, y la Comisión hacía una interpretación mucho más amplia del Capítulo 3 del Tratado, incluyendo áreas de seguridad nuclear, es decir relativas al licenciamiento de las instalaciones. Ante el desacuerdo, la Comisión demandó al Consejo

reclamando la anulación parcial de su decisión y el asunto fue dirimido por el Tribunal de Justicia en diciembre de 2002, en el asunto relacionado con Euratom que ha tenido más repercusiones en los últimos años<sup>14</sup>. El punto 82 de la sentencia establecía que “no es apropiado, a la hora de definir las competencias de la Comunidad, establecer una distinción artificial entre la protección de la salud del público en general y la seguridad de las fuentes de radiaciones ionizantes”. En definitiva, y más allá del interés que esto pudiera tener de cara a la firma de la Convención (en el intervalo,

<sup>14</sup> Asunto C-29/99, Comisión vs. Consejo..

cuestiones semejantes se habían suscitado respecto a la firma de la Convención Conjunta en 1997), el Tribunal estaba empoderando a la Comisión para proponer iniciativas legislativas en el área de la seguridad nuclear, que hasta entonces había quedado vedada a los Estados miembros.

Tras la publicación de la sentencia en diciembre de 2002, la Comisión presentó un ‘paquete navideño’ con propuestas de Directivas en las áreas de seguridad nuclear y residuos radiactivos. Las iniciativas, reunidas en lo que fue conocido como ‘Paquete Nuclear’, fracasaron por una serie de razones, entre ellas la resistencia de los Estados a que se vieran regulados los fondos de desmantelamiento, la (percibida como) inflexibilidad de la Comisión a la hora de requerir fechas para acometer el almacenamiento definitivo de los residuos o la inquietud que suscitaba entre los Estados la propuesta de intercambiar inspectores de seguridad nuclear.

El fracaso de la propuesta era ya notorio en 2007, fecha en que la Comisión decidió crear un grupo de alto nivel de reguladores<sup>15</sup>, conocido como ENSREG<sup>16</sup>, con el objetivo de darle consejo y apoyo en el desarrollo progresivo de normativa europea en las áreas de seguridad nuclear y residuos. A partir de la constitución de ENSREG se desbloquearon las relaciones entre Comisión y Consejo, lo que permitió la adopción de las nuevas Directivas de Seguridad Nuclear y residuos; pero esta es otra historia que se describirá en la próxima entrega de esta trilogía. ■

<sup>15</sup> Decisión de la Comisión, de 17 de Julio de 2007, sobre el establecimiento de un Grupo Europeo de Alto Nivel en seguridad nuclear y gestión de residuos (2007/530/Euratom).

<sup>16</sup> www.ensreg.eu



Transporte de un contenedor de combustible gastado



CARLES LALUEZA FOX, EXPERTO EN PALEOGÉNÉTICA –EL ESTUDIO DEL ADN ANTIGUO– Y DIVULGADOR CIENTÍFICO

## “ALREDEDOR DE UN 2,5% DE NUESTROS GENES SON NEANDERTALES”

Durante unos cuatrocientos mil años, sapiens y neandertales estuvieron separados, pero, al salir de África, el humano moderno se cruzó con ellos y sus descendientes se integraron en la población humana moderna. Carlos Lalueza afirma que, de este modo, el rastro genético neandertal quedó en nuestra especie y algunos de esos genes le permitió adaptarse mejor a las nuevas condiciones. Las otras especies se fueron extinguiendo por la poca diversidad en sus cromosomas, ya que la endogamia favoreció la aparición de mutaciones desfavorables. El hombre actual es descendiente de los que sobreviven y, hoy en día, sigue adaptándose.

Texto: **GERMÁN HESLES**

Fotos: **INSTITUTO DE BIOLOGÍA EVOLUTIVA**

**E**ste doctor en Biología por la Universidad de Barcelona y experto en paleogenética -la disciplina que estudia la antropología a través del análisis genético molecular- ha participado en el proyecto genoma neandertal, dirigido por Svante Pääbo y publicado en 2010, en donde se demostraba por primera vez la presencia de ADN neandertal en la especie humana actual. También destaca en su papel de divulgador científico y sus obras han sido reconocidas con los más prestigiosos galardones.

### **Como biólogo estudia el ADN antiguo. ¿Qué es ese concepto?**

El ADN antiguo es cualquier muestra de material genético de hace unas cuantas décadas o de cientos de miles de años; nunca de millones de años.

### **¿Por qué 'no' de millones de años?**

El ADN es una molécula muy frágil que tiene un límite de supervivencia marcado por las condiciones climatológicas e indirectamente por el tiempo. Sufre diversos cambios químicos y problemas de fragmentación y cuando una secuencia de ADN es muy corta no la podemos atribuir a ningún organismo en concreto. Todavía no estamos seguros, pero también depende de la latitud: en una templada, como la del continente europeo, no es probable que sobreviva más allá de unos centenares de miles de años, y en una latitud muy fría, como puede ser la del Ártico, quizá pudiera llegar a un millón de años.

### **Entonces, ¿nunca se verá a un dinosaurio vivo como auspiciaba el escritor Michael Crichton en su obra Jurassic World?**

De ninguna manera. No hay ADN conservado, pero aunque lo hubie-

ra las secuencias serían tan cortas que no se podrían reconocer.

### **¿De dónde obtienen las muestras de ADN antiguo?**

Depende de los arqueólogos y de sus descubrimientos. La inmensa mayoría de los yacimientos son de principios de siglo y no se conserva ADN o está contaminado. Los que se conservan en Europa ya han sido estudiados casi en su totalidad. Dependemos del registro fósil y del azar, como ocurrió con el descubrimiento de la cueva del Sidrón, en Asturias: no había planificación arqueológica, pero se encontraron trece individuos que habían sido canibalizados. El Sidrón se ha convertido en un icono de la arqueología experimental porque permitió llevar el laboratorio al yacimiento y extraer allí las muestras sin problemas de contaminación.

### **¿Qué aporta un laboratorio de paleogenómica?**

Es un laboratorio que se diferencia, sobre todo, por su parte experimental. Hacemos genómica porque estamos recuperando ADN arcaico. Una vez tienes la secuencia de un genoma es igual trabajar con un individuo actual o pasado, pero las muestras antiguas tienen el ADN muy degradado y, aparte de los cambios químicos post mortem, se tiene que trabajar en unas condiciones estrictas de esterilidad para evitar contaminaciones con ADN moderno. Eso sí, éste se podría reconocer en análisis posteriores, pero, de entrada, es indeseable y se establecen una serie de filtros para evitarlo. Con el ADN actual las muestras son tan grandes que el ADN es muy prevalente y no están condicionadas por la contaminación. La proporción es de varias miles veces más que cuando se trata de una muestra antigua.

### **En sus estudios concluye que el ser humano tiene genes neandertales y de ahí se desprende que hubo un tiempo en que convivieron dos especies humanas.**

Es una proporción pequeña, pero alrededor de un 2,5% de nuestros genes son neandertales. Sapiens y neandertales estuvieron separados durante cuatrocientos mil años, pero cuando los humanos modernos salieron de África se encontraron con algunos neandertales, se cruzaron y los descendientes, los híbridos, se integraron en la población humana moderna que se estaba expandiendo. El rastro genético neandertal quedó en el humano moderno no africano y algunos de estos genes representaron una ventaja selectiva que fue aumentando de frecuencia; a los portadores les permitió adaptarse mejor a las condiciones nuevas a las que ya estaban aclimatados, durante medio millón de años, los neandertales. No es un rastro neutro, los genes han servido para algo. Pero el homo sapiens no ha convivido sólo con neandertales. El humano moderno salió de África hace unos 60.000 y hace 40.000 o 50.000 años convivieron hasta cuatro especies humanas: sapiens, neandertales, denisovanos y floresiensis.

### **La convivencia de más de una especie humana tiene implicaciones filosóficas...**

Una definición completa de lo que es el ser humano incluiría, por ejemplo, esas variantes en genes que hemos heredado de los neandertales. Eso, sin duda, añadiría complejidad a la definición. De todos modos, los genetistas en general son poco dados a especulaciones de tipo filosófico, pero a mí, particularmente, sí me interesa ir más allá de los datos científicos y pensar en estas cuestiones. Por ejemplo: lo que no compartimos con los

## Puede que influyeran los humanos modernos en su desaparición por portar nuevas enfermedades, pero los neandertales llevaban languideciendo cientos de miles de años

neandertales podría utilizarse para hacer una definición genética de la especie humana.

**Homo sapiens y neandertales se cruzan y aparecen híbridos fértiles. ¿Los híbridos no suelen ser estériles?**

La hibridación es más habitual de lo que nos pensamos, lo que ocurre es que muchas especies no se cruzan porque ocupan rangos geográficos distintos y no se encuentran en la naturaleza. Si se encontraran, se cruzarían y se producirían híbridos que podrían

ser fértiles. De hecho, debido al cambio climático los osos polares se han desplazado hacia el sur y se han cruzado con osos pardos... y todo el mundo tiene claro que son especies distintas, pero dan híbridos fértiles. Es cierto que los híbridos suelen tener problemas de fertilidad y que, en el caso de los humanos, hay evidencias de que los híbridos eran menos fértiles. Esto se sabe por los cromosomas sexuales: los híbridos no suelen aceptar genes de otras especies. La herencia genética neandertal de 2,5% de la que hemos hablado se distribuye al azar en los cromosomas,

pero no en los cromosomas sexuales, ahí no aparece.

**¿Alguna vez se podrá responder a la pregunta de si nuestra especie fue la causante de la extinción de los neandertales?**

Existe evidencia de que los humanos modernos no sustituyeron a estas especies sino que se fueron cruzando, pero esas otras especies sí se extinguieron. Los genomas de un individuo, en el fondo, están reflejando su historia evolutiva. En el caso de los neandertales las poblaciones eran muy pequeñas y, por tanto, habría muy poca diversidad en sus cromosomas. Tenemos datos que corroboran la consanguineidad. Al haber muy pocos individuos, los progenitores podían ser entre sí tíos, sobrinos o primos. Las evidencias de endogamia explican la baja diversidad a largo plazo en estas pequeñas poblaciones y entonces surgen muchas mutaciones que son desfavorables, deletéreas... La extinción de los neandertales fue un proceso largo. Eran muy pocos individuos e iban acumulando este efecto negativo por la baja diversidad, pero los últimos supervivientes se encuentran, claramente, en el rango temporal de los humanos modernos. Sí puede que influyeran los humanos modernos en su desaparición por portar nuevas enfermedades, pero los neandertales, como los denisovanos, llevaban languideciendo cientos de miles de años.

**¿El hombre actual es diferente genéticamente de los primeros homo sapiens?**

Sí, pero no en el sentido filosófico. En los últimos ocho mil años han cambiado doce genes de 25.000 y en esos doce genes sí somos diferentes.



La cueva de El Sidrón se ha convertido en un icono de la arqueología experimental porque permitió llevar el laboratorio al yacimiento y extraer allí las muestras sin problemas de contaminación.

### ¿Los seres humanos somos mejores o peores?

Ni mejores ni peores. Estamos mejor adaptados a las condiciones que se han ido encontrando nuestros antepasados. Somos los descendientes de los que sobreviven, pero por el camino se quedan muchos que no tienen las variantes genéticas que tenemos nosotros. Seguimos adaptándonos aunque hayan cambiado las fuerzas selectivas, que, al ser nuevas, tenemos más dificultades para reconocerlas.

### La idea de una evolución lineal sigue predominando entre la población... ¿Cómo se puede subsanar esta laguna que hace tan difícil la comprensión de la historia genética humana?

Todo científico del pasado sabe que esto no es así. Ya hemos dicho que llegan a convivir varias especies humanas. Es cierto que en los medios sigue instalado el estereotipo de una evolución lineal, el eslabón perdido, que es una tontería conceptual. Con cada descubrimiento se habla del eslabón perdido porque sigue fallando la correa de transmisión de las ideas científicas a la sociedad. De ahí mi interés por la divulgación: es paradójico que una sociedad que depende tan directamente del conocimiento científico no tenga curiosidad por entender de dónde viene este conocimiento. No sé dónde se falla, si en la escuela, en los medios de comunicación...

### ¿En qué está trabajando actualmente?

En entender a nuestros antepasados directos, en la historia de los ocho mil últimos años, cruzando las investigaciones genéticas con las históricas. Con ello podremos encontrar vínculos genéticos di-

## Material genético de especies extintas para resolver problemas evolutivos

Carles Lalueza Fox (Barcelona, 1965), doctor en Biología por la Universidad de Barcelona, es experto en paleogenética, el estudio del ADN antiguo. Ha trabajado en las universidades de Cambridge y de Oxford así como en la compañía privada de genética deCODE Genetics de Islandia. Desde el año 2008, desarrolla su labor en el Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-Universidad Pompeu Fabra).

Ha empleado la recuperación de material genético de especies extintas como los moas, una familia extinta de aves, o los mamuts para resolver problemas evolutivos y de poblaciones humanas para reconstruir migraciones del pasado; ha sido pionero en la recuperación de genes nucleares de los neandertales; y ha trabajado en el yacimiento neandertal de El Sidrón (Asturias), del que ha dirigido el estudio paleogenético desde 2004. Ha dirigido la secuenciación del primer genoma mesolítico europeo, procedente del yacimiento de La Braña (León) y del primer genoma neolítico cardial, procedente de Cova Bonica en Vallirana (Barcelona).

Entre sus publicaciones destaca la de la recuperación en neandertales del gen MC1R, asociado al pelo rojo y del gen FOXP2, implicado en el correcto desarrollo del lenguaje y del habla. Así como su participación en la del proyecto genoma neandertal, dirigido por Svante Pääbo y publicada en 2010, en donde se demostraba por primera vez la presencia de ADN neandertal en la especie humana actual, Homo sapiens. Ha publicado diversos libros de divulgación científica, entre ellos *Razas, racismo y diversidad* (ganador del VII Premio Europeo de Divulgación Científica, 2002), *El color sota la pell* (ganador del VII Premi de Comunicació Científica de la Fundació Catalana per a la Recerca, 2003), *Genes de Neandertal* (ganador del Premio Internacional Esteban de Terreros de la FECYT en 2005), *Cuando éramos caníbales* (XVIII Premio Prisma Casa de las Ciencias, 2005) y *Palabras en el tiempo* (Ed. Crítica, 2013). Fue ganador del Premio Ciutat de Barcelona de Investigación Científica 2007.

rectos entre personas actuales y otras que vivieron hace cuatro mil años. Contamos con datos genómicos de 230 europeos que nos llegan desde el Neolítico hasta la Edad del hierro, también alguno del periodo romano y terminará habiendo decenas de miles de genomas de nuestra historia reciente.

### ¿Qué papel han jugado las nuevas tecnologías en sus investigaciones?

Nuestro campo se ha revolucionado con las técnicas de secuenciación masiva que sólo tienen cinco años de antigüedad. Ha pasado de ser un proceso artesanal a convertirse en casi industrial.

### ¿La genómica va a cambiar la Historia?

Sin duda. Cuando los arqueólogos se preguntan si el individuo que están estudiando es local o foráneo, nosotros estamos respondiendo a esa pregunta. Cuando los arqueólogos se preguntan si una determinada cultura representa un movimiento de gente que sale de Iberia y traslada sus costumbres a otro lugar o, simplemente, esos mismos vasos o vasijas se hacían así en ese otro lugar, nosotros lo podemos contestar. Abogo por una visión multidisciplinar del pasado. La genética está respondiendo con datos objetivos a controversias muy largas que parecían irresolubles. ■

ESPAÑA, PIONERA EN LA PUESTA EN MARCHA DEL REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

## LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA, LA CARA OSCURA DE LA LUZ

La gran cantidad de luz artificial que la actividad humana proyecta al cielo nocturno desde la tierra amenaza con eliminar su oscuridad, la esencia de la noche. Ante esta perspectiva, los investigadores advierten de que no se trata de iluminar menos las ciudades, sino de hacerlo de forma más eficiente. Ya no se trata sólo de poder contemplar un cielo estrellado, sobre todo se busca lograr un gran ahorro económico y evitar que el hábitat de los animales nocturnos y migratorios se vea perturbado.

Texto: **ESMERALDA MARDOMINGO**

Fotos: **NASA**

Los cielos españoles aún se conservan relativamente poco contaminados gracias a la baja densidad de población y la gran cantidad de espacios naturales.



Las generaciones actuales tenemos la responsabilidad de legar a las futuras un planeta que no esté dañado por la actividad del ser humano, incluyendo el derecho a un cielo puro". Así lo establece la UNESCO en su Declaración de los Derechos de las Generaciones Futuras. Sin embargo, este patrimonio natural no se está preservando como se debería porque el exceso de luz artificial que los seres humanos envían desde la Tierra está ocasionando que el cielo nocturno ya no sea oscuro.

Este uso de la energía eléctrica en el alumbrado de las ciudades es la causa de una nueva agresión medioambiental, conocida como contaminación lumínica. En términos científicos, este fenómeno se entiende como la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial. Se trata de uno de los problemas ambientales que más ha crecido últimamente. Por ejemplo, en los últimos 15 años, y a pesar de la crisis económica, el consumo de electricidad en alumbrado público en España ha aumentado un 60%, y el coste para las administraciones se ha multiplicado por un 380%. Según datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, estas instalaciones totalizan unos 7.965.000 puntos de luz que, con una potencia media de 165 W y cerca de 4.100 horas de utilización anual, representa un consumo de electricidad de 5.370 GWh/año para el conjunto de España

No obstante, si se compara España con el resto de Europa, los cielos españoles aún se conservan relativamente poco contaminados gracias a la baja densidad de población y la gran cantidad de reservas naturales, montañas y zonas semi-desérticas que existen en el país. "Este buen estado del cielo sólo se

explica por cuestiones demográficas y no por cómo se gestiona este asunto", advierte Alejandro Sánchez de Miguel, coordinador y director científico y técnico del proyecto *Cities at Night* (Ciudades en la Noche), la iniciativa puesta en marcha por el Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Complutense de Madrid para identificar los principales focos de contaminación lumínica y analizar su evolución.

Su objetivo es verificar si las nuevas actuaciones solucionan este problema o, por contra, lo empeoran en todas las facetas de la misma, desde el impacto ambiental o la salud humana, hasta la seguridad vial y ciudadana, pasando por la eficiencia energética. Lo que se busca es ayudar a que los gobiernos y las autoridades locales puedan llevar a cabo actuaciones que permitan reducir esta agresión medioambiental.

### SOLUCIONES

Para resolver la contaminación lumínica se está trabajando en obtener datos más fiables de la cantidad de puntos de luz por habitante y el tipo de espectro, ya que el impacto global de esta agresión medioambiental no depende sólo de la cantidad. De esta forma, la solución pasa por sustituir progresivamente las lámparas de mercurio por las de sodio (de color naranja) así como limitar las horas de encendido de la iluminación de monumentos y fachadas; utilizar farolas con pantallas que eviten la dispersión de luz hacia arriba, evitando aquellos modelos en los que la bombilla sobresalga por debajo de la horizontal; y adecuar los niveles de iluminación a las recomendaciones internacionales vigentes.

En la actualidad, la contaminación lumínica es un problema resuelto técnicamente, pero que requiere de recursos y del control necesario

para aplicar soluciones más eficientes. "Disponemos de la tecnología para emitir luz únicamente en los colores que dañan menos al medio ambiente, sólo en las direcciones que necesitamos y en el momento que lo precisamos. Dependiendo del tipo de instalación que se tuviese y del nivel de tránsito en la vía, se pueden llegar a ahorros entre el 50% y el 95% sin tener ninguna pérdida de prestaciones para los ciudadanos", afirma Sánchez de Miguel.

### REGLAMENTO PIONERO

En España, la principal iniciativa que ha emprendido el Gobierno para combatir la contaminación lumínica es la aprobación y puesta en marcha del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008), que afecta tanto a la nueva instalación de alumbrado como a la reforma de las existentes, y que desarrolla, entre otras, una Instrucción Técnica Complementaria, la EA-03 relativa al resplandor luminoso nocturno y luz intrusa o molesta. El Reglamento prescribe limitar las emisiones luminosas hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado festivo y navideño.

El alumbrado exterior incluye toda instalación de iluminación de titularidad pública o privada cuyo flujo luminoso se proyecta sobre un espacio abierto (carretera, calle, parque, ornamental, etc.) de uso público. En ella es necesario evitar la emisión de luz hacia otros espacios ajenos al objeto de la iluminación y adecuar los niveles de luz a las necesidades reales de este servicio público, consiguiendo, además, una importante reducción del consumo de electricidad.

Desde la Comisión Europea también se está impulsando un pro-

## Los ayuntamientos españoles están actualmente en un proceso de renovación de sus instalaciones de alumbrado consiguiendo una drástica reducción de la contaminación lumínica

ceso de revisión de los criterios de 'compra pública verde' para iluminación exterior y señales de tráfico (EU GPP Criteria for Street Lighting & Traffic Signals), fijando requisitos a los puntos de luz en alumbrado exterior y semáforos mediante criterios de selección, construcción y montaje. Su objetivo es minimizar el impacto ambiental de esta iluminación por su consumo de energía, su generación de contaminación lumínica, su calidad de mantenimiento y/o el residuo producido a la hora de su sustitución. "Entendemos que estos requisitos tendrían un carácter voluntario para ser aplicados por las administraciones públicas de la UE en sus procedimientos de contratación de este tipo de instalaciones. Nuestro reglamento fue pionero en Europa en la regulación de este tipo de instalaciones por

lo que, en un orden de prelación, ya tenemos en España establecido para las administraciones públicas lo que desde la UE se está analizando", explican desde el IDAE.

### INICIATIVAS MUNICIPALES

De este modo, y siguiendo los criterios de ahorro y eficiencia energética, añaden desde el IDAE, "los ayuntamientos españoles están actualmente en un proceso de renovación de sus instalaciones de alumbrado consiguiendo una drástica reducción de la contaminación lumínica". La sustitución de las clásicas luminarias de bola por pantallas que reglamentariamente no pueden emitir luz sobre su hemisferio superior junto a la reducción de los niveles de iluminación están logando esos objetivos.

Son centenares los ayuntamientos reformados bajo estos criterios en España, donde ciudades como Ávila o Soto del Real han dejado de emitir luz hacia el espacio nocturno de forma notable.

A ello se añade la contribución que está efectuando el propio IDAE con su programa de ayudas para la renovación de las instalaciones de alumbrado exterior municipal, con una inversión realizada hasta el momento de 65 millones de euros. Este programa de ayudas tiene su justificación en los avances tecnológicos que se han producido en estos últimos años en las fuentes de luz y en el desarrollo de sistemas electrónicos para la regulación horaria de su flujo en las calles, en función de las necesidades ciudadanas. "Ambas innovaciones, unidas a la publicación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, permiten reducir de forma muy notable los consumos de energía eléctrica de estas instalaciones de alumbrado en nuestros municipios, reformar las luminarias y eliminar un porcentaje muy elevado de contaminación lumínica", explican fuentes del IDAE.

En los más de 250 proyectos de los que el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía tiene información y que han sido ejecutados en España en estos últimos siete años, el ahorro económico medio se sitúa en el 65%, con una horquilla entre el 51 y el 82% según las tecnologías implantadas en la reforma (Vapor de Sodio de Alta Presión o LED).

Por un lado, las nuevas tecnologías de la iluminación producen una importante reducción del consumo eléctrico y de la contaminación lumínica: según las empresas del sector, el LED ya

Los grandes núcleos urbanos son los principales focos de contaminación lumínica.

representa en España el 68% de las ventas para instalaciones de alumbrado exterior, mayoritariamente destinadas a reforma de instalaciones existentes, lo que implica una reducción del consumo, en torno a un 80%.

## CIUDADES EN LA NOCHE

Desde 2010 la iniciativa *Cities at Night*, de la Universidad Complutense de Madrid, trabaja en un proyecto internacional para la elaboración de un mapa nocturno mundial de luz que identifique los lugares en los que se puede ver mejor el cielo y las estrellas, pero también los puntos con más contaminación lumínica. “La principal tarea de los científicos es evaluar el estado actual del problema y monitorizar los cambios. Estos datos científicos deben servir para tomar las decisiones pertinentes. En los casos de regiones poco afectadas, como zonas rurales o de naturaleza salvaje, hay que evitar que la contaminación lumínica crezca para preservar los cielos oscuros y estrellados”, explica Jaime Zamorano, jefe del Grupo de Contaminación Lumínica de *Cities at Night*.

En este proyecto trabaja un equipo de más de 30 personas coordinados con miles de voluntarios que analizan las imágenes que los astronautas toman con sus cámaras digitales desde la Estación Espacial Internacional (EEI). “Los voluntarios inspeccionan las más de 180.000 imágenes que estamos clasificando y nos ayudan a seleccionar las mejores fotografías de ciudades”, explica Sánchez de Miguel. Es preciso ir mirando cada foto para poder sacar partido científico de ella, ya que en ese archivo se encuentran imágenes de estrellas o de ciudades tomadas desde dentro de la es-

## Efectos en la biodiversidad

La contaminación lumínica tiene efectos comprobados sobre la biodiversidad de la flora y la fauna nocturna, que precisa de la oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio. Así, este efecto en el medio ambiente ocasiona desde la desorientación de aves migratorias o la atracción de parásitos, como los mosquitos tigre, y otras especies a las ciudades, hasta la desaparición de especies, por ejemplo las luciérnagas. Sin olvidar el ‘estrés’ en los árboles ubicados en el entorno urbano y la falta de calidad alimenticia en los cultivos.

Respecto a la salud de las personas, uno de los efectos más claros es la alteración del sueño. “Quizás el punto más alarmante, pero que aún está en una fase muy preliminar de investigación, es la codistribución de los casos de cáncer de mama y próstata con la luz detectada en imágenes de satélite y la existencia de un posible mecanismo que pudiera explicar esta relación con la perturbación de los patrones de sueño”, explica Alejandro Sánchez de Miguel, coordinador y director científico y técnico del proyecto *Cities at Night*.

tación espacial. Primero escogen fotografías de población en las que aparecen estrellas. Después identifican los núcleos de población y, por último, superponen las imágenes para construir un mapa de luces de las ciudades.

Para trabajar y captar información, los investigadores de *Cities at Night*, aparte de las instantáneas obtenidas por las cámaras de la Estación Espacial, toman las suyas utilizando vehículos con fotómetros y sistemas GPS, globos estratosféricos con cámaras, y una red de fotómetros fijos y espectrómetros. Estas imágenes se complementan con las procedentes del espacio, ya que su resolución es totalmente diferente. En la tierra son más nítidas, pero no cubren grandes áreas como es posible con las imágenes captadas desde el espacio, aunque éstas den menos información. Al no tratarse de instrumentos científicos convencionales, cuentan con la ayuda del Laboratorio de Instrumenta-

ción Científica Avanzada (LICA) de la UCM para analizar de forma científica toda la información que obtienen con ellos.

Con este método de trabajo van completando el mapa de brillo del cielo nocturno para determinar la contaminación lumínica. “La contaminación lumínica surge del abuso de la iluminación artificial, cuando se ilumina demasiado, a deshora o en lugares que no lo necesitan”, dice Zamorano. Se produce por la mala calidad del alumbrado de nuestras ciudades con farolas mal diseñadas, que envían la luz hacia arriba (en especial la de “tipo globo”), al exceso de potencia, así como a la existencia de horarios inadecuados de iluminación ornamental.

En España se ahorrarían 400 millones de euros cada año si se iluminase mejor, y el gasto innecesario en la factura del alumbrado público se estima en un 50%. ■



© Museo Victoria.

El *Hyorhinomys stuempkei* es una especie de roedor con nariz de cerdo y dientes de vampiro que fue descubierta en 2013 en una isla indonesia.

MEDIANTE RASGOS EXTERNOS, COMPORTAMIENTO O DISTRIBUCIÓN DEL ESPÉCIMEN SE CLASIFICA Y ACEPTA COMO 'NUEVA ESPECIE'

## TODAVÍA QUEDAN MILLONES DE ESPECIES POR DESCUBRIR

Muchas voces siguen advirtiendo de la extinción de especies animales que se está produciendo en los últimos tiempos. Paradójicamente, casi todos los días en algún rincón del planeta se descubren especies desconocidas a las que hay que describir y dotarlas de nombre. Algo fundamental para facilitar a la comunidad científica su reconocimiento, investigación y, por último, aceptación. Un ejemplo llamativo fue el de un español que en 1976 descubrió el mamífero más grande descrito en Europa en la última mitad del siglo XX: el *Leprus catroviejoi*.

Texto: **PABLO ALMERA**

**N**o llegan a dos millones las especies animales descubiertas y descritas, pero, dependiendo de las fuentes que se consulte, se estima que podrían existir, en total, entre seis y nueve millones. Una suma

que se eleva hasta los 500 millones, si se tienen en cuenta a todas las especies ya extintas, es decir, todas las que han poblado el planeta desde que la vida fue posible.

Por tanto, si apenas una cuarta parte de las especies actuales están descritas, no es tan extra-

ño que se sigan descubriendo todo tipo de animales. Desde un roedor con nariz de cerdo y dientes de vampiro (*Hyorhinomys stuempkei*) que vive en una isla de Indonesia, a una piraña vegetariana (*Tometes camunani*) de cincuenta centímetros de largo y cuatro kilos de peso, vista por primera vez en el curso alto de

la cuenca del Río Trombetas, en el Amazonas brasileño.

La lista es extensa y llamativa: un mono que ronronea como un gato (*Callicebus caquetensis*) en Colombia. Una avispa que ‘junta cadáveres’ (*Deuteraenia ossarium*) para proteger y alimentar a sus crías en China. Un mapache (*Bassaricyon neblina*) que sólo vive en los bosque nubosos de Colombia y Ecuador. Una rana en Indonesia (*Limnonectes larvaepartus*) que en vez de poner huevos expulsa a sus renacuajos directamente en el agua. Una araña (*Cebrennus rechenbergi*) en Marruecos que cuando huye lo hace rodando sobre sí misma. O un pequeño pez globo (*Torquigener albomaculosus*) que en los fondos marinos japoneses crea unas estructuras circulares perfectamente simétricas con el único fin de atraer a las hembras.

El planeta sigue repleto de animales sorprendentes esperando recibir un nombre. La biodiversidad faunística es tal, que muchas especies se extinguirán sin haber sido descubiertas, mientras que otras, ya extintas, serán descritas por los investigadores actuales. Así, por ejemplo, en 2014, se hallaron los restos de un pájaro dinosaurio (*Anzu wyliei*) de más de tres metros de longitud y de entre 200 y 300 kilos de peso, mezcla de dinosaurio y ave, con plumas en las extremidades superiores y en la cola, pico de pato y garras, que ponía sus huevos en los nidos que construía en Dakota del Sur (Estados Unidos) hace 66 millones de años.

## PLANTEANDO HIPÓTESIS

Descubrir una especie es describirla, y describirla es plantear una hipótesis; una suposición hecha a partir de unos datos para iniciar una argumentación. Pero ¿cómo se debe plantear esta hipótesis? En el siglo XIX, el auge de la ciencia y la exploración en países no europeos propiciaron el descubrimiento de miles de animales hasta ese momento desconocidos por la comunidad científica. Con tantos investigadores trabajando sobre el terreno y la eclosión de nuevas especies también se produjo una multiplicidad de nombres iguales, o demasiado parecidos, que promovió la creación de un código universal para evitar las sinonimias. Así nació el *Código Internacional de Nomenclatura Zoológica*, cuyo propósito fundamental era, y es, proporcionar la máxima universalidad y continuidad a los nombres científicos de los animales sin que los investigadores pierdan libertad para clasificar los animales según sus criterios taxonómicos.

El uso de este Código permite determinar el nombre válido de cualquier taxon (cada subdivisión de la clasificación biológica) al que pertenezca un animal en cualquier categoría de la jerarquía: especie, género y familia, incluyendo subespecie, subgénero y categorías del nivel familia tales como subfamilia y tribu. Además, funciona como guía para comprobar si el nombre propuesto está disponible. En definitiva, los objetivos de esta guía de nomenclatura

son impulsar la estabilidad y la universalidad de los nombres científicos de los animales y asegurarse de que el nombre de cada taxon es único y diferente, ya que la precisión y la consecuencia en el uso terminológico son esenciales.

De esta manera, el Código, en su artículo primero, define la nomenclatura zoológica como el sistema de nombres científicos que se aplica a las unidades taxonómicas de animales existentes o extintos. También, y a los efectos de este código, el término ‘animales’ se refiere a los metazoos y también a los táxones protistas (constituídos por una sola célula eucarionte) cuando los autores los tratan como animales a efectos nomenclaturales. El Código, con más de 180 páginas, permite a los zoólogos cimentar sus descubrimientos en base a unos criterios de publicación universales.

### De ejemplo, lo que ‘esconde’ el león

- Reino: Animalia
- Filo: Chordata
- Subfilo: Veterebrata
- Clase: Mammalia
- Subclase: Theria
- Infraclasse: Placentalia
- Orden: Carnivora
- Suborden: Feliformia
- Familia: Felinae
- Subfamilia: Pantherinae
- Género: Panthera Leo
- Especie: Panthera

## La biodiversidad es tal que muchas especies se extinguirán sin haber sido descubiertas, mientras que otras, ya extintas, serán descritas por los investigadores actuales

### CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

Las clasificaciones de los seres vivos son jerárquicas. La base es la especie. Las especies relacionadas se agrupan en géneros. Los géneros se agrupan en familias. Las familias, en órdenes. Los órdenes, en clases. Las clases, en tipos o filos. Los filos, en reinos. Y los reinos, en dominios.

Se considera especie a un grupo de poblaciones naturales cuyos

miembros pueden cruzarse entre sí, pero no pueden hacerlo (o al menos habitualmente) con los miembros de poblaciones pertenecientes a otras especies, por eso tienen una gran similitud genética. Dos especies se consideran del mismo género si poseen un antepasado común cercano en el tiempo diferente al de otras especies.

La taxonomía clasifica a los seres vivos fijándose en sus parecidos y sus diferencias, de modo que la distinción entre dos grupos es

un resumen de esos parecidos y esas diferencias.

Los investigadores se sirven, entre otras muchas ciencias, de la biometría, que mide los parámetros de un ser vivo como el peso, longitud total o longitudes de algunas partes (ala, dedos, anchura de las hojas...), de la etología, la ciencia que estudia el comportamiento animal, o de la biogeografía, que estudia la distribución de los seres vivos en la Tierra.

Con los últimos avances tecnológicos –los análisis genéticos, principalmente– la taxonomía se encuentra en una encrucijada empírica y metodológica. Por este motivo, y de cara a desarrollar una base científica más completa, en 2007, el entomólogo estadounidense Quentin D. Wheeler fundó el Instituto Internacional para la Exploración de Especies (IISE, en sus siglas en inglés) con la intención de verificar la familia, orden, sub orden y así sucesivamente de cada planta o animal que se descubre. En palabras del propio Wheeler, “la ciber-taxonomía o e-taxonomy, o web based-taxonomy es una manera de integrar herramientas electrónicas estandarizadas, de la ciberinfraestructura, de la informática y de la ingeniería informática a la taxonomía tradicional”.

### IBERIA Y ALREDEDORES

En España, José Fernández, especialista adscrito al Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva del Museo Nacional de Ciencias Naturales, y centrado en el *Proyecto Fauna Ibérica*, hace una laboriosa relación anual de nuevos táxones descritos para la ciencia en el ámbito íbero-balear y macaro-



La liebre de pisorral, que habita fundamentalmente en el área de la cordillera Cantábrica, es el mamífero más grande descrito en la segunda mitad del siglo XX en toda Europa.

© Rubén Portas

nésico, es decir, en la península Ibérica, las islas Baleares, Canarias, Madeira, Azores, Cabo Verde, Salvajes y aguas adyacentes a dichos enclaves. En la última relación, la de 2014, aparecen 327 táxones, entre descubrimientos y nuevas clasificaciones. Destacan por cantidad los moluscos y los escarabajos, 74 y 54 táxones, respectivamente.

Como señala Fernández, los investigadores trabajan sobre una amplia base de conocimiento morfológico. “Si ven un ejemplar que les llama la atención –ya sea sobre el terreno o en las colecciones de los museos–, en el que observan algo diferente, intentan conseguir toda la información necesaria para certificar que escapa al rango de variabilidad de la especie”. Una vez apuntaladas las diferencias, el paso siguiente es redactar un trabajo y publicarlo en una revista científica. Que la nueva especie sea aceptada como tal es una cuestión de tiempo. “Tras la publicación, otros investigadores estudiarán el caso e irán corroborando o refutando la hipótesis”, asegura Fernández. Lo



© M.A. Peña

Actualmente se trabaja para conseguir el reconocimiento como especie del pinzón azul de Gran Canaria.

más complicado a estas alturas es descubrir/describir un mamífero, pero hay excepciones.

### HISTORIA DE UN DESCUBRIMIENTO

“La descripción de una nueva especie no llega por casualidad; es necesaria una cualificación para reconocer si un material que encuentras, en su hábitat o en una colección, presenta alguna peculiaridad que lo diferencia de lo ya conocido”, afirma Fernando Palacios, científico titular del CSIC adscrito al Departamento de Biodiversidad y Biología Evolu-

tiva del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Desde el primer curso de carrera, este especialista coincidió con los reputados naturalistas Jesús Garzón y los hermanos Castroviejo, Francisco y Santiago, y aprendió a ‘preparar’ animales para colecciones. “Los preparábamos rellenos o en cartón e, irremediamente, los estudiabas, pues tras limpiar el esqueleto y la dentición podías comprender su morfología”, recuerda.

Y precisamente fue Francisco Castroviejo quien recomendó a Fernando Palacios que hiciera su tesis doctoral sobre la sistemática y taxonomía de las liebres en la península Ibérica, para lo que le pasó un par de ejemplares de la sierra de Ancares. Dichos especímenes llamaron poderosamente la atención de Palacios: “Tenían las patas más largas que la liebre Ibérica y un diseño facial con un blanco que les cruzaba desde la barbilla hasta la orejas que las hacía diferente... Yo estaba ‘enamorado’ de aquellas dos liebres, pero, en ese momento, no era capaz de interpretar la diferencia”.

En 1971, comenzó a recoger especímenes para su tesis. En poco tiempo, se dio cuenta de que la variabilidad que tanto llamaba su atención se daba en el norte, en

### En busca de un nombre

*“Como toda lengua, la nomenclatura zoológica refleja la historia de los que la han producido y es el resultado de prácticas variables y contradictorias. Algunos de nuestros usos nomenclaturales son el resultado de la ignorancia, de la vanidad, de la insistencia obstinada en seguir predilecciones individuales, muchos, como los del lenguaje en general, de las costumbres, los orgullos y los prejuicios nacionales.*

*Los lenguajes comunes crecen espontáneamente en innumerables direcciones, pero la nomenclatura biológica tiene que ser una herramienta exacta que transmitirá un significado preciso a las personas de todas las generaciones”.*

James Chester Bradley, entomólogo norteamericano, en el Prefacio del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica de 1961.

## *Lepus catroviejo* o liebre de piornal

Presenta un tamaño intermedio entre el de la liebre ibérica (*Lepus granatensis*) y el de la europea (*Lepus europaeus*). El color del pelaje es pardo amarillento, con una mayor extensión de la zona blanca ventral que en la liebre europea, llegando en ocasiones a las extremidades anteriores, aunque no de forma tan extensa como en la liebre ibérica. El contraste entre el color del dorso y del vientre es nítido, a diferencia de la transición difuminada existente en la liebre europea. Muestra una franja clara distintiva en la cara, entre los ojos y la parte inferior de las mejillas. Se trata de un endemismo ibérico cuya área de distribución se encuentra restringida a la cordillera Cantábrica, donde habita un área de 230 km de longitud y de 25 a 40 km de anchura, desde la Sierra de los Ancares, entre Lugo y León, hasta la Sierra de Peña Labra, entre Cantabria y Palencia.

zonas de montaña. “En la cordillera Cantábrica dejaba bidones con formol y algunos guardas de las reservas metían en ellos las pieles y los cráneos de las liebres que se mataban”, afirma Palacios. En 1973, recogió las primeras liebres que coincidían con las que él guardaba. En 1975, ya contaba con una veintena de ejemplares recogidos entre Reinosa y la sierra de Ancares. Había tomado la decisión de elaborar una publicación describiendo la nueva especie.

“Me daba pavor equivocarme, me quitaba el sueño y me lo pensé muchísimo... Por otro lado, la satisfacción que te produce haber encontrado algo que no ha encontrado nadie, saber algo que no sabe nadie más, es increíble”.

Y no, no se equivocó. La liebre de piornal se convirtió en el mamífero más grande descrito en la segunda mitad del siglo XX en toda Europa.

El artículo se editó en 1976, e inmediatamente enviaron a España a un investigador alemán a recolectar material y tratar de contrastar si la especie era ‘buena o mala’.

Algunos investigadores alemanes de la época parecían empeñados en desacreditar el descubrimiento. Palacios no dudó en viajar hasta Helsinki donde se celebraba un congreso. En su Citroën 2 CV cargó seis ejemplares de cada especie de liebre –la europea, la ibérica y la suya– que expuso en el momento de defender su comunicación. El revuelo estaba servido en torno a los cráneos y pieles aportadas por el español: unos decían que sí, otros, que no, muchos dudaban, pero, al final, todos hubieron de rendirse a la evidencia. Los estudios se sucedieron y diecisiete años después, en 1993, la *Lepus catroviejo*, la liebre de piornal, apareció como tal en la primera edición de *Especies de mamíferos*, editada por

el Museo de Historia Natural de Estados Unidos.

## MÁS PROTECCIÓN

Si es difícil, en muchos casos, que la comunidad científica acepte la descripción de una nueva especie, no lo es menos conseguir una nueva clasificación de una ya descrita. Es el caso del pinzón azul de Gran Canaria (*Fringilla teydea polatzeki*), una especie descrita en 1905, sobre la que Felipe Rodríguez Godoy, técnico del Servicio de Biodiversidad del Gobierno de Canarias e investigador independiente, trabaja para conseguir una denominación taxonómica más precisa. Clasificado como subespecie (*Fringilla teydea polatzeki*), los nuevos estudios aconsejan que se considere como especie (*Fringilla polatzeki*).

“El estado de la población de Gran Canaria de *Fringilla polatzeki teydea* no se ha reevaluado desde 1900 cuando este taxon fue descrito como una subespecie”, apunta Rodríguez. El investigador afirma que “se puede discriminar por los cantos de ambos taxones, que son diferentes. Así como por el plumaje y por su morfología”. También, asegura, ha quedado cotejado con estudios de ADN mitocondrial. El objetivo es que el pinzón azul de Gran Canaria, con la nueva clasificación, sea considerado en peligro crítico; máxime, si se tiene en cuenta que la zona en donde vive en estado salvaje no ocupa más de 20 kilómetros cuadrados.

Lo que a simple vista pudiera parecer una discusión académica es muy importante y, además, urgente: la conservación de animales en peligro de extinción a menudo depende de que su denominación taxonómica sea lo más meticulosa posible. ■



Piraña vegetariana descubierta en el Amazonas brasileño.

## SIMULACRO DE INCENDIO EN LAS TRAVIESAS



© Infoca

Dentro del Plan Infoca, se ha realizado un simulacro de incendio forestal en el monte Las Traviesas (Hornachuelos) para poner a prueba la operatividad de los medios intervinientes.

**Pág. 48**

## CELEBRADO EL I ENCUENTRO DE CREACIÓN AUDIOVISUAL DE CORTOS

El Colectivo Brumaria, formado, en su mayoría, por docentes del IES Lope de Vega de Fuente Obejuna, celebró el pasado mes de mayo el I Encuentro Educativo de Creación Audiovisual FOCO (Fuente Obejuna de cortos) con el objeto de difundir la cultura audiovisual como instrumento educativo y socializador entre los jóvenes creativos.

**Pág. 48**

## HOMENAJE A LA MUJER TRABAJADORA



© Ayuntamiento de Alanís

El Ayuntamiento de Alanís ha rendido tributo a las mujeres trabajadoras reconociendo la lucha de una de sus convecinas, Carmen Muñoz García. Una mujer con una amplia trayectoria de dedicación y esfuerzo.

**Pág. 49**

# SIERRA ALBARRANA

## El Cabril y su entorno



© Junta de Andalucía

## USO Y CONSERVACIÓN DEL ECOSISTEMA MEDITERRÁNEO

Con más de 60.000 hectáreas y situado al oeste de la provincia de Córdoba se halla el Parque Natural Sierra de Hornachuelos, declarado como tal en 1989. Se trata de uno de los ecosistemas de bosque mediterráneo mejor conservados de la Península y cuenta con una gran diversidad en flora (encinas, alcornoques, álamos, sauces o fresnos) y fauna (buitres, águilas, nutrias, ciervos o lince). Conservar todo ese patrimonio natural y hacerlo compatible con los usos ganaderos, agrícolas o turísticos es el objetivo de quienes lo gestionan.

**Pág. 44**



El parque de Hornachuelos preserva toda la riqueza de la vegetación del bosque mediterráneo.

© Aquilino Perales Ranchal

RETOS PARA EL PARQUE NATURAL SIERRA DE HORNACHUELOS

## USO Y CONSERVACIÓN DE UN ECOSISTEMA MEDITERRÁNEO

Con más de 60.000 hectáreas y situado al oeste de la provincia de Córdoba se halla el Parque Natural Sierra de Hornachuelos, declarado como tal en 1989. Se trata de uno de los ecosistemas de bosque mediterráneo mejor conservados de la Península y cuenta con una gran diversidad en flora (encinas, alcornoques, álamos, sauces o fresnos) y fauna (buitres, águilas, nutrias, ciervos o lince). Conservar todo ese patrimonio natural y hacerlo compatible con los usos ganaderos, agrícolas o turísticos es el objetivo de quienes lo gestionan.

Texto: **BRUNO DÍAZ**

Las formaciones arboladas de quercíneas o el matorral mediterráneo se han conservado perfectamente en la Sierra de Hornachuelos y en casi toda la Sierra Morena. Un espacio que apenas ha sido alterado o transformado por la actividad humana y algo que, por tanto, ha permitido que la vegetación del bosque mediterráneo se haya mantenido y desarrollado. Al igual que la vegetación de ribera que nace allí donde se halle el curso de un río: alisos, almeces, fresnos...

Esto es lo que hace tan especial al Parque Natural de Hornachuelos y uno de los grandes retos a los que deben hacer frente en el futuro los gestores de este enclave. "Hay que seguir compatibilizando

los usos y aprovechamiento con la conservación de los recursos naturales, especies y hábitats. En este sentido, los usos tradicionales en la zona, como son los ganaderos, cinegéticos, forestales, apícolas, etc., han sido perfectamente compatibles con los valores naturales, y suponen una importante fuente de recursos para los municipios del entorno”, explica Francisco de Paula Algar Torres, delegado territorial de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.

Tanto es así que, en los últimos años, el desarrollo de actividades de uso público, deportivas, y de esparcimiento en general, está aumentando en el Parque Natural. Nuevas posibilidades, desde el punto de vista empresarial, asociadas al ocio y turismo en espacios naturales, que requieren que se realicen con especial cuidado a la hora de mantener esos valores que han hecho posible la declaración como espacio protegido.

## PLANES E IMPLICACIÓN

En este contexto, los gestores del Parque Natural de Hornachuelos

## Actividades en las dehesas de Sierra Morena

En el Parque Natural de Hornachuelos y en los Parques Naturales de Sierra Norte (Sevilla) y Sierra de Aracena (Huelva) -que conjuntamente conforman la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena-, se ponen en marcha desde la Consejería de Medio Ambiente campañas dirigidas a fomentar actividades de ocio o turismo en el Parque y en los municipios de su entorno. Para el delegado de Medio Ambiente, es importante realizar este tipo de encuentros: “Se desarrollan actividades de educación ambiental, en las que los visitantes pueden conocer los valores del espacio y sobre los aprovechamientos que se llevan a cabo, como la apicultura, ganadería, etc. A esta iniciativa se suman empresas de turismo activo de la zona, que gestionan estas actividades interpretadas por guías de la zona”.

tienen ya dibujadas una serie de actuaciones a emprender a corto o largo plazo: “Queremos fomentar el conocimiento de la existencia de este ecosistema entre los ciudadanos u otros agentes sociales, proteger su diversidad biológica e incrementar su riqueza. A medio plazo, y con objeto de impulsar el conocimiento por parte de los ciudadanos de este Parque y sus características y valores, se está trabajando en aumentar la oferta de uso público destinado a los visitantes, habilitando nuevas rutas y posibilidades de ocio”, comenta Algar Torres.

Para fomentar su diversidad biológica, en el Parque se llevan a cabo desde hace años diferentes Programas de Conservación promovidos por la Consejería de Medio Ambiente, que tienen como objetivo seguir favoreciendo la presencia de especies de alto valor ecológico asociadas a ecosistemas bien conservados, como son la comunidad de necrófagas, el águila imperial o el lobo.

Implicar a todos –voluntarios, ciudadanos, empresarios e instituciones– en la conservación del patrimonio natural es clave en el futuro de parques como el de Hornachuelos. “Se trata de una tarea de todos, y para conseguirlo es necesario fomentar la educación ambiental de forma que los ciudadanos conozcan y valoren la riqueza ambiental de estos territorios, que es sin duda, la mejor forma de ayudar en su conservación”, afirma el delegado territorial de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, quien avanza la puesta en marcha de una campaña de educación ambiental entre los escolares de los municipios del entorno del Parque Natural de Hornachuelos “para que conozcan y comprendan la importancia de los ecosistemas con los que cuentan en su localidad, y aprendan a respetarlos y valorarlos como tales”. ■



© Junta de Andalucía

Con objeto de fomentar el conocimiento del Parque Natural de Hornachuelos, y sus características y valores, se está habilitando nuevas rutas y posibilidades de ocio.

CERÁMICA MUDÉJAR EXTREMEÑA, SIGUIENDO LA TRADICIÓN DE GENERACIÓN EN GENERACIÓN

# CÓMO TRABAJAR LA ARCILLA DE FORMA ARTESANAL

Las piezas cerámicas aplicadas a la arquitectura en exteriores o interiores como revestimiento aislante o elemento decorativo fue una de las actividades más fecundas de los artesanos mudéjares y cuyo precedente se encuentra en la arquitectura almohade, en la torre de la Kutubiya de Marrakech (1199). En la actualidad, una empresa ubicada en Campiña Sur, entre Azuaga y Llerena, se dedica a la fabricación de este tipo de cerámica siguiendo procesos artesanales.

Texto: **RICARDO TAPIA**

Fotos: **CME**



Algunos ejemplos de la cerámica mudéjar.



**D**esde 1892, su familia se había dedicado en tierras extremeñas a la fabricación de suelos de barro, un negocio familiar en el que Joaquín Llanos también, por supuesto, se vió completamente implicado desde muy joven. Un saber hacer y una actitud emprendedora que le llevaron, en el año 2003, a fundar su propia empresa: Cerámica Mudéjar Extremeña, ubicada en el Polígono Industrial Berlanga, a medio camino entre Azuaga y Llerema.

“En aquel momento había un nicho en el mercado que estaba sin cubrir. Una gran cantidad de empresas y particulares buscaban un producto que nadie ofrecía y que yo sabía hacer, cerámica mudéjar elaborada de forma artesanal y realizada a medida, en función de cada proyecto que se solicita”, dice Llanos.

En su empresa no se produce en serie, el material se fabrica a mano. Una labor que le ha valido el reconocimiento de la administración extremeña por –aunque parezca una contradicción– su carácter innovador. Al fin y al cabo, puede que las técnicas que empleen procedan de hace cientos y cientos de años, pero es una pequeña revolución en el sector, toda una ‘vieja novedad’.

“Somos de las pocas empresas en España, y en Europa, que llevamos a cabo el proceso de forma artesanal. Somos capaces de fabricar piezas muy especiales de incluso de hasta dos metros. Una cerámica que se personaliza en función de lo que pide el cliente. Hacemos los diseños a escala, hasta dar con lo que busca”, defiende Llanos.

### PROCESO DE PRODUCCIÓN

Para controlar totalmente el proceso, Cerámica Mudéjar Extremeña dispone de unas modernas instalaciones donde mezclar las arcillas en función de las diferentes piezas que fabrica. Molinos para moler la tierra, amasadoras, sistemas de control de pesaje de las arcillas y hornos automáticos con los que llevan a cabo las curvas de cocción que desean, ya que, al igual que es importante la calidad del material, también lo es que la arcilla esté muy bien cocida.

“Una vez que está molida y el barro hecho en la amasadora, se sacan y, a partir de ese momento, todo el proceso se realiza a mano. Antiguamente, mi abuelo y mi padre realizaban esa primera tarea con los pies, de forma similar a como se pisaban las uvas para obtener vino. Llevar a cabo esta parte de manera industrial

nos permite hacer piezas con grandes dimensiones”, matiza el gerente de la empresa.

Su respeto por el medioambiente es también otra de sus señas de identidad. Sus hornos tradicionales se calientan por biomasa a partir de materia orgánica, proceso en el que no se genera contaminación nueva, ya que el anhídrido carbónico que desprende ha sido absorbido previamente de las plantas. La calidad de sus trabajos les ha llevado a recibir encargos de Estados Unidos, Portugal o de Inglaterra y actualmente están trabajando en una obra para Armenia.

### EL REMATE

Con los suelos de cerámica terminados, se encargan in situ de tratarlos y limpiarlos para que el acabado sea excelente. Joaquín Llanos lo considera la guinda de su trabajo. Un trabajo al que hay que dedicar muchas horas y que requiere recorrer en ocasiones más de 2.000 kilómetros semanales para buscar nuevos clientes o supervisar trabajos en marcha. Cuando se le pregunta a Llanos sobre lo que dirían sus antepasados en relación a su trabajo y su oficio, no lo duda en absoluto: “Eso es lo que hay que hacer, no dejar de luchar”. ■



Una vez moldeadas y cocidas las piezas se esmaltan con el dibujo y colores que se solicitan.

## HORNACHUELOS

## SIMULACRO DE INCENDIO FORESTAL EN LAS TRAVIESAS



Desde el Puesto de Mando Avanzado se dirigieron las operaciones de extinción del incendio durante el simulacro

El dispositivo para la prevención y extinción de incendios forestales de Andalucía, el Plan Infoca, ha realizado un simulacro de incendio forestal en el monte Las Traviesas (Hornachuelos). Con este ejercicio, declarado de nivel 0 de emergencia, que sólo afecta a la masa forestal, se puso a prueba la operatividad

Bomberos del Consorcio de Diputación, Guardia Civil y la Unidad de Policía Adscrita a la Junta. Este ejercicio se desarrolló en un área de 2.000 hectáreas lindante al terreno donde se encuentra el almacén de residuos de El Cabril, cuyo personal técnico también participó como observador. ■

de los medios intervinientes. Para dirigir las operaciones se desplegó el Puesto de Mando Avanzado (PMA), integrado por Infoca, 112 Andalucía, Grupo de Emergencias de Andalucía (GREA),

## LA DIPUTACIÓN DESTINA MÁS DE 50.000 EUROS A LA MEJORA DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN HORNACHUELOS

La Diputación de Córdoba ha invertido en Hornachuelos y sus aldeas cerca de 51.500 euros. En Hornachuelos, en el camino de San Bernardo gracias al Plan Provincial de Eliminación de Barreras Arquitectónicas 2015 para mejorar su seguridad vial, con 13.448 euros. En Bembézar y Mesas del Guadalora, se ha sustituido tramos de colectores municipales, con el Plan Provincial de Inversiones en municipios con núcleos de población distintos al principal 2015 y una partida de 37.986 euros. ■

## FUENTE OBEJUNA

## CELEBRADO EL I ENCUENTRO DE CREACIÓN AUDIOVISUAL FOCO



Cartel anunciador del encuentro audiovisual.

El Colectivo Brumaria, formado, en su mayoría, por docentes del

I.E.S. Lope de Vega de Fuente Ovejuna, celebró recientemente el I Encuentro Educativo de Creación Audiovisual FOCO (Fuente Ovejuna de cortos) con el objeto de difundir y fomentar la cultura audiovisual como instrumento educativo y socializador. Dirigido a jóvenes matriculados en centros de Enseñanza Secundaria en Andalucía, los cortometrajes presentados pertenecían a las categorías de Ficción y animación, microdocumentales, artes en movimiento (artes escénicas) y anuncios publicitarios, relacionados con la vida saludable, educación ambiental, educación para la paz, derechos humanos, etc. ■

## 'FUENTE OVEJUNA' DE NUEVO REPRESENTADA POR LOS VECINOS

Cuando se cumplen 540 años del levantamiento de la villa de Fuente Ovejuna contra el comendador Fernán Gómez de Guzmán, el Ayuntamiento de la localidad vuelve a poner en marcha la representación protagonizada por los vecinos. Del 16 al 21 de agosto, 250 actores y figurantes darán vida a la obra de Lope de Vega en la plaza central. Los vecinos también se encargarán de la escenografía, confección de vestuario y atrezzo. Este año, la dirección y adaptación corresponderá a dos vecinos: Ángel Luis Martín y Manuel Gahete. El compositor local José M. Hierro, firma la música, que interpretará la escuela municipal de música con la dirección de Salvador Balaguerer. ■

## AZUAGA

## SE ABRIRÁN COMEDORES ESCOLARES DE VERANO

Del 27 de junio al 2 de septiembre 1.080 niños en riesgo de exclusión social, entre los 5 y 12 años, se beneficiarán del programa Espacios

Educativos Saludables, 2016, que supondrá la apertura de los comedores escolares. Este programa se desarrollará en 34 municipios, entre

ellos Azuaga. 122 monitores, 10 terapeutas ocupacionales, y 250 voluntarios de la Cruz Roja dirigirán las actividades lúdicas y educativas. ■

## ALANÍS

## EDITADA UNA GUÍA SOBRE LA HUELLA DE CERVANTES



Portada de la guía de Cervantes en Sevilla.

En una guía recientemente editada por la Diputación de Sevilla

(Prodetur) y que recorre la huella que dejó Miguel de Cervantes en la provincia entre 1587 y 1593 -época en la que ejerció de recaudador para la Armada- se incluye mención a Alanís de la Sierra, como uno de los pueblos que recorrió o que mencionó Cervantes en sus obras. De Alanís de la Sierra, el escritor alabó los vinos y licores manufacturados en este pueblo en 'El licenciado vidriera'. La guía se puede descargar gratuitamente en [www.turismosevilla.org](http://www.turismosevilla.org) ■

## PREMIADO EL VINO MIRLO BLANCO

El caldo elaborado por las Bodegas Tierra Savia ubicadas en Alanís, Mirlo Blanco, ha recibido el I Premio Vinos de la Provincia de Sevilla como mejor vino blanco. Un galardón que convocará anualmente la Diputación de Sevilla con la finalidad de difundir y propiciar un mayor conocimiento



El mejor vino blanco (primero por la derecha), de las Bodegas Tierra Savia.

de los vinos que se producen en esta provincia y de promocionar la 'cultura del vino' como experiencia turística. El jurado de estos galardones ha estado integrado por sumilleres, críticos gastronómicos

y periodistas especializados. Por su parte, la Diputación adquirirá 1.500 litros de cada uno de los vinos ganadores para utilizarlos en acciones promocionales, catas o degustaciones. ■

## PEÑARROYA —PUEBLO NUEVO

## UN PLAN DIRECTOR PARA CENTROS DE INICIATIVA EMPRESARIAL

Los ocho centros de iniciativa empresarial (CIE) con que cuenta la provincia de Córdoba -incluido el de titularidad municipal de Peñarroya- contarán con un plan director que regulará su funcionamiento y promoverá, a través de ellos, un modelo productivo de crecimiento basado en el conocimiento y la innovación. El objetivo es impulsar esta red de centros para configurarlos como instrumentos que fomenten la creación de nuevas empresas innovadoras y consoliden las ya existentes haciéndolas más competitivas. ■

## HOMENAJE A LA MUJER TRABAJADORA

El Ayuntamiento de Alanís ha rendido tributo a las mujeres trabajadoras reconociendo la lucha de una de sus vecinas, Carmen Muñoz García. Una mujer que quedó huérfana, enviudó, y que cosió medias, ejerció de asistenta doméstica, blanqueó las paredes de viviendas o trabajó en el establecimiento de un familiar para sacar adelante a sus tres hijos; y que hoy, con 82 años, sigue manteniéndose en actividad. Esta trayectoria de dedicación y esfuerzo es la que ha llevado al Consistorio a reconocer su labor y la de tantas mujeres anónimas en un acto público y una exposición en el Día de la Mujer Trabajadora. ■

## LAS NAVAS DE LA CONCEPCIÓN

## PROGRAMAS EMPLE@ JOVEN Y EMPLE@30+

El Ayuntamiento de Navas de la Concepción ya ha publicado los requisitos para que vecinos de la localidad puedan acceder a ocupaciones, formación o líneas de ayuda que la Junta de Andalucía ofrece a través de los programas Emple@joven y Emple@30+. Dos iniciativas cuyo objetivo es dar respuesta a las necesidades urgentes de empleo de la población más joven o la de los mayores de treinta que tienen dificultades para acceder a un empleo.

Los requisitos básicos para acceder a estos planes son, en el caso de los jóvenes, estar dado de alta como demandante de empleo y estar inscrito en el Sistema Nacional de Garantía Juvenil, un sistema al que para acceder hay que estar empadronado en España, tener la nacionalidad española o alguna de la Unión Europea o, entre otras cuestiones, no haber recibido acciones educativas o formativas de más de 40 horas mensuales en los meses anteriores. Para los mayores de 30 años, lo único que se le solicita es ser demandante de empleo. ■

LA TELEDETECCIÓN SE BASA EN CONVERTIR  
TODO TIPO DE ESTÍMULOS FÍSICOS EN INFORMACIÓN

## EXCAVACIONES ARQUEOLÓGICAS ‘A DISTANCIA’

Con la posibilidad de observar desde el espacio exterior o a ras de suelo, sin necesidad de excavar, los arqueólogos disponen de unos maravillosos aliados tecnológicos para dar con civilizaciones perdidas, descubrir excepcionales monumentos o hallar valiosas herramientas de uso cotidiano que quedaron enterradas hace miles y miles de años. Las imágenes de altísima resolución captadas por los satélites y la información que se obtiene con la prospección geofísica, capaz de descubrir anomalías bajo la superficie, abren una nueva puerta a la arqueología.

Texto: **PAZ ALEGRÍA GARCÍA**



Gracias a la teledetección arqueológica se han encontrado edificios enterrados como el gran templo de Atón en Egipto, a pesar de estar bajo un cementerio moderno.

**E**l séptimo arte no siempre ha retratado con exactitud la labor de los arqueólogos, y menos en la actualidad. Para convertirse en un intrépido Indiana Jones ya no es necesario moverse del despacho. Encontrar una ciudad perdida en medio de la selva, descubrir una nueva pirámide bajo las cálidas dunas del desierto o escondida en las profundidades del mar está casi al alcance de cualquier investigador que tenga acceso a internet. Y es que la tecnología actual permite teledetectar yacimientos arqueológicos a cientos de kilómetros de distancia y explorarlos bajo la superficie terrestre o acuática sin mover un gramo de tierra.

¿Cómo? “La teledetección se logra a través de sensores que reciben estímulos físicos y los convierten en información. Distinguimos entre la teledetección desde las alturas a través de satélites o fotografías aéreas, y la teledetección que se hace desde la superficie de la tierra para la prospección de lo que esconde el suelo, que es algo semejante a una radiografía que nos permite ver lo que hay bajo la tierra”, explica Juan Manuel Vicent García, miembro del grupo de Investigación De Prehistoria Social y Económica del Instituto de Historia del Laboratorio de Arqueología del Paisaje y Teledetección (CSIC).

## **SOBRE HOMBROS DE GIGANTES**

La teledetección arqueológica, que permite encontrar ciudades enterradas o valiosos objetos, avanza exponencialmente a como lo hace la tecnología. “Cuando comenzamos a usar esta tecnología, los sa-

télites ofrecían una resolución de apenas unos treinta metros, pero ahora pueden ‘acercarse’ hasta a medio metro. Los satélites militares son capaces de ver detalles como pueden ser los galones de un oficial”, comenta Vicent, quien hace hincapié en los cambios: “Mi primer ordenador de trabajo tenía menos potencia de cálculo que un teléfono móvil. Incluso la nave espacial Apolo I tenía menos capacidad que una videoconsola actual. Esto es la ciencia. Nosotros nos subimos sobre hombros de gigantes. Cada generación de científicos se sube en los hombros de la Ciencia y así puede ver el horizonte”.

La historia de la teledetección comenzó en la Primera Guerra Mundial con las fotografías que los pilotos de los aviones hicieron para las batallas y que los arqueólogos supieron mirar después con otros ojos. Las ruinas en el desierto de Nazca, en Perú, que está cubierto de formas antropomórficas y de animales sólo visibles desde las alturas, son algunos de los primeros resultados que obtuvo la teledetección aérea.

El gran paso de gigante se dio en el verano de 1972 gracias al primer satélite civil dotado de sensores de teledetección multispectral de alta resolución que Estados Unidos situó a 705 kilómetros de altura en la misión Landsat, destinada a lanzar satélites para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. “En la actualidad, procesamos la información a gran escala. Lo que ahora conseguimos al procesar una imagen antes nos suponía recorrer la zona durante semanas”, dice Vicent.

Desde aquellos primeros satélites, las imágenes han mejorado y sirven a los arqueólogos para

detectar yacimientos cada vez con más detalle y también para poder analizar la impronta evolutiva del ser humano en el planeta. La teledetección ha cambiado radicalmente la arqueología y hace posible cartografiar también los paisajes culturales. “A través de los satélites se puede realizar un estudio constante y metódico de la totalidad de los restos que, juntos, generan una imagen con la suma de los distintos avatares de la historia humana, que no siempre tiene que ver con los grandes monumentos. Las imágenes que los satélites captan permiten ver las grandes cosas y acercarnos a lo más pequeño. La historia se ve casi siempre en los avatares de las cosas más pequeñas”, añade Vicent, cuya investigación ha sido clave en yacimientos como el de Oremburgo, en los Urales (Rusia), uno de los más importantes del Este de Europa. Gracias a la teledetección pudieron analizar la vegetación y reconstruir el paisaje del pasado. “Además, como resultado de aplicar la tecnología, podemos penetrar el interior de los objetos, saber de qué están compuestos, su procedencia, la ruta de comercio que han seguido, etc.”, explica el investigador del CSIC.

Mediante el análisis de fotografías tomadas desde el espacio, un equipo de investigadores de la Universidad de Leicester han descubierto en el suroeste de Libia vestigios de la importante cultura de los Garamantes, que existió desde el siglo VI a. de C. al siglo VIII de nuestra era. Las imágenes por satélite han permitido cubrir una amplia superficie del desierto libio en la que se han hallado 158 antiguos asentamientos, formados por grandas, aldeas y ciudades fortificadas de esta civilización pionera en establecer oasis y abrir rutas de comercio en el Sahara.

## Desde los primeros satélites, las imágenes han mejorado y sirven a los arqueólogos para detectar yacimientos cada vez con más detalle y para analizar la impronta evolutiva del ser humano en el planeta

### TELEPROSPECCIÓN POR SENSORES

Hay muchos tipos de teleprospección y la primera gran división surge en función del tipo de sensores que se empleen, ya sean activos o pasivos; en leer la información que ‘envían’ los yacimientos u objetos o en emitir información para ‘entrar’ en la composición de los objetos. Los sensores pasivos reciben la radiación reflejada por los objetos de modo semejante a una cámara fotográfica o, incluso, al ojo que lee e interpreta la información que emite cada objeto. Por el contrario, cuando los sensores trabajan de forma activa, emiten y después interpretan. “El sensor aporta el estímulo necesario para

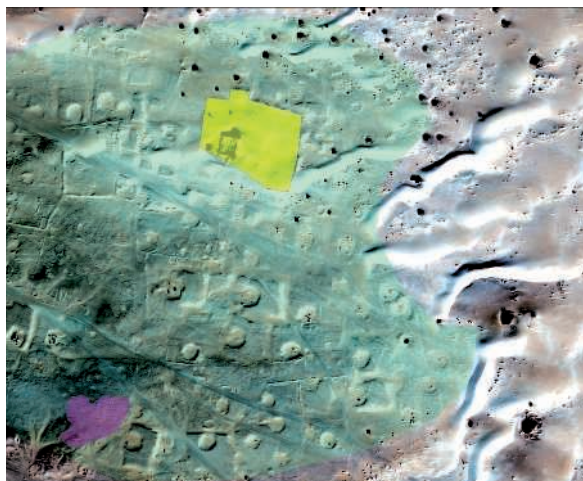
verificar la información”, matiza Vicent.

Y es que, en tecnología aplicada a la teledetección bien podría aplicarse el aforismo de ‘tanto es arriba como es abajo’. De hecho, la misma tecnología de la teledetección basada en sensores se aplica sobre la superficie de la tierra para descubrir los tesoros que ésta esconde o, incluso, sobre una pintura rupestre.

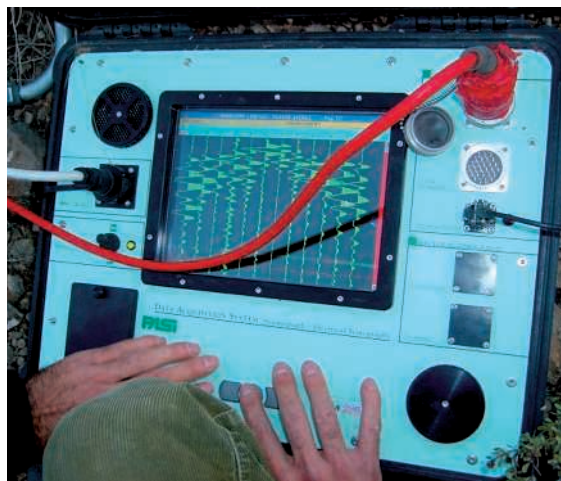
La tecnología ha evolucionado tanto en las últimas décadas que existen innumerables métodos de prospección arqueológica, tantos como los que se hacen necesarios para llevar a cabo las tareas. “Existen métodos eléctricos que actúan con sensores y emiten corriente

eléctrica en el subsuelo, métodos de prospección electromagnética con los que se crean campos electromagnéticos bajo la superficie que recorren el subsuelo y luego se recogen, métodos sísmicos que se asemejan a una ecografía del subsuelo a través de la vibración o también técnicas gravimétricas que analizan los campos magnéticos que tiene la tierra en función de la señal que se recibe”, enumera el geólogo Enrique Aracil, director de Análisis y Gestión de Subsuelo, una compañía que trabaja en trabajos de teleprospección desde hace casi 15 años.

“Hay que tener muy claro lo que se busca y contar con bastante experiencia para determinar mejor el método que se seguirá para alcanzar el éxito. En función de lo que se requiera podrán usarse desde el aire satélites, avionetas o helicópteros; métodos eléctricos con sensores que emiten la corriente eléctrica del terreno y se miden con electrodos desde el subsuelo; métodos de prospección electromagnética para que penetren en el subsuelo; métodos sísmicos que transmiten la vibración del subsuelo como una



Las fotografías captadas por satélite han permitido descubrir vestigios de la cultura de los Garamantes que existió desde el siglo VI a. de C. hasta el VIII en el suroeste de Libia.



Equipos de prospección geofísica han permitido conocer en profundidad el estado del yacimiento de neandertales de Pinilla del Valle, en Valle de Lozoya, Madrid.



Mediante la Tomografía de Resistividad Eléctrica se han determinado la extensión, profundidad y dirección de los yacimientos de Gran Dolina y Complejo Galería en Atapuerca.

ecografía; o técnicas gravimétricas que se basan en los campos magnéticos que tiene la tierra en función de la señal que se recibe”, dice Aracil.

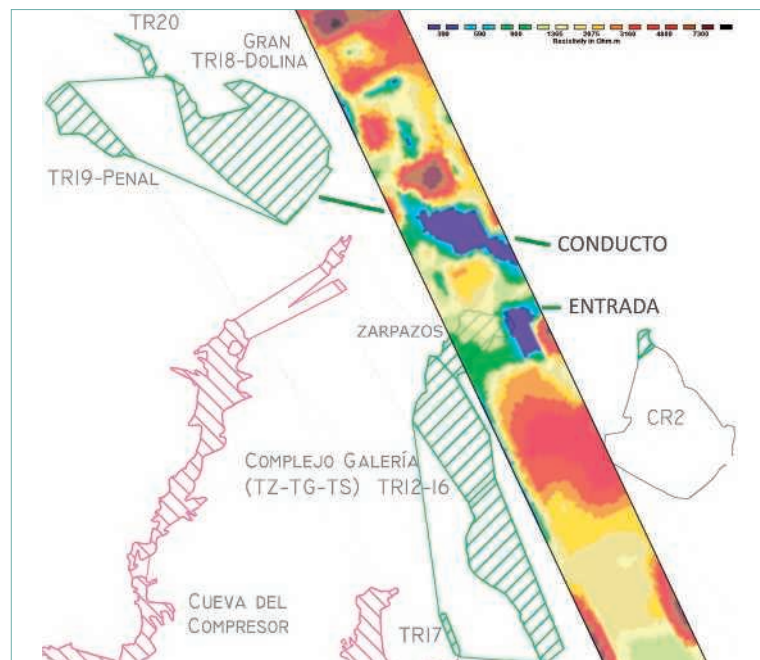
De hecho, el radar de apertura sintética genera mapas topográficos de gran resolución y ha servido para encontrar lugares como la Ciudad Blanca de Honduras. Por otro lado, el radar de penetración terrestre, o georradar, y que lanza impulsos electromagnéticos contra suelos arenosos, permitió localizar una ciudad cerca de El Cairo, levantada allá por los siglos XVII y XVI antes de Cristo.

En los yacimientos burgaleses de Atapuerca, un equipo de geoarqueólogos del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), dependiente de Administración General del Estado y de la Comunidad de Castilla y León, ha

realizado un estudio de prospección geofísica que ha permitido determinar la dirección

y dimensiones de Gran Dolina, así como localizar la entrada del sector noreste del Complejo Galería; además de descubrir pequeños rellenos superficiales, correspondientes a pequeñas cavidades aisladas de las que no se tenía conocimiento y que podían ser susceptibles de albergar nuevos yacimientos prehistóricos. Para este trabajo se ha utilizado la Tomografía de Resistividad Eléctrica o ERT (del acrónimo inglés *Electrical Resistivity Tomography*), una técnica que consiste en enviar impulsos eléctricos al subsuelo.

Lucía Bermejo Albarrán forma parte del equipo de geoarqueólogos del CENIEH. “Mediante 72 electrodos, una especie de clavos grandes que se insertan en el suelo, separados entre sí por 2 metros, a lo largo de una línea recta, se hicieron 8 líneas o perfiles, en una superficie de terreno que se encuentra sobre



Detalle de la planta de la Sierra de Atapuerca sobre la que se muestra un corte horizontal del modelo 3D generado a partir de los resultados de la ERT. Los colores azules se corresponden con sedimentos y los rojos con roca caliza.



© Rafael Gutiérrez

## ¿Arqueología accidental?

La historia del yacimiento inca es un ejemplo de cómo la teledetección puede ayudar a cualquier apasionado por la arqueología a realizar grandes descubrimientos. Miguel Gutiérrez Garitano, licenciado en Historia, funcionario y escritor de libros de viajes, decidió lanzarse a la aventura cuando en uno de sus destinos, Volcabamaba, en Perú, escuchó a los habitantes locales hablar sobre unas ruinas que había en la zona. Al regresar a casa, Miguel y su hermano Rafael decidieron rastrear las montañas con las imágenes de satélites que están al alcance de todos.

No tenían experiencia como arqueólogos pero eso no importó. Crearon un equipo multidisciplinar en el que incluyó a un analista de imágenes y a una geóloga, se reunieron una vez a la semana, investigaron y regresaron al terreno. “Acotamos el área de búsqueda. Chequeábamos las zonas, seleccionábamos los puntos con anomalías y descubrimos algo que parecía un santuario. Ya en el terreno descubrimos una entrada a una cueva que estaba llena de lianas. Al acceder y seguir por la galería descubrimos una cámara sepulcral con un esqueleto. Ese fue el principio”, explica con emoción Miguel Gutiérrez, quien dedujo que las ruinas están relacionadas con el reino inca de Vilcabamba. Una civilización en la que es probable que existiera el rito de Capacoa o de sacrificios humanos. El equipo dirigido por los hermanos Gutiérrez Garitano también localizó una necrópolis inca con decenas de tumbas en el interior de cuevas, y un centro ceremonial inca a 5.000 metros de altura, con restos de posadas, tumbas, reliquias talladas, plataformas, escaleras y gradas.

los yacimientos de Gran Dolina y el Complejo Galería. Cada uno de los electrodos se conectó a una bobina que a su vez se conecta al Syscal Pro, un equipo que emite corrientes eléctricas al subsuelo combinando los electrodos para medir la resistividad del terreno a distintas profundidades”. Una vez extraídos y analizados los datos se obtuvo una imagen final y se proyectó toda la información sobre la cartografía de las cuevas.

“Estos trabajos pueden ayudar a la evolución de las excavaciones en Atapuerca. Por un lado, proporcionan más información sobre el contexto arqueológico, que en este caso no es otro que los sedimentos en los que se hallan los fósiles y herramientas, dato esencial, ya que en este tipo de yacimientos no disponemos de estructuras creadas por el hombre que puedan darnos más información. En este sentido,

con la información que aporta la prospección geofísica se puede identificar la dirección de la que posiblemente vinieron los sedimentos que se están excavando, lo que es básico para conocer los procesos de formación del yacimiento”, apunta Lucía Bermejo.

También se ha utilizado este tipo de tecnología para conocer en profundidad el estado del yacimiento de neandertales de Pinilla del Valle y de Agorno Caravag, en Armenia.

## IMÁGENES DESDE LOS SATÉLITES

Hoy por hoy, muchas fotografías procedentes de los satélites están al alcance de cualquier persona que tenga acceso a internet, y con ellas también la información acerca de la superficie terrestre y los yacimientos que se dibujan en ella. De hecho, desde que Google Earth democratizó en 2005 el acceso a las fotografías de satélite de cualquier punto del globo, los hallazgos arqueológicos han crecido exponencialmente.

Uno de los más significativos es el logro de un equipo multidisciplinar español en el que ninguno de sus componentes se dedica profesionalmente a la arqueología.

Se trata del santuario inca ubicado en las montañas peruanas de Vilcabamba, que fue detectado gracias a las imágenes de distintos satélites alojadas en internet. “Hay muchos tipos de satélites, el cielo está lleno de ellos. La Nasa tiene un servidor, y lo mismo la UE o Canadá. A través de Geoexplorer puedes seleccionar unas coordenadas y extraer datos gratuitamente. Pero, por mucho que el acceso

## Técnicas y equipamiento

- Teledetección multiespectral: se trata de un sistema de teledetección que emplea dos o más bandas del espectro, como pueden ser la banda visible y la banda infrarroja.
- Prospección electromagnética: esta técnica aprovecha los componentes del campo electromagnético generado por transmisores de radio que usan la banda VLF, entre 15 y 30KHz, para mostrar las anomalías y estructuras de diferentes resistividades bajo tierra y que afectan a la dirección e intensidad del campo que genera la señal de radio transmitida. La distorsión se mide y se analiza.
- Prospección eléctrica: un dispositivo introduce corriente continua en el terreno y mide la diferencia de potencial que se genera. Con los cambios en la resistividad que se obtienen es posible hacer un modelo de la estructura del subsuelo.
- Prospección sísmica: una explosión artificial o la caída de un gran peso sobre el terreno genera unas ondas sísmicas elásticas y unos geófonos reciben la vibración del suelo después de que las ondas se hayan transmitido, reflejado o refractado. La señal eléctrica que se genera se amplifica y queda registrada en un sismógrafo. Con ello se logra una imagen del terreno gracias a las propiedades elásticas de los materiales.
- Radar de apertura sintética: este equipo procesa la información obtenida por su antena mediante algoritmos. Con ello se combina la información de varios barridos creando un único barrido virtual.
- Radar de penetración terrestre o georadar: esta técnica no invasiva para detectar objetos u estructuras bajo el suelo se basa en transmitir ondas electromagnéticas de banda ultra ancha en los materiales. Parte de la onda se refleja cuando se alcanza un límite entre dos materiales de diferentes propiedades eléctricas. La señal se graba, con su correspondiente frecuencia, para ser analizada.

a las imágenes de satélites sea libre, lo más importante es saber interpretar la información”, afirma Iñigo Orue, que trabaja como analista de las imágenes de satélites y cuya aportación

ha sido clave para que el equipo descubriese ese santuario inca. “Puedes encontrar un yacimiento con el satélite, hacer un rastreo del terreno también a través de él, y dar con muchas cosas cu-

riosas en la naturaleza que te indiquen que ahí hay algo. Hay mucha gente que se dedica a investigar con una pizca de curiosidad”, añade Orue.



El radar de apertura sintética genera mapas topográficos de gran resolución a partir de los que se han descubierto lugares como la mítica Ciudad Blanca, en Honduras, de los indios misquitas.

También esta ventaja tiene su lado oscuro. En este momento, el hecho de que las imágenes procedentes de satélite estén disponibles para todo el mundo también abre la puerta al expolio. Así lo advierte Vicent: “Cualquier persona puede localizar sitios arqueológicos observando las imágenes de Google Earth y esto pone los yacimientos al alcance de los depredadores. El riesgo de expolio se incrementa en igual proporción a la facilidad de acceso a las imágenes. La destrucción de patrimonio arqueológico ha aumentado de forma alarmante y en el mercado de antigüedades hay más objetos circulando. El gran problema es que el patrimonio arqueológico es finito y mucha gente lo ve como negocio”.

EL OBJETIVO PRIMORDIAL DE LA 'QUÍMICA VERDE' ES REDUCIR EL EFECTO ADVERSO DE PRODUCTOS Y PROCESOS QUÍMICOS

## SINTETIZAR SIN CONTAMINAR

Para dar una salida adecuada a los residuos que se generan en la actividad industrial del sector químico, de forma principal en el campo farmacéutico, surgió el concepto 'química verde', cuya intención es ser sobre todo sinónimo de sostenibilidad ambiental. Básicamente, esta nueva tendencia está orientada a buscar nuevas formas de sintetizar sustancias químicas para lograr unos procesos más cuidadosos con la salud de las personas y el entorno natural. En definitiva, decantarse por actuaciones que impacten menos y en los que se ahorre en recursos: agua y energía.

Texto: **PURA C. ROY**



**L**a química verde o sostenible se aplica en distintos ámbitos, como la química orgánica, la inorgánica, la analítica, la química física, la química farmacéutica, la ingeniería química, la bioquímica, o la ciencia de polímeros. Su novedoso enfoque ayuda a ahorrar recursos y también a preservarlos, así como a obtener beneficios de la misma para permitir una vida más saludable en un entorno también

más saludable. Posibilita el menor uso del agua y la energía, la reducción del impacto ambiental de los componentes químicos y por tanto facilita que los procesos productivos sean más sostenibles.

En 1987, la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas elaboró el informe *Nuestro Futuro Común*, más conocido como el Informe Brundtland. En él se definió el concepto de desarrollo sostenible, que básicamente propone que, para satisfacer las

necesidades del presente, el ser humano no debe comprometer la capacidad de desarrollo de las generaciones futuras. Siguiendo esta idea, la Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas (OPPT), de la Environmental Protection Agency (EPA), la oficina federal de los Estados Unidos encargada de la protección de la salud y la naturaleza, empezó a explorar la idea de desarrollar productos y procesos químicos nuevos o mejorar los existentes para disminuir el peligro.



© Fotolia

Las investigaciones en química verde buscan por ejemplo encontrar nuevos materiales capaces de absorber mejor el CO<sub>2</sub> atmosférico, y aprovechar este gas para producir fármacos o aumentar el rendimiento de los combustibles.

La OPPT puso en marcha en 1991 el programa modelo de subvenciones a la investigación llamado 'Rutas Sintéticas Alternativas para la Prevención de la Contaminación'. Así apareció el concepto de química verde con el objeto de promover tecnologías químicas innovadoras que redujeran el uso o generación de sustancias químicas peligrosas tanto en el diseño, como en la fabricación y empleo de los productos químicos. Los científicos se fijaron en que podrían ser objeto de estas

investigaciones los biocombustibles, extintores, tintorería, polímeros, esterilización, biocatálisis, disolventes, síntesis de la Viagra u otros medicamentos, entre otras muchas aplicaciones.

Para Bernardo Herradón, investigador del departamento de Química Orgánica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), trabajar con las premisas de la química verde y sostenible solo conlleva ventajas y ningún problema: "Aunque no

hay procesos cien por cien verdes, la elevada reducción de contaminantes y el ahorro energético la convierte en la mejor posibilidad para la modernización y hacer más segura la industria".

#### **NO GENERAR PARA NO ELIMINAR**

El objetivo principal de la química verde es reducir los impactos medioambientales generados por la producción química en su

## El simple hecho de tener en consideración el posible impacto que puede implicar una nueva sustancia, ya sea en lo ambiental o humano, supone una diferencia clave con respecto a la química convencional

primera fase para de ese modo atacar el problema desde la raíz. Es decir, si se utilizan procesos químicos, que no se fabriquen con elementos contaminantes, que no haya que eliminarlos después de generarlos.

“La industria sabe que el futuro pasa por la química verde, a pesar del coste a la adaptación a ella, porque luego los procesos son más baratos. Lo costoso es la eliminación de residuos. El único problema es renovar los sistemas industriales instalados con anterioridad. Las regulaciones son cada vez más estrictas y, si la industria no se adapta, no tendrán futuro. Además, para obtener una buena imagen el concepto de responsabilidad social es fundamental”, afirma Herradón.

Es necesario distinguir la química sostenible de la ambiental. Esta última estudia el comportamiento de los compuestos químicos (naturales o sintéticos) en el medio ambiente. Y hay que destacar que la química sostenible tiene un carácter preventivo, mientras que la reparación medio ambiental se dirige hacia la eliminación de productos dañinos que ya se han vertido a la naturaleza. El simple hecho de tener en consideración el posible impacto que puede implicar una nueva sustancia, ya sea en lo am-

biental o humano, supone una diferencia clave con respecto a la química convencional.

“La química verde tiene como objetivo para el presente y el futuro conseguir la economía atómica:



todos los átomos que entran a formar parte de una reacción deben aparecer en el producto. Dicho de otro modo: todo lo que se mete en el reactor debe incorporarse al producto, de modo que

no se genere ningún subproducto”, explica Herradón.

“Cuando se habla de subproductos los hay de dos tipos: unos lo son porque la reacción no tiene un rendimiento del 100%. Esto se puede solventar mejorando la reacción mediante el uso de catalizadores. Pero también hay subproductos concomitantes, procedentes del propio proceso de síntesis. Si en una reacción se usa un reactivo del cual sólo una pequeña parte se incorpora al producto, el resto sobra y queda como subproducto. Aquí, aunque se alcance un rendimiento del 100%, esos subproductos permanecerán ahí. Lo que se debe hacer es diseñar una nueva reacción donde no aparezcan”, explican responsables del Instituto de Ciencias de Materiales de Aragón (ICMA).

Este organismo lleva años trabajando en química verde en los campos de catálisis y de disolventes. En el primero se buscan catalizadores selectivos, que permitan reducir la cantidad de subproductos y mejorar la economía atómica de los procesos.

Se pretende también que esos catalizadores sean reutilizables, de modo que favorezca los procesos de separación y se reduzcan al mínimo los residuos procedentes del mismo. En el campo de los disolventes se trabaja en la búsqueda de alternativos a los convencionales, que sustituyan a los que son contaminantes. En este

aspecto es destacable el desarrollo de procesos que reducen al mínimo la cantidad de disolvente necesario, incluso en algún caso reacciones sin disolvente. También se trabaja en el empleo de residuos como materias primas

## Tras la química verde

Hay organismos y empresas que ya han diseñado nuevas condiciones de reacción para la síntesis de un producto químico necesario para la producción de polímeros. Esta reacción hace uso de los líquidos iónicos -propuestos recientemente por la comunidad científica dedicada a la química verde- como uno de los disolventes alternativos. También se ha descubierto una nueva aplicación para la polisuccinimida en formulaciones de productos para la limpieza. La innovación radica en que el nuevo producto, a diferencia de los polímeros acrílicos usados habitualmente, es biodegradable, reduciendo de esta forma la alteración de las aguas naturales subterráneas.

Por otra parte, también ya se ha desarrollado la síntesis verde de la *viagra*. La clave de su éxito es su principio activo, el sildenafil, una molécula orgánica que se obtiene mediante una síntesis que originalmente implicaba más de 15 etapas y que sólo en las fases finales se generaban 1.000 litros de residuos orgánicos por kg de sildenafil producido, actualmente los han reducido a tan sólo 2 litros. Además, la síntesis verde ha logrado reducir el número de disolventes utilizados, de 6 a 2.

Incluso ya se ha desarrollado una nueva generación de reactores químicos miniaturizados que trabajan en condiciones de gravedad forzada estableciendo condiciones hidrodinámicas en la mezcla de reacción que resultan en una mejor eficiencia en la síntesis, eliminando la formación de subproductos y reacciones no deseadas que generen residuos. Una innovación que pone de manifiesto lo importante que es combinar la ingeniería con los principios de la química verde.

para la preparación de productos útiles.

### MICRO Y MACROPOROSOS

Las propiedades de materiales microporosos y macroporosos los convierten en catalizadores eficaces de muchos de los procesos que desarrolla la industria petroquímica, y permiten una química sostenible, al reducir la formación de subproductos, suavizar las condiciones de presión y temperatura que requieren estas transformaciones y emplear como reactivos de partida sus-

tancias naturales u otras fácilmente derivables de ellas. Esto posibilita minimizar los efectos de la contaminación industrial. Estas propiedades catalíticas sostenibles encuentran aplicación en la fabricación de plásticos biodegradables o en la síntesis de nuevos medicamentos, mientras que otros materiales de estas familias que poseen propiedades adsorbentes, mejoran la calidad de los alimentos o fabricar materiales electrónicos para generar, detectar y controlar la luz.

La química verde es el telón de fondo de muchas de las investi-

gaciones novedosas en los laboratorios españoles, que buscan por ejemplo encontrar nuevos materiales capaces de absorber mejor el CO<sub>2</sub> atmosférico, y aprovechar este gas excesivamente abundante para producir fármacos o mejorar el rendimiento de los combustibles. Conocer átomos y moléculas es fundamental, pero, como su número es enorme, predecir cómo se comportan supone un gran trabajo. Descartar materiales poco eficientes y proponer otros es uno de los trabajos de los investigadores químicos. Determinar por ejemplo, el tamaño idóneo de los poros para que moléculas concretas puedan atravesarlos, o si una molécula se llegará a pegar o no sobre una superficie determinada.

En el Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) se pretende sintetizar nuevos fármacos usando CO<sub>2</sub>. Como los fármacos están hechos de moléculas con carbono, ¿por qué no usar un compuesto barato y abundante para su fabricación? Generar nuevos catalizadores es fundamental, por ello algunas investigaciones tratan de transformar la energía solar en energía química, para sintetizar nuevos compuestos.

El espíritu de la química verde está recogido en los 12 principios que Paul Anastas y John Warner postularon en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice*. En ellos se insta al uso responsable de los procesos químicos y la búsqueda de procesos sostenibles. Los principios abarcan ideas como: prevención, eficiencia atómica, síntesis segura, productos seguros, disolventes seguros, eficiencia energética, fuentes renovables, disminuir los subproductos, mejores catalizadores, biodegradabilidad, análisis de la polución y minimizar los accidentes. ■



Pierre y Jacques Curie descubrieron que cuando se sometía a un cristal de cuarzo a una fuerza de tracción o de compresión aparecía una carga eléctrica superficial en las diferentes caras proporcional a la presión ejercida.

MEDIANTE MATERIALES CRISTALINOS CAPACES DE TRANSFORMAR LA ENERGÍA MECÁNICA EN ELÉCTRICA Y VICEVERSA AL SER PRESIONADOS

## LA PIEZOELECTRICIDAD: PASOS DE LUZ

¿Ejercer presión sobre un material y lograr energía? En esto consiste la piezoelectricidad, descubierta al someter a un cristal de cuarzo a una fuerza de compresión y observar que aparecía una carga eléctrica en su superficie y de forma proporcional a la presión ejercida. En la actualidad, se usa en el proceso industrial para la fabricación de altavoces, telescopios espaciales, ecógrafos o impresoras. Incluso se busca aprovechar la energía mecánica que generan algunas actividades humanas —paso de trenes, aterrizaje de aviones, tráfico en autopistas o pasos de peatones— sobre determinado tipo de superficies para almacenarla y usarla.

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**



© Fotalia

**C**uando el premio Nobel Pierre Curie y su hermano Jacques descubrieron el fenómeno de la piezoelectricidad aún no existían los automóviles a motor, se acababa de poner en funcionamiento la primera central eléctrica del mundo y hacía poco que se había patentado el primer teléfono de la historia. El hallazgo de los dos hermanos, sin embargo, ha pasado mucho más desapercibido fuera del ámbito científico que otros descubrimientos, aunque en la actualidad es la base para el diseño de miles de dispositivos eléctricos y electrónicos y una de las áreas de investigación con más potencial de cara al aprovechamiento de la energía, una cuestión fundamental para que la Humanidad siga en movimiento.

Los materiales piezoeléctricos están hoy absolutamente asentados en el desarrollo industrial porque se encuentran presentes en infinidad de aparatos cotidianos, pero también son objeto de investigación por grupos de científicos que, en instituciones públicas y privadas, buscan nuevas posibilidades a esa capacidad que poseen algunos minerales de transformar la energía mecánica en eléctrica y viceversa.

### CUESTIÓN DE PRESIÓN

Hay que remontarse al año 1880 para iniciar el camino de esta corriente y escudriñar los primeros pasos de Jacques Curie (1827-1910) y su hermano menor Pierre (1859-1906) en el Laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias de París. En el transcurso de sus investigaciones, los Curie descubrieron que cuando se sometía a un cristal de cuarzo a una fuerza de tracción o de compresión aparecía una carga eléctrica superficial en las diferentes caras que era proporcional a la presión ejercida. Es decir, la carga se polarizaba haciendo que saltaran chispas. Lo llamaron fenómeno 'piezoeléctrico', del griego 'piezein' (presionar).

Para sus experimentos, utilizaron un aparato electrómetro de gran sensibilidad, que había sido construido para tal fin por Jean G. Bourbouze siguiendo las instrucciones de estos dos investi-

gadores. Resulta curioso que ese generador de corriente, el primero siguiendo los principios de la piezoelectricidad, se encuentre expuesto ahora en España, en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, pues fue adquirido por el antiguo Laboratorio de Radiactividad de Madrid. Construido en latón y madera, aún se encuentra en buen estado de conservación. Gracias a él, Jacques y Pierre probaron que no sólo se generaba electricidad al presionar los cristales, sino que también se podía producir el proceso inverso: si a estos minerales se les aplicaba cierto voltaje, los cristales vibraban, oscilaban en función de la tensión eléctrica. Había un efecto doble, de ida y vuelta, en los cristales de cuarzo.

### INNUMERABLES APLICACIONES

Posiblemente gracias a ese descubrimiento, Jacques Curie obtuvo en 1883 una plaza de profesor de Mineralogía en la Universidad de Montpellier y en junio de 1888 presentaba su tesis doctoral en la Universidad de París sobre la constante dieléctrica y la conductividad en cristales, pero entonces nadie podía imaginar las aplicaciones que aquel hallazgo tendría, especialmente en el mundo de las telecomunicaciones, pero también en la generación de ultrasonidos, en filtros, en la construcción de micrófonos, en las ecografías y

## El Grupo de Óxidos Electroactivos para Dispositivos Inteligentes trabaja en la búsqueda de nuevos materiales piezoeléctricos para aplicaciones en entornos muy agresivos por su alta temperatura o por la presión

otras que hasta hace poco podían ser consideradas ciencia-ficción y ya están en desarrollo. Y es que, en el fondo, Pierre y Jacques habían dado con la asombrosa capacidad de algunos materiales cristalinos de transformar la energía mecánica en eléctrica y viceversa.

Desde entonces, la investigación ha avanzado mucho y hoy el material que se utiliza como referencia es un óxido con estructura *perovskita* y fórmula  $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ , componente básico de materiales piezocerámicos tan exitosos como las cerámicas electrónicas (o electroce-

rámicas) que hoy se asocian a objetos de consumo tan cotidianos como los encendedores, las zapatillas luminosas o los humidificadores. Y más aún, pues pese a que sigue siendo una gran desconocida, la piezoelectricidad es clave en la industria informática, por ejemplo para las impresoras por chorro de tinta; y en la automovilística, que la utiliza en los inyectores de combustible; y también en armamentística, pues en ella se basan los sónares de los submarinos.

De hecho, la primera aplicación práctica de este fenómeno fue para el sónar, cuando a finales de la Primera Guerra Mundial se

Baldosas piezoeléctricas instaladas en el acceso al Parque Olímpico de Londres capturaron 12 millones de pisadas que produjeron 72 millones de julios de energía, suficiente para cargar 10.000 teléfonos móviles durante una hora. © Ravegen





© Japan Railway Company

En estaciones del metro de Tokio se han instalado baldosas que generan hasta 10 vatios por segundo.

descubrió que las ondas sonoras que producían los submarinos en el agua podían ser detectadas por un pedazo de cuarzo sumergido en el agua y que incluso podía detectar de dónde venía el sonido. Un sónar no es sino una sonda piezoeléctrica que emite vibraciones. En el agua, esas vibraciones producen ondas de ultrasonido, así que el sónar se mueve para que su onda barra el espacio y localice el obstáculo. El eco de vuelta golpea el cristal piezoeléctrico y produce una corriente eléctrica.

Otro campo para el que han sido desarrolladas significativas aplicaciones es el de la medicina, siendo el ejemplo más conocido el de los ecógrafos, unos aparatos habituales hoy en día para obtener infinidad de diagnósticos, que se basan precisamente en

el estudio por imagen de estructuras profundas del cuerpo humano a través de la reflexión de ondas ultrasónicas. Más especial es el uso de la piezoelectricidad en la óptica adaptativa: el telescopio espacial Hubble, lanzado por la NASA y la Agencia Espacial Europea a 28.000 kms de la Tierra, lleva un espejo primario de 2,4 metros de diámetro que es deformable mediante un sistema piezoeléctrico para corregir las aberraciones ópticas durante el tiempo que esté operativo en órbita. También la piezoelectricidad es parte importante para sistemas de posicionamiento en nanotecnologías (los microscopios de campo cercano) e, incluso, en los primeros mandos a distancia se aplicaba la tecnología del cuarzo para convertir la presión sobre un botón en energía eléctrica.

## ALTERNATIVA NO CONTAMINANTE

“En realidad, es un fenómeno que tiene infinidad de aplicaciones y sobre el que se siguen desarrollando continuamente nuevas aplicaciones, como el control activo de vibraciones en aeronáutica, o el más en boga de la recuperación de energía”, apunta Miguel Alguero, del Instituto de Ciencias de los Materiales de Madrid (ICMM-CSIC).

Alguero se refiere a nuevos dispositivos que son capaces de recoger energía ambiental que se está perdiendo, en forma de vibraciones mecánicas, y transformarla en energía eléctrica suficiente para alimentar mecanismos de bajo consumo.

Hoy es un campo en el que se han volcado a invertir un gran

## Existen numerosas iniciativas que buscan el aprovechamiento de la energía mecánica que generan los trenes cuando pasan por las vías férreas o el tráfico de vehículos en una autopista

número de empresas, que creen encontrar en la piezoelectricidad una alternativa no contaminante y renovable para aplicaciones concretas. De hecho, repartidas por todo el mundo ya existen una gran cantidad de iniciativas que buscan el aprovechamiento de la energía mecánica que generan los trenes cuando pasan por las vías férreas, o los aviones en las pistas de aterrizaje, o el tráfico

de vehículos en una autopista, incluso el paso de peatones en lugares que están muy concurridos.

Para ello se utilizan placas piezoeléctricas que funcionan mediante tensiones mecánicas, al igual que las que detectaron los hermanos Curie: al someter determinados cristales a cierta presión, adquieren una polariza-

ción eléctrica en su masa y dan origen a una diferencia de potencial que genera cargas eléctricas en la superficie. En definitiva, se transforman determinadas actividades humanas en energía que se puede almacenar y utilizar para diferentes usos.

En Israel, por ejemplo, se ha desarrollado un tipo de generador piezoeléctrico que permite suministrar energía para sistemas de señalización y de iluminación local gracias a que capta la energía mecánica que se produce por el peso, el movimiento, las vibraciones y los cambios de temperatura en caminos, carreteras, vías o aeropuertos y la transforma en electricidad, que luego se reutiliza. Placas instaladas bajo las

Los ecógrafos basan su funcionamiento en los principios de la piezoelectricidad para el estudio por imagen de estructuras profundas del cuerpo humano a través de la reflexión de ondas ultrasónicas. © Fotolia



## Materiales piezoeléctricos

- **Cuarzo:** mineral compuesto de sílice caracterizado por su dureza y resistencia. Se trata del más común de la corteza terrestre y está presente en grandes cantidades en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.
- **Sal de la Rochelle:** es una de las sales del ácido tartárico, y se trata de un compuesto orgánico mixto de potasio y sodio que requiere conservarse resguardado de la humedad y temperaturas extremas para que no se altere con el paso del tiempo.
- **Rubidio:** de color plateado blanco brillante, es un metal alcalino blando que empaña rápidamente al aire y es muy reactivo.
- **Cerámica piezoeléctrica:** material inorgánico no metálico que se forma por acción del calor. Es un elemento activo en la mayoría de los dispositivos y en los transductores ultrasónicos.
- **Turmalina:** mineral de la clase de los silicatos con propiedades piróelctricas y piezoeléctricas, ya que en sus dos extremos se acumulan cargas opuestas tanto al presionarlo como al calentarlo.

vías del ferrocarril produjeron unos 120 kilovatios por hora de energía tras pasar 20 trenes.

No menos sorprendentes son las baldosas desarrolladas en Gran Bretaña y que se instalaron en el acceso al Parque Olímpico de Londres durante las Olimpiadas de 2012, donde se capturaron 12 millones de pisadas que produjeron 72 millones de julios de energía, suficiente para cargar 10.000 teléfonos móviles durante una hora. También se colocaron en estaciones del metro de Tokio, donde generan hasta 10 vatios por segundo. El año anterior, también en el estadio Santiago Bernabéu se hizo un experimento: se colocaron durante un partido placas piezoeléctricas en los asientos de los aficionados para que recogieran la energía que generaban los hinchas y con ella se alimentó una pantalla

gigante en la que se podía seguir el partido: generaron 8.400 vatios por segundo.

En Holanda, por su parte, ya hay pistas de baile 'sostenibles', en las que las danzas de los clientes permiten iluminar el espacio, y están en marcha, impulsadas por diferentes empresas, proyectos para aprovechar la energía que se pierde con los coches en movimiento. Algunos estudios calculan que el paso de 600 vehículos a una media de 72 kilómetros por hora sobre una carretera con generadores piezoeléctricos en un kilómetro podría producir 200 kilovatios por hora.

Sobre esta cuestión, el científico del CSIC rebaja las expectativas: "Estos dispositivos de recuperación transformarían una fracción pequeña de energía, con lo

cual podrían ser una fuente de energía complementaria, pero no alternativa. El interés está en situarlos en sitios donde no es posible llevar la red eléctrica, porque son lugares remotos, o en donde el remplazo de baterías es un problema o en redes de miles de sensores".

## NUEVOS MATERIALES

Los grupos científicos que trabajan en España en este asunto están centrados en el desarrollo de nuevos materiales piezoeléctricos. Uno de ellos es el Grupo de Óxidos Electroactivos para Dispositivos Inteligentes (EOS-MAD) del Instituto en el que trabaja Alguero. En estos momentos tienen varias líneas de investigación abiertas: una de ellas es la búsqueda de nuevos materiales para aplicaciones en entornos que son muy agresivos por su alta temperatura o por la presión; otra línea es la encaminada a encontrar materiales que permitan transformar energía eléctrica en magnética y viceversa, a partir de campos magnéticos residuales; y la tercera se centra en la miniaturización e integración de dispositivos, para aplicaciones como la piel electrónica.

Esta es otra de las aplicaciones del fenómeno de la piezoelectricidad: una tecnología capaz de dotar de sensibilidad a los robots en la superficie de su piel, y basada en materiales con propiedades semiconductoras y transistores piezoeléctricos, que fue presentada en la revista Science hace tres años por el Instituto Tecnológico de Georgia (Estados Unidos), donde siguen mejorando sus posibilidades desde entonces. ■

## BACTERIAS QUE AYUDAN A CONTROLAR EL CLIMA

Un equipo de investigadores, coordinado por los expertos en ecología microbiana de la Universidad Estatal de Oregón, por Stephen Giovannoni y Jing Sun, ha descubierto unos microorganismos muy abundantes en los océanos que producen grandes cantidades de sulfuro de dimetilo, un compuesto volátil que contribuye a regular el clima del planeta. Este gas es el responsable del característico olor a mar, y forma parte fundamental del ciclo del azufre. Durante el mismo, el sulfuro de dimetilo se oxida en la atmósfera, un proceso que acaba propiciando la formación de nubes.

Las responsables son las bacterias del género *Pelagibacter* que, aunque poseen uno de los genomas más pequeños conocidos y carecen de los mecanismos de regulación genética presentes en la mayoría de las bacterias, son capaces de metabolizar el compuesto dimetilsulfoniopropionato, que produce el plancton. Como resultado, liberan sulfuro de dimetilo. Los aerosoles que acaba formando esta sustancia reducen la cantidad de luz solar que baña la superficie de los océanos. ■

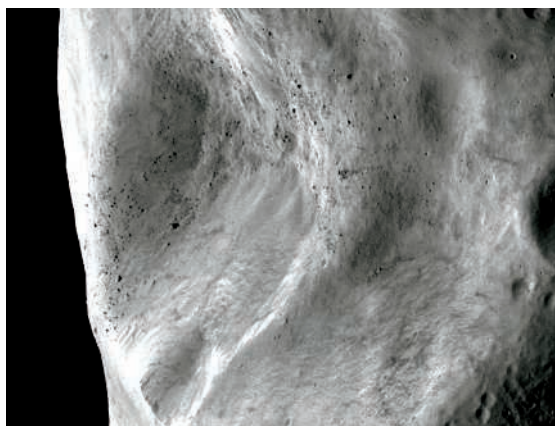


Las bacterias del género *Pelagibacter* son capaces de metabolizar el compuesto que produce el plancton

## CUATRO NUEVOS ELEMENTOS EN LA TABLA PERIÓDICA

Nihonium (Nh), para el elemento 113; Moscovium (Mc), para el 115; Tennessine (Ts), para el 117, y Oganesson (Og) para el 118 son los nombres propuestos por los descubridores de nuevos elementos para engrosar la Tabla Periódica y que han recibido el visto bueno de la División de Química Orgánica de la IUPAC. Siguiendo la tradición, los elementos pueden llevar el nombre de un concepto mitológico o su carácter, un mineral, un lugar, la propiedad del elemento, o un científico. Así, Nihon es una de las formas de decir 'Japón' en japonés, y significa "la tierra del sol naciente"; y Oganesson es un homenaje al profesor Yuri Honrar Reconoce Oganesyanyan. ■

## RECONSTRUÍDA LA HISTORIA COLISIONAL DE LOS ASTEROIDES



A partir un modelo físico desarrollado se puede reproducir las colisiones que han sufrido los meteoritos a lo largo del tiempo.

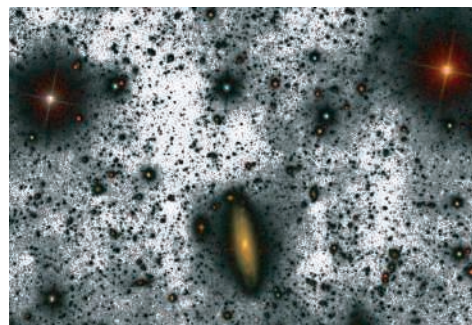
Desde su formación, hace más de 4.000 años, los asteroides han sufrido multitud de colisiones que ahora un estudio internacional en el que participa

el CSIC ha sido capaz de reconstruir a partir un modelo físico que reproduce el proceso a lo largo del tiempo y compara los resultados con la información que se tiene en estos momentos sobre los meteoritos llamados condritas.

La distribución de tamaño de los objetos que componen el cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter indica que cada uno de esos asteroides ha recibido impactos de proyectiles de más de veinte centímetros al menos unos cien millones de veces. El resultado de esos impactos son cráteres proporcionales tanto al diámetro como a la velocidad de esos proyectiles. La información recopilada indica que los meteoritos proceden de asteroides pequeños que, con un diámetro inferior a pocos cientos de kilómetros, colisionaron y desprendieron esas rocas hace millones de años. ■

## EL UNIVERSO MÁS PROFUNDO

La fotografía diez veces más profunda del Universo tomada desde la Tierra hasta la fecha, durante más de 8 horas y gracias al Gran Telescopio óptico-infrarrojo de Canarias –el más grande del mundo–, ha confirmado, dentro de la teoría de formación de galaxias, que muchas estrellas habitan en la parte externa de éstas formando un halo estelar, en este caso formado por 4.000 millones de estrellas, que es fruto de la destrucción de otras galaxias menores. ■



© Gabriel Pérez (IAC)



## **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.

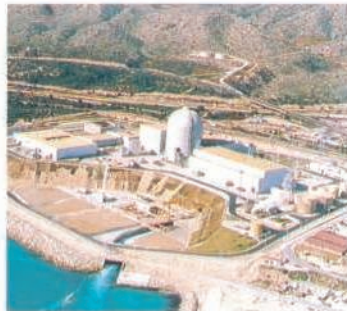
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

- ▶ 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.