


ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA



Culmina el corte bajo agua de la vasija del reactor de Zorita

El taller de restauración del Museo del Prado

Emilio Lora-Tamayo, presidente del CSIC: "Hoy los investigadores son conscientes de su necesidad social"

Los sistemas de detección de terremotos de la Red Sísmica Nacional

La naturaleza nos da su energía. Nosotros ponemos la nuestra para aprovecharla.

Así es como en Iberdrola Ingeniería y Construcción hacemos un trabajo respetuoso con el medio ambiente, comprometido con el futuro y con una capacidad técnica de primer nivel. La unión más natural.



IBERDROLA
Ingeniería y Construcción

www.iberdrolaingenieria.com

UN AÑO INTENSO Y COMPLETO

La Junta General de Accionistas de Enresa aprobó el 29 de junio las cuentas y el Informe Anual de la empresa en 2014, un año que, tal y como se puso de manifiesto ante los accionistas de la compañía, fue un ejercicio lleno de actividades de gran calado que se estructuraron, fundamentalmente, en torno al proyecto del Almacén Temporal Centralizado (ATC) y al desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera, en Guadalajara.

En el ámbito económico cabe destacar que, durante el ejercicio 2014, los ingresos de explotación de la empresa ascendieron a 391,5 millones de euros, con unos gastos de 149,5 millones. El rendimiento del Fondo para la Financiación de las Actividades del Plan General de Residuos Radiactivos, se situó en un 3,49%, con un incremento de 393,7 millones de euros, de manera que a 31 de diciembre de 2014 la dotación total del Fondo había alcanzado los 4.254,6 millones de euros.

En 2014, la empresa centró buena parte de sus esfuerzos en preparar y completar la documentación necesaria sobre la caracterización del emplazamiento del ATC y el diseño técnico de sus instalaciones, para la consecución de las autorizaciones previa y de construcción por parte del Consejo de Seguridad Nuclear y el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Paralelamente, se presentó al Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente el expediente de solicitud de la Declaración de Impacto Medioambiental. Es este

un proyecto de alcance nacional, por sus implicaciones tecnológicas y económicas, que dará solución a las necesidades de gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos de alta actividad. Será, además, la primera instalación nuclear que se autorice en España desde la creación del Consejo de Seguridad Nuclear. En este sentido, las sucesivas peticiones de información adicional que ha venido requiriendo el organismo regulador, además de ser habituales en este tipo de proyectos, constituyen la garantía de la realización de un proyecto que cumpla con todos los requisitos técnicos y de seguridad que considere necesarios el CSN.

En cuanto al Almacén Centralizado de El Cabril, 2014 fue un año en el que se ha trabajado sin ningún tipo de incidente. La instalación recibió 220 expediciones de transporte, con un volumen de 2.433 m³ de residuos, de cuales un 70% eran de muy baja actividad. Durante este periodo, se depositaron en las estructuras de almacenamiento de residuos de baja y media actividad 134 contenedores con 2.052 bultos de residuos en su interior. Por su parte, la instalación complementaria para residuos de muy baja actividad almacenaba a finales de año un total de 8.365 m³. Veintitrés años después de su puesta en operación, El Cabril continúa atrayendo el interés internacional, y son numerosas las visitas técnicas que se acercan a conocer la gestión que se realiza en sus instalaciones, especialmente de aquellos países que están proyectando la construc-

ción de un almacenamiento para este tipo de residuos.

Por otra parte, en relación con las actividades de desmantelamiento de instalaciones nucleares, durante el pasado año Enresa ha trabajado en la segmentación de la vasija del reactor de la central nuclear José Cabrera, un proceso en el que nuestro país es pionero, toda vez que estos grandes componentes se gestionan como piezas enteras, sin segmentar. Por ello, el desmantelamiento de esta central alcarreña, de manera similar a lo que ocurre con El Cabril, es también objeto de continua atención por parte de la comunidad técnica internacional, ya que en su desmantelamiento se están poniendo en práctica avanzadas técnicas de trabajo que constituyen una referencia para otros proyectos de desmantelamiento.

Todos estos proyectos y retos en la gestión de los residuos radiactivos se apoyan también en un conjunto de programas y desarrollos científicos y técnicos de investigación y desarrollo que dan soporte a las actividades de Enresa. La I+D es una actividad clave y la encargada de suministrar la bases científicas y tecnológicas que permiten una gestión segura de este tipo de residuos. El pasado año, Enresa puso en marcha el Plan de I+D 2014-2018, en el que el ATC tiene un protagonismo especial y en cuyos desarrollos científicos trabajan equipos de investigación altamente cualificados de los principales organismos y centros de investigación de España. ■

REVISTA ESTRATOS

Edita: Enresa, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos

Redacción: Emilio Vargas, 7. 28043 Madrid
Tel. 91 566 81 00
Correo electrónico: registro@enresa.es
Página web: www.enresa.es

Publicidad: Corporación Asesora Hermosilla, 59 3º Izq.
28001 Madrid
Tel.: 91 432 44 73

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

Consejero delegado: Vicente Sánchez

Jefe de Publicaciones: Fernando Cameo

Coordinadores: Salomé González y Sergio Gavilán

Redactores y colaboradores:

Julio Astudillo, Pablo Almera, Ana Ayala, Bruno Díaz, Natividad Gavira, Germán Hesles, Rosa Martín, Mariano Molina, Pura C. Roy y Rosa Tristán

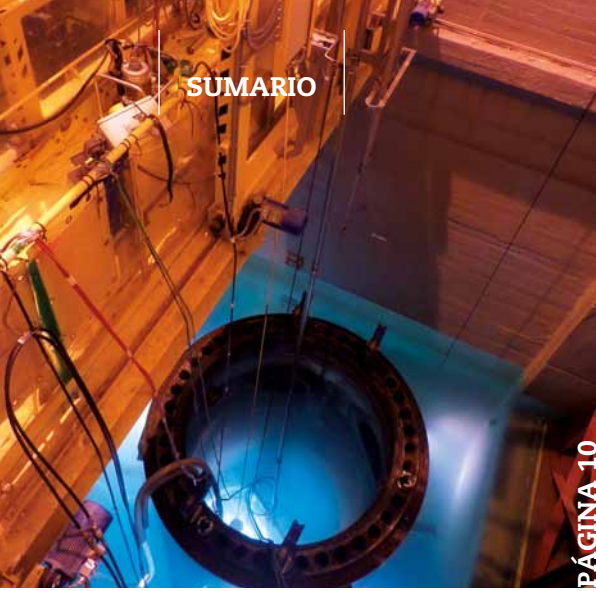
Diseño, maquetación, producción e impresión:

Wolters Kluwer España

Depósito legal: M-7 411- 1986

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





PÁGINA 10



PÁGINA 16



PÁGINA 22



PÁGINA 32

SUMARIO

EDITORIAL

Un año intenso y completo 03

ACTUALIDAD ESTRATOS

La Junta General de Accionistas de Enresa aprueba sus cuentas anuales y el informe de gestión de 2014 05

Técnicos del organismo regulador nuclear de Polonia acuden a El Cabril. 06

Empresarios japoneses visitan las instalaciones de Enresa. 06

5ª Reunión de Revisión de la Convención Conjunta de Seguridad de la Gestión de Residuos Radiactivos 07

Juan Carlos Lentijo, nombrado director general adjunto del Departamento del Seguridad Nuclear del OIEA 07

EL EPRI americano premia a Enresa 08

El Cabril almacena 30.500 m³ de residuos . . 08

Italia avanza en el proceso de selección de emplazamiento del repositorio para residuos . . 09

SKB solicita la ampliación de la capacidad de almacenamiento del SFR. 09

EN PORTADA

Culmina el corte bajo agua de la vasija del reactor de Zorita 10

GESTIÓN

La gestión de residuos radiactivos en Suiza . . 16

ENTREVISTA

Emilio Lora-Tamayo, presidente del CSIC . . . 22

TECNOLOGÍA

La ESA realiza con éxito una prueba de su prototipo de avión espacial 26

TÉCNICA

Maestros en el arte de restaurar 32

SIERRA ALBARRANA

Reconocimiento de Hornachuelos a personas e instituciones locales 38

Actualidad Sierra Albarrana. 42

Devolver 'a la vida' a animales extintos 44

MEDIOAMBIENTE

La globalización de las plantas está modificando los ecosistemas 48

SOCIEDAD

Terremotos bajo 'supervisión' de la Red Sísmica Nacional 52

Identificación biométrica: cuando la contraseña es el propio cuerpo 58

CIENCIA

Robots cuánticos, las máquinas creativas del futuro 62

PERSONAJE

Andrés Pérez Estaún 66

LA JUNTA GENERAL DE ACCIONISTAS DE ENRESA APRUEBA SUS CUENTAS ANUALES Y EL INFORME DE GESTIÓN DE 2014



Federico Ferrer, vicepresidente de Sepi; Juan José Zaballa, presidente de Enresa; Cayetano López, director general de Ciemat, y Fabiola Gallego, secretaria general de Enresa, durante la Junta General.

Enresa celebró el 29 de junio su Junta General Ordinaria y Universal de Accionistas, en la que se aprobaron las cuentas anuales de la empresa y el Informe de gestión de 2014. El presidente de Enresa, Juan José Zaballa, expuso a los representantes de los accionistas de la compañía, Federico Ferrer, vicepresidente de la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI); y Cayetano López, director general del Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), un informe de las actividades técnicas y de gestión que realizó la empresa en el pasado ejercicio, en un acto al que asistieron también el presidente de SEPI, Ramón Aguirre; el Consejo de Administración de Enresa y el Comité de Dirección de la empresa.

Durante su intervención, el presidente de Enresa destacó el rendimiento del Fondo para la Financiación de las Actividades del Plan General de Residuos Radiactivos,

que se situó en un 3,49%, por lo que al finalizar el año el valor de dicho fondo ascendió a 4.254 millones de euros.

En el ámbito técnico, el presidente destacó la normalidad de la actividad del centro de almacenamiento de El Cabril, que recibió el pasado año un total de 2.443 m³ de residuos radiactivos, de los que un 70% eran de muy baja actividad. La instalación de la Sierra Albarrana cerró el ejercicio con un porcentaje de ocupación del 71,06% en las plataformas de almacenamiento de residuos de baja y media actividad, y del 21,71% en la instalación complementaria para residuos de muy baja actividad.

Respecto a la gestión de residuos de alta actividad, Juan José Zaballa explicó que en enero de 2014 se presentó al Ministerio de Industria Energía y Turismo y al Consejo de Seguridad Nuclear el Estudio Preliminar de Seguridad del proyecto, solicitando

las licencias de Autorización Previa y de Construcción de la instalación. Además, durante el ejercicio, se remitió al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente la documentación para la Declaración de Impacto Ambiental y se trabajó en dar respuesta a la sucesivas peticiones de información adicional planteadas por el CSN. Por otra parte, continuaron los trabajos de infraestructura y construcción del Vivero de Empresas, Laboratorio Conjunto y Nave Auxiliar, que finalizaron en marzo de este año.

En cuanto al desmantelamiento y clausura de José Cabrera, el presidente de Enresa subrayó la importancia de los trabajos de segmentación de la vasija del reactor, el desmontaje radiológico de los edificios de contención y auxiliar, así como el desmantelamiento de la bomba principal, con lo que a finales de 2014 se había alcanzado el 65% del proceso de desmantelamiento de la central. ■

PARA CONOCER EL DISEÑO Y SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA INSTALACIÓN **TÉCNICOS DEL ORGANISMO REGULADOR NUCLEAR DE POLONIA ACUDEN A EL CABRIL**

El Cabril recibió en abril la visita de un grupo de representantes de la Agencia Nacional de Energía Atómica (PAA) de Polonia, acompañados por técnicos del Consejo de Seguridad Nuclear. Una visita que se produjo en el marco de las actividades de colaboración e intercambio de información entre ambas instituciones reguladoras. La visita a El Cabril responde al interés de las autoridades polacas por informarse sobre diferentes cuestiones relacionadas con el diseño y operación de esta instalación, que está siendo considerada como una de las referencias para el di-



Delegación del organismo regulador polaco con técnicos del CSN.

© Enresa

seño y construcción de la futura instalación polaca de residuos de baja y media actividad que está

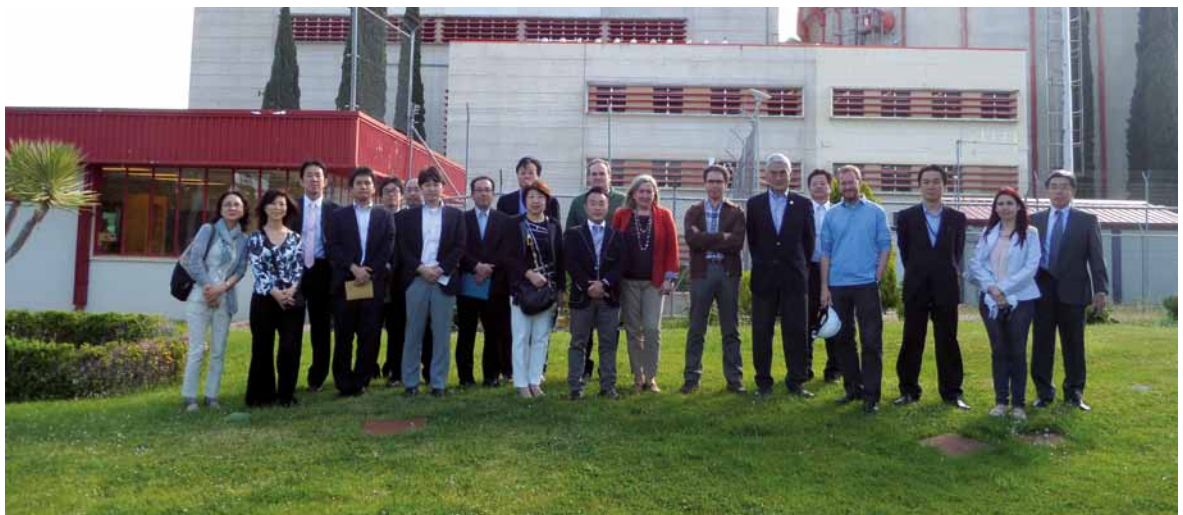
asociada al programa de construcción de la primera central nuclear en Polonia. ■

EMPRESARIOS JAPONESES VISITAN EL CABRIL Y EL DESMANTELAMIENTO DE JOSÉ CABRERA

Una delegación de empresarios japoneses del sector nuclear viajó el pasado mes de mayo a las instalaciones de almacenamiento de El Cabril y de la central nuclear

José Cabrera interesados en conocer la gestión de los residuos radiactivos y los trabajos de desmantelamiento que desarrolla Enresa. Esta visita se enmarcó en

una misión comercial hispano-japonesa organizada por el Foro de la Industria Nuclear y la Oficina Económica y Comercial de España en Japón. ■



Representantes de los empresarios japoneses del ámbito nuclear.

© Enresa

SE CELEBRA LA 5ª REUNIÓN DE REVISIÓN DE LA CONVENCION CONJUNTA DE SEGURIDAD DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS Y EL COMBUSTIBLE GASTADO

Del 11 al 22 de mayo se ha celebrado en Viena, en la sede del OIEA, la 5ª Reunión de Revisión de la Convención Conjunta sobre la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y la Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos. A la Reunión han asistido 61 países de los 69 que han ratificado este acuerdo internacional.

España es un país signatario de la Convención desde el año 2001 y ha asistido e informado en cada una de las reuniones que se han celebrado hasta ahora. En esta ocasión la delegación española presentó su informe el martes 12 de mayo. La delegación estaba compuesta por miembros del Consejo de Seguridad Nuclear, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A. (ENRESA). La presentación española tuvo una buena acogida, lo que se mani-

festó en un turno de preguntas intenso y de gran contenido.

En conjunto, el Plenario de la Convención apreció el progreso de los países desde la reunión anterior y su esfuerzo continuado para impulsar mejoras en los niveles de seguridad de la gestión de residuos radiactivos y el combustible gastado. Según el Informe Final del Plenario, quedan todavía aspectos significativos de la gestión que deben ser abordados con más profundidad. Entre otros se destacó las cuestiones relativas al personal cualificado y a la financiación, la necesidad de mantener y aumentar la participación pública, el empleo de planes de contingencia para la gestión de residuos provenientes de accidentes importantes, la gestión de fuentes selladas en desuso, y el desarrollo y puesta en marcha de estrategias globales y sostenibles en las primeras etapas de la gestión. ■



Asistentes a la reunión celebrada en la sede vienesa de OIEA.



© OIEA

JUAN CARLOS LENTIJO, NOMBRADO DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DEL DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD NUCLEAR DEL OIEA

Juan Carlos Lentijo ha sido nombrado director general adjunto responsable del departamento de Seguridad Nuclear de la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA). Lentijo ocupará a partir de octubre el puesto de más alta responsabilidad que un español ha tenido en esta institución.

En los tres últimos años, Lentijo ha desempeñado en la misma agencia el puesto de director de la División del Ciclo de Combustible Nuclear y de Tecnología de los Residuos. Previamente a su incorporación al OIEA, fue director técnico de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) durante casi una década, tras pasar por distintos puestos en el organismo regulador español a lo largo de 28 años.

En su último periodo en el CSN, tuvo una intensa labor nacional e internacional tras el accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi (Japón). En 2011, se trasladó a Japón como miembro del comité de expertos que el OIEA designó para analizar la crisis nuclear tras el terremoto, y posterior tsunami, y meses después fue designado máximo responsable del equipo de expertos internacionales enviados por el OIEA en respuesta a la solicitud del gobierno nipón, con el objetivo de analizar los trabajos de recuperación de las zonas afectadas por el accidente de Fukushima. ■

© OIEA

POR LA SEGMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES INTERNOS DEL REACTOR DE JOSÉ CABRERA

EL EPRI AMERICANO PREMIA A ENRESA

El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica americano (EPRI) ha otorgado a Enresa el premio de *Transferencia de Tecnología*, como reconocimiento a la optimización de la segmentación de los componentes internos del reactor durante el desmantelamiento de la Central Nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara).

Manuel Rodríguez, director del desmantelamiento de José Cabrera; Juan Luis Santiago, jefe del departamento de Proyectos Clausura de Enresa; y Nieves Martín, técnico de este mismo departamento, recibieron este reconocimiento por su aplicación de la guía EPRI y las lecciones aprendidas en uno de los retos

más importantes en un desmantelamiento: la segmentación de los componentes internos del reactor, que Enresa finalizó en José Cabrera en 2013.

A juicio de este instituto de investigación, Enresa llevó a cabo un importante esfuerzo de investigación previa en todas las fases del proyecto que permitió, gracias al esfuerzo del equipo técnico, completar el proceso de segmentación en el tiempo y presupuesto previsto, y convertir el desmantelamiento de esta central en un referente internacional a la hora de afrontar trabajos similares. ■

LA INSTALACIÓN INICIA LOS TRABAJOS DE CLAUSURA DE LA CELDA 24

EL CABRIL ALMACENA 30.500 M³ DE RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD EN LAS VEINTE CELDAS QUE YA SE HAN COMPLETADO

El pasado 16 de abril se iniciaron en El Cabril los trabajos de cierre de la Celda 24, una tarea que se extenderá a lo largo de cinco meses aproximadamente, y en la que participan un equipo de unas treinta personas entre personal propio y de empresas colaboradoras. Con el cierre de la Celda 24 son veinte las estructuras de almacenamiento que están completas con más de 30.500 m³ de residuos radiactivos de baja y media actividad

El proceso de cierre de una celda se inicia con el vertido de grava de relleno en la cruceta central que forman los contenedores almacenados en la celda. Posteriormente, sobre la superficie se coloca una lámina de polietileno sobre la que se vierte hormigón de limpieza. A continuación, tras el tratamiento con chorro de arena de los muros de coronación de la celda, se procede al bombeo de hormigones de nivelación y estructural, un trabajo que se prolonga más de quince horas durante las cuales se vierten en la superficie de la celda unos 250

m³ de hormigón, del que se extraen más de setenta probetas para garantía de calidad. Este hormigonado tiene dos funciones: servir de base sobre la que apoyar las armaduras de acero que conformarán la losa de cierre, y de blindaje a los trabajadores.

Esta es la fase que concentra a un mayor número de trabajadores, hasta una treintena entre personal de la planta de fabricación de hormigón, de transporte, bombeo, garantía de calidad y laboratorio.

Con posterioridad, se procede al montaje y soldadura de la arma-

dura de más de cincuenta toneladas que va a conformar la losa armada, y al vertido del hormigón estructural de la losa. El punto final de los trabajos llega con la impermeabilización provisional de la losa y de los paramentos verticales de la celda de almacenamiento.

Todo estos trabajos se realizan con unos rigurosos controles de calidad que incluyen, además del hormigón, la realización de ensayos mecánicos de los aceros y de probetas de soldadura por parte de dos laboratorios independientes. ■



Vertido de la grava de relleno en la cruceta central de una celda de almacenamiento.

© Enresa

ITALIA AVANZA EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO DEL REPOSITORIO NACIONAL PARA RESIDUOS RADIATIVOS

Sogin es la empresa estatal responsable en Italia de la clausura de las instalaciones nucleares y la gestión de residuos radiactivos, incluidos los producidos en actividades industriales, investigación y medicina nuclear. Desde 2010, este organismo tiene la misión de localizar el emplazamiento, construir y gestionar el futuro almacenamiento para los residuos radiactivos que se generan en este país.

Este centro estará compuesto por una instalación de almacenamiento en superficie con barreras de ingeniería con una capacidad de 75.000 m³ de residuos de baja y media actividad, y un complejo para el almacenamiento temporal a largo plazo de unos 15.000 m³ de residuos de alta actividad, procedentes fundamentalmente del reprocesado del combustible gastado y residuos de baja y media actividad de vida larga.

La selección de emplazamientos comenzó en junio de 2014, cuando el *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale* (ISPRA), la autoridad de seguridad nuclear italiana, publicó la propuesta de un mapa nacional de áreas potencialmente convenientes (CNAPI). Durante 2015 este mapa se someterá a consulta pública basado en información, transparencia y participación, para, posteriormente, abrir un periodo de presentación de candidaturas para acoger las instalaciones por parte de que las comunidades locales de los territorios incluidos en el mapa.

Sogin está desarrollando actualmente el diseño preliminar del repositorio que se adaptará



© Sogim

Concepto de almacenamiento de residuos de baja y media actividad italiano.

a las características específicas y el contexto social del emplazamiento, cuando éste se haya seleccionado.

El centro de almacenamiento se integrará un parque tecnológico, abierto a la cooperación internacional, para promover proyectos de investigación y desarrollo en la gestión de residuos radiactivos y el campo de la protección radiológica, así como el desarrollo sostenible. ■

SKB SOLICITA LA AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL SFR

SKB, la empresa responsable en Suecia de la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado, presentó a finales del pasado año una solicitud para ampliar su instalación subterránea de almacenamiento de residuos radiactivos de baja actividad (SFR) en Forsmark. Con este aumento de capacidad se daría un gran paso hacia una solución definitiva para gestionar los residuos procedentes del desmantelamiento de las centrales nucleares suecas.

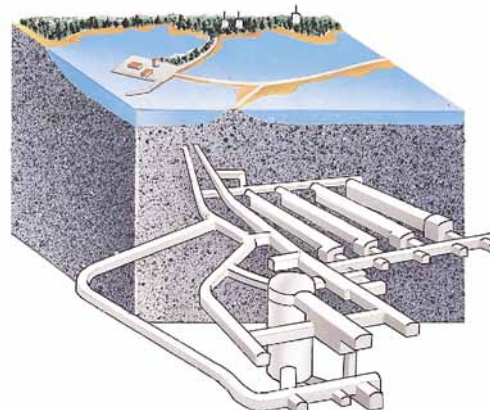
La ampliación constará de seis nuevas cámaras subterráneas, que estarán situadas a la misma profundidad que la parte inferior del actual SFR. Con esta amplia-

ción, la instalación pasaría a tener una capacidad total de 171.000 m³, casi tres veces mayor que lo que supone su tamaño en la actualidad.

El SFR está ubicado en el municipio de Östhammar y comenzó a operar en 1988. Desde su entrada en funcionamiento, ya se habían considerado los planes para una futura extensión.

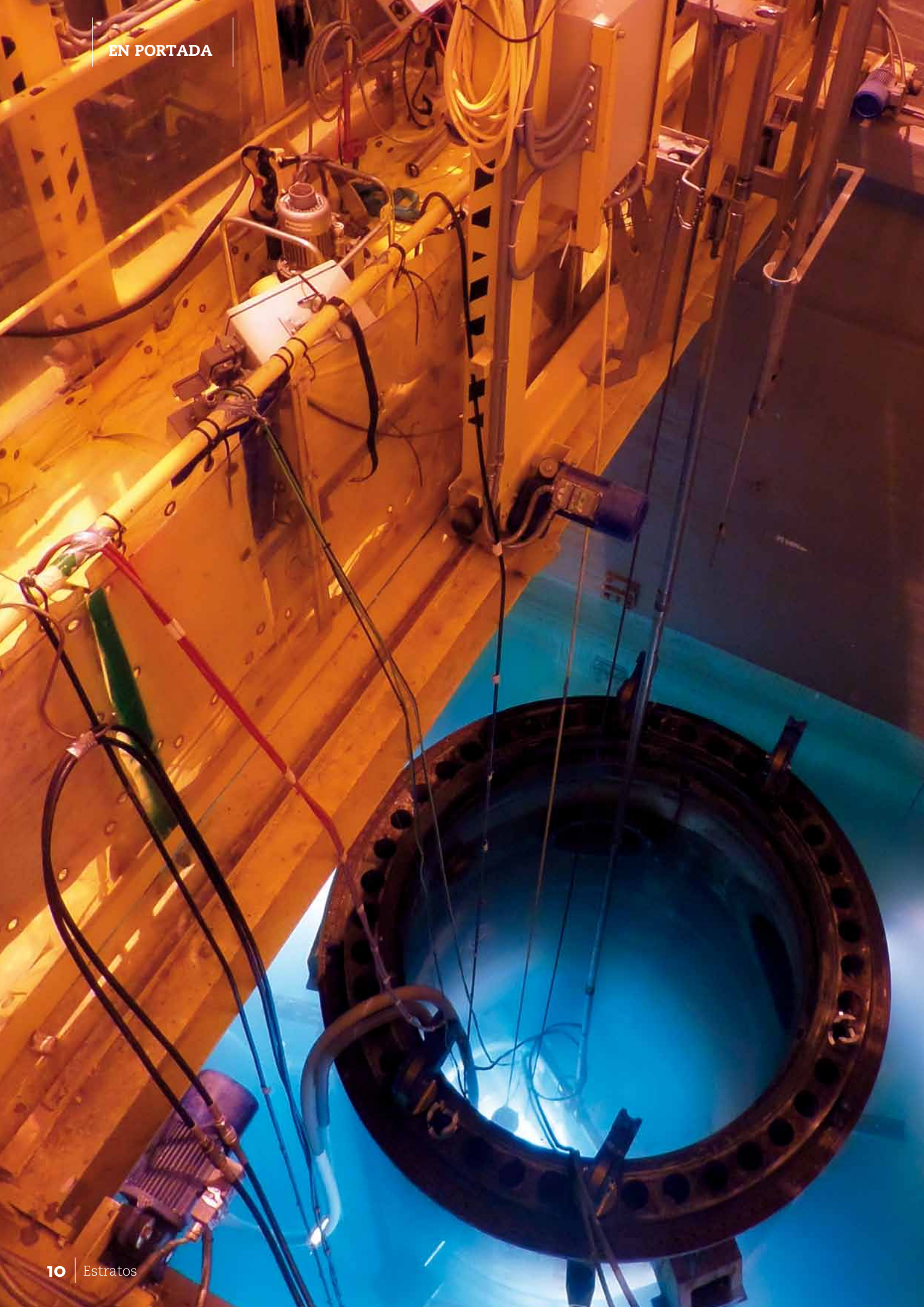
Con el cierre de los dos reactores

de Barsebäck, estos planes se actualizaron para poder acoger los residuos procedentes del desmantelamiento de estas plantas. ■



© SKB

Ilustración de la instalación subterránea del SFR.

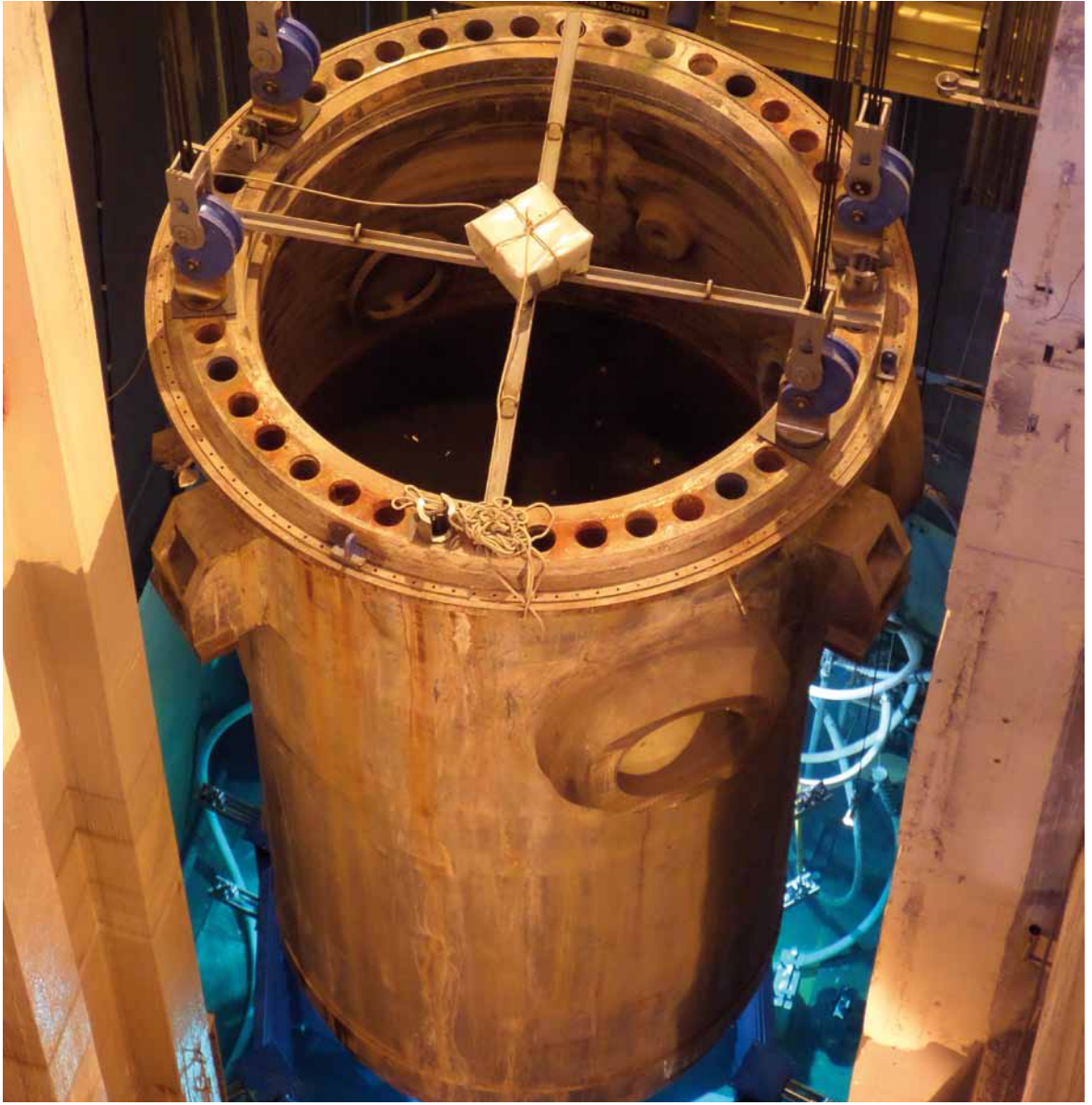




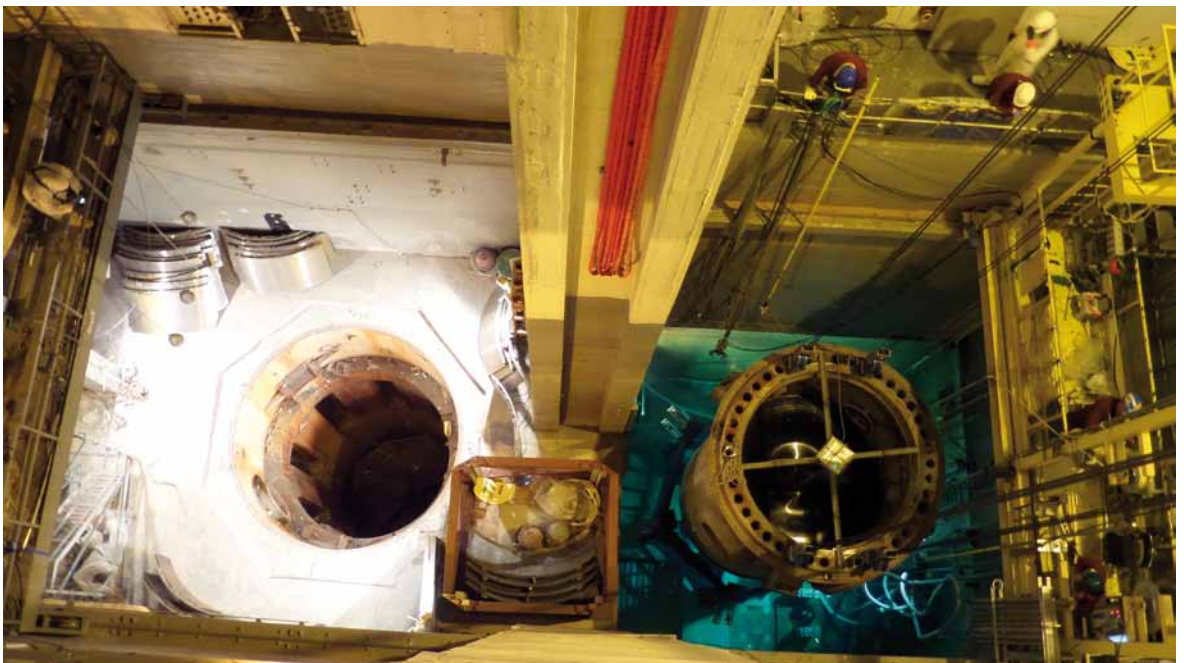
CULMINA EL CORTE BAJO AGUA DE LA VASIJA DEL REACTOR DE ZORITA

Tras su extracción y traslado, la segmentación de la vasija del reactor de la central José Cabrera, que acaba de finalizar, se planteaba como uno de los procesos más importantes del desmantelamiento de esta planta nuclear. Las técnicas y metodologías de corte que se han aplicado siguen despertando el interés mundial de la comunidad técnica y científica.

Fotos : **ENRESA**



Extracción y traslado de la vasija del reactor a la zona de segmentación.



Vasija en la zona de trabajo. Puede observarse la cavidad en la que estaba emplazada.

En junio del año pasado, comenzaba uno de los retos más importantes del desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera: la extracción de la vasija del reactor de su ubicación original, la cavidad de recarga, y su traslado al antiguo foso de combustible gastado para acometer su segmentación bajo agua.

Tras diez meses de operaciones, los trabajos de segmentación terminaron en mayo. En total, se han realizado más de 172 metros lineales de corte y se ha actuado sobre 95 toneladas de material.

EXTRACCIÓN Y TRASLADO

En junio de 2014, se procedió a extraer la vasija para trasladarla a una estructura soporte ubicada en el antiguo foso de combustible gastado. La operación de extracción y

Tras diez meses de operaciones, los trabajos terminaron en abril. En total, se han realizado más de 172 metros lineales de corte y se ha actuado sobre 95 toneladas de material

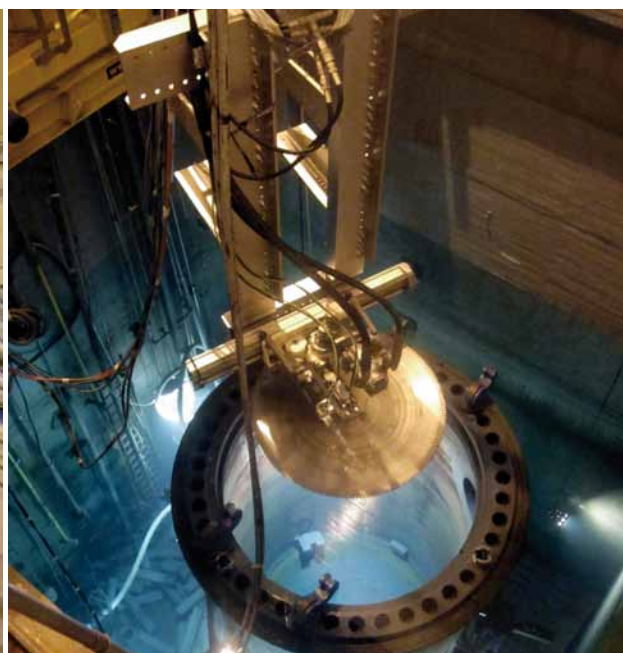
traslado, una de las más complejas realizada hasta el momento, tuvo una duración de 10 horas.

En los meses anteriores a este trabajo de extracción y traslado, se acometieron una serie de trabajos preparatorios que posibilitaran esta maniobra. Así, se retiraron los anillos de sellado y blindaje que rodeaban la parte superior de la vasija, se cortaron las toberas y conduc-

tos de inyección de seguridad, así como los tubos guía de los equipos de instrumentación, se desmontó el revestimiento térmico de la vasija y se realizó el montaje en el foso de la estructura de soporte sobre la que se ha colocado la vasija para su segmentación. Además, hubo que instalar un pórtico especial de izado, diseñado para el levantamiento de estructuras de gran tonelaje.



Las 120 toneladas de peso de la vasija llena de agua hizo necesaria la instalación de una estructura de izado hidráulico para su traslado.



Montaje de la sierra de disco durante la primera fase de la segmentación.



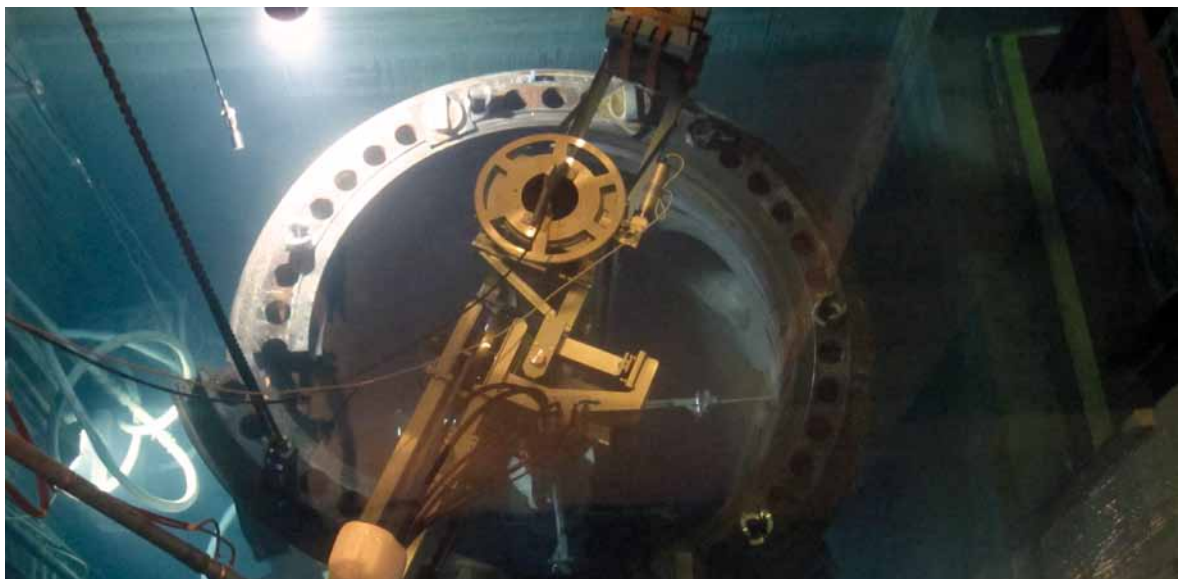
Puesto de control y ejecución de los trabajos de corte.

SEGMENTACIÓN ROBOTIZADA

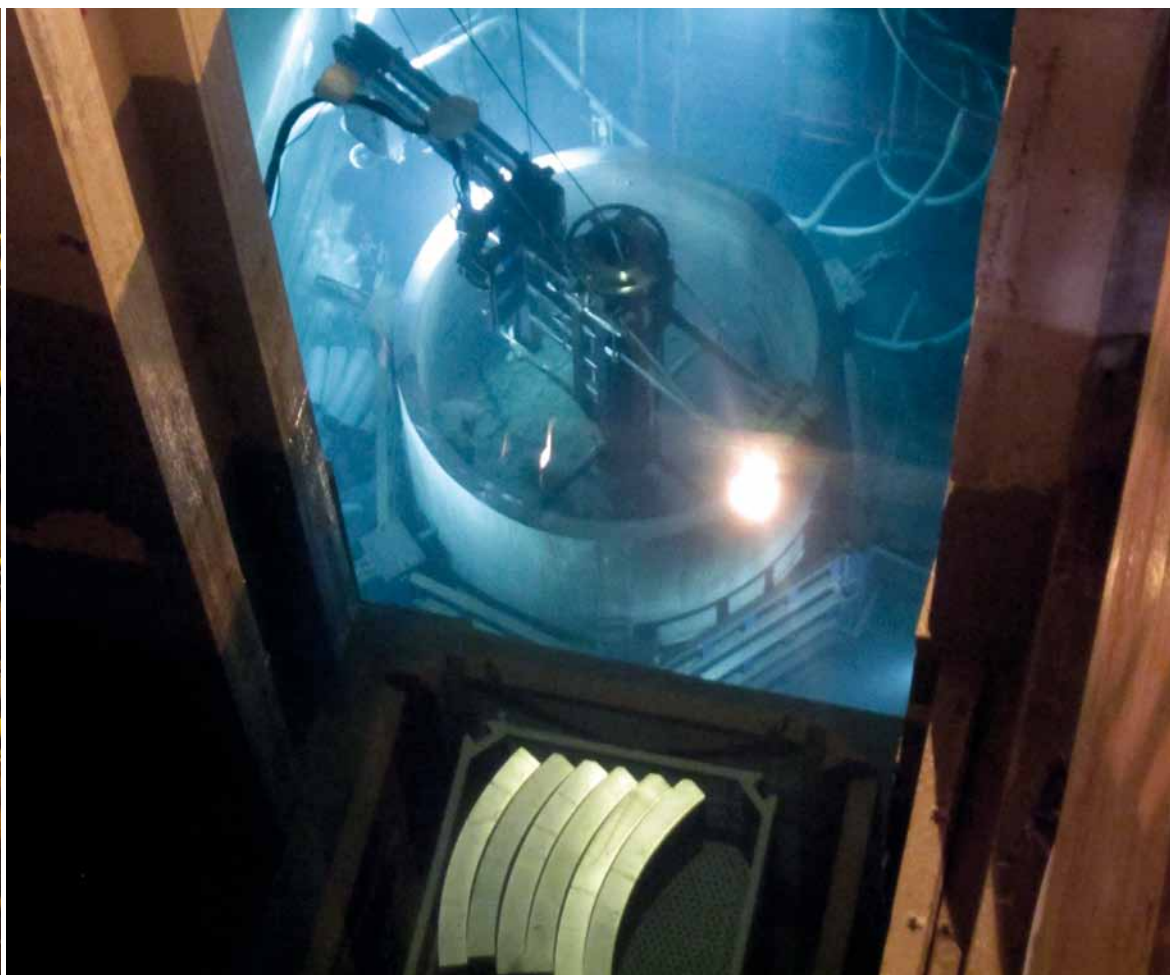
La vasija, fabricada en acero al carbono y con un peso aproximado

de 100 toneladas, se ha cortado en 112 piezas, que han sido acondicionadas en quince contenedores CE-2a y CE-2b para su traslado y almacenamiento en El Cabril.

El corte se ha realizado bajo agua, con herramientas de corte mecánico robotizadas y el apoyo de un sistema de cámaras de televisión subacuáticas. ■



Trabajos de corte con la sierra de banda en la parte superior de la vasija.



Las piezas segmentadas se depositaron en cestas para su traslado al edificio auxiliar de desmantelamiento.

EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Apenas se han desmantelado una decena de reactores nucleares en todo el mundo de características similares al que operó durante 38 años en la central “José Cabrera”. La mayoría de estos trabajos se han realizado en Estados Unidos donde, como norma general, los grandes componentes se han gestionado como piezas enteras, sin segmentar.

En la actualidad, se llevan a cabo varios proyectos de desmantelamiento con un alcance comparable al de la central nuclear José Cabrera, uno de ellos en Estados Unidos (ZION) y dos en Alemania (Würgassen y Stade).

Según datos del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), existen en el mundo 443 reactores en operación repartidos por 30 países. Por otro lado, 150 reactores de 19 países diferentes se encuentran en parada definitiva, mientras que se están construyendo 66 centrales nucleares en



15 países, la mayoría de estos nuevos reactores en China. Este panorama, dado que la edad media de los reactores en operación es aproximadamente de 30 años, abre un probable escenario de desmantelamiento que irá creciendo a partir del año 2025 en todo el mundo.



Vista aérea de la central nuclear de Leibstadt.

© Nagra

LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN SUIZA

En Suiza, la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado es responsabilidad de sus productores. En el caso de los residuos generados por centrales nucleares, estos se acondicionan y almacenan temporalmente en la instalación de almacenamiento centralizado de ZWILAG, en tanto que los residuos de los productores institucionales son recogidos y gestionados por el Gobierno Federal en el Instituto Paul Scherrer. El destino final de los residuos radiactivos en este país es su almacenamiento definitivo en repositorios geológicos, una tarea responsabilidad de la agencia NAGRA.

AUTOR: **MARIANO MOLINA, JEFE DTO. DE RELACIONES INTERNACIONALES (ENRESA)**

Suiza cuenta con cinco reactores nucleares que, con una potencia de 3.200 MWe, generan casi el 40% de la electricidad producida en el país. A consecuencia del accidente de Fukushima, el Gobierno Federal decidió suspender en 2011 la tramitación de tres solicitudes de licencia para la construcción de nuevos reactores en emplazamientos nucleares ya existentes. Con posterioridad, ese mismo año, el Gobierno y el Parlamento convirtieron esta decisión en una política de abandono de la energía nuclear con la prohibición de construcción de nuevas plantas. La política energética a largo plazo está siendo objeto de debate todavía en el Parlamento. En principio, se mantiene el permiso de operación de las centrales existentes mientras puedan demostrar que lo hacen en condiciones seguras; sin embargo, en 2013 la empresa propietaria de Mühleberg, una central nuclear tipo BWR con 373 MWe de potencia, decidió su cierre en 2019.

Tabla 1. Reactores suizos en operación

REACTOR	TIPO	MWE	FECHA DE INICIO OPERACIÓN	FECHA ESTIMADA DE CIERRE
Beznau 1	PWR	365	1969	2019
Beznau 2	PWR	365	1971	2021
Gösgen	PWR	1.010	1979	2029
Mühleberg	BWR	373	1971	2019
Leibstadt	BWR	1.220	1984	2034
Total (5)		3.333		

Hasta 2003, la legislación suiza daba libertad a sus compañías eléctricas para reprocesar el combustible gastado o destinarlo directamente a su almacenamiento definitivo. En esta fecha, el Parla-

mento decidió una moratoria del reproceso de 10 años, a comenzar en 2006. La decisión final sobre esta política continúa en discusión, aunque la propuesta oficial es su suspensión definitiva. El plutonio y el uranio recuperado fueron empleados para fabricar combustibles MOX y utilizarlo en las centrales.

El Instituto Paul Scherrer (PSI), de titularidad pública, realiza la mayor parte de la investigación nuclear. En el ámbito de los residuos radiactivos, junto a los trabajos de este organismo, son importantes los que efectúa la agencia de gestión NAGRA en los laboratorios subterráneos de Grimsel (experimentos en granito) y de Mont Terri (experimentos en arcilla). El primero es propiedad de la agencia, mientras que el segundo es gestionado por la Oficina Federal de Topografía. Ambas instalaciones están abiertas a la cooperación internacional con diversos países, entre los que se encuentra España.

La gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado es responsabilidad de sus productores. La Ley de la Energía

en la *Ley de Protección Radiológica*. En el primer caso, el acondicionamiento y almacenamiento temporal es realizado por las plantas nucleares. Los residuos de los productores institucionales son recogidos y gestionados por el Gobierno Federal en las instalaciones del Instituto Paul Scherrer.

POLÍTICA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Las leyes y disposiciones principales en la gestión de residuos radiactivos y combustible gastado son:

- La Ley de la Energía Nuclear de 2003.
- La Ley de Protección Radiológica de 2004.
- La Ley de Responsabilidades Nucleares de 1983.
- La Ordenanza sobre el Fondo de Desmantelamiento y sobre el Fondo de Gestión de Residuos Nucleares de 2007.

Suiza es también signataria de la *Convención Conjunta de Seguridad* de la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado.

Los principios y mandatos más importantes de la legislación mencionada son los siguientes:

- La generación de residuos debe ser minimizada.
- Los residuos producidos en Suiza deben ser, en principio, almacenados definitivamente en el país.
- Los productores son responsables de su gestión segura, incluyendo el almacenamiento o disposición definitivos.
- La Confederación se hace cargo de la recogida, acondicionamiento, almacenamiento y disposición final de los residuos producidos en el sector

El coste de la gestión final de los residuos y de desmantelamiento de todas las centrales suizas es de 19.500 millones de euros para una previsión de vida útil de las nucleares de 50 años

de la medicina, de la industria y de la investigación.

- Todos los residuos, incluidos los de baja actividad, deben ser almacenados definitivamente en repositorios geológicos en profundidad; se debe garantizar la posibilidad de su recuperación antes del cierre de estas instalaciones con ‘esfuerzos razonables’.
- La viabilidad del concepto de repositorio debe ser demostrada para que se mantenga el permiso de operación de las plantas existentes.
- Los operadores de las centrales nucleares deben preparar y remitir al Gobierno Federal, para su aprobación, un Programa de Gestión de Residuos cada cinco años. Este plan debe abordar todas las fases de la gestión, incluyendo la disposición definitiva y la evaluación de los costes asociados.
- Los mismos operadores están obligados a efectuar pagos anuales al Fondo de Desmantelamiento y al Fondo de Gestión de Residuos Nucleares.
- Las centrales e instalaciones nucleares deben ser desmanteladas al final de su vida operativa. El proyecto debe ser elaborado por sus propietarios y aprobado por la autoridad reguladora, la Inspección Federal de Seguridad Nuclear (ENSI).
- Como se ha dicho anteriormente, desde julio de 2006

no está permitido reprocesar el combustible, durante un período de 10 años.

INSTITUCIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS

La Confederación tiene la competencia de establecer el marco legal y sus organismos son responsables de supervisar el funcionamiento de las centrales nucleares y la gestión, y eventual almacenamiento final, de los residuos radiactivos. Las licencias generales, necesarias como primer paso en el licenciamiento de instalaciones nucleares, sólo pueden ser otorgadas por el Consejo Federal que debe contar con la aprobación del Parlamento y están sujetas, opcionalmente, a un referéndum nacional. El Departamento o Ministerio Federal del Medioambiente, Transporte, Energía y Comunicaciones (DETEC) otorga las autorizaciones de construcción y operación, subsiguientes a la general. La Oficina Federal de Energía (SFOE), dependiente del DETEC, participa en la organización y puesta en práctica de los diversos procedimientos de otorgamiento de licencias y prepara las bases para la toma de decisiones de los organismos federales. La SFOE lidera también el proceso de selección de emplazamientos.

Por otra parte, ENSI es la autoridad reguladora, responsable del seguimiento y supervisión de la seguridad nuclear y la protección

radiológica en las instalaciones nucleares durante todo su ciclo de vida. De forma similar al Consejo de Seguridad Nuclear en España, ENSI, que desde 2009 es plenamente independiente y sólo reporta al Consejo Federal, establece los requisitos regulatorios en las correspondientes guías o instrucciones, revisa las solicitudes de licencias y supervisa las instalaciones nucleares.

La Oficina Federal de Salud Pública es el organismo que autoriza la manipulación del material radioactivo no sujeto a la *Ley de Energía Nuclear*, empleado por los productores institucionales o productores de los sectores de la medicina, industria no nuclear e investigación. Tiene también la responsabilidad de monitorizar los niveles de radioactividad ambiental y organizar las campañas anuales de retirada de los residuos de estos productores.

Según la legislación, los productores de residuos radiactivos –centrales nucleares y el Gobierno Federal, en el caso de productores institucionales– deben garantizar que estos son gestionados de manera segura y definitiva. Para poner en servicio una solución de almacenamiento final, se creó en 1972 la Cooperativa Nacional para la Disposición de los Residuos Radiactivos (NAGRA). Esta organización es la encargada del almacenamiento final de todos los residuos radiactivos en Suiza, lo que incluye la preparación de propuestas y solicitud de licencias y la operación de los repositorios. Además de estas tareas técnicas, NAGRA tiene encomendada la misión, por delegación de los productores de residuos, de redactar la propuesta de *Programa de Gestión de Residuos*. Se ocupa también de actualizar periódicamente las estimaciones

de costes de la gestión que sirven como base para determinar las aportaciones anuales de los operadores de las centrales nucleares al Fondo de Gestión de Residuos.

ESTRATEGIA DE GESTIÓN

Los residuos radiactivos producidos en la utilización de radioisótopos en medicina, industria no nuclear y en la investigación son recogidos por el instituto Paul Scherrer, por delegación de la Oficina Federal de Salud Pública. El Instituto los acondiciona y almacena en la Planta Federal de Almacenamiento, ubicada en sus instalaciones en Villigen, cerca de Zúrich.

Los residuos radiactivos procedentes de la operación de las centrales nucleares se acondicionan y se almacenan, en su mayoría, en los propios emplazamientos de las plantas. En el pasado, algunos de estos residuos se trataron y acondicionaron en el PSI. Actualmente, estas operaciones se realizan en la Instalación de Almacenamiento Centralizado ZWILAG que cuenta, entre otras, con una planta de fundición y otra de tratamiento por plasma.

ZWILAG es una instalación nuclear situada en Würenlingen, cerca del PSI, operada por la compañía del mismo nombre y propiedad de las empresas eléctricas con producción nuclear. La planta fue construida en 2001 con la intención de que fuera el almacén centralizado de residuos de alta actividad de Suiza, tras su retorno desde las plantas de reprocesado en Francia y Reino Unido. ZWILAG también almacena combustible gastado tras la decisión de poner en moratoria su reprocesado. La instalación está compuesta por los siguientes elementos:

- Una sala de almacenamiento para unos 200 contenedores con combustible gastado o residuos vitrificados de alta actividad.
- Un edificio de almacenamiento para residuos de media actividad con capacidad para unos 4.000 m³.
- Un almacén para residuos de baja actividad que puede albergar 16.500 m³, actualmente en proceso de licenciamiento.
- Un conjunto de instalaciones auxiliares para la separación, descontaminación y acondicionamiento de residuos, entre los que destacan las instalaciones ya indicadas de fundición de piezas metálicas y tratamiento mediante plasma.

La segunda instalación de almacenamiento intermedio de combustible en seco es la planta ZWIBEZ, situada en la central nuclear de Beznau. Este almacén fue autorizado en 1990, con anterioridad a ZWILAG, y comenzó a funcionar en 1994. Consta de una

sala de almacenamiento en seco de contenedores de combustible gastado y residuos de alta actividad vitrificados. Se completa con otra para almacenar residuos de baja actividad procedentes de la operación de la central, que tiene una capacidad de 6.000 m³.

El destino final de todos los residuos radiactivos suizos es su disposición definitiva en repositorios geológicos. Para los residuos de baja y media actividad, el Gobierno Federal aceptó oficialmente en 1988 la demostración de la viabilidad del concepto de repositorio propuesto por NAGRA. Los intentos de construirlo en Wellenberg, en el cantón de Nidwalden, fueron rechazados por la población local en dos ocasiones, tras lo cual, NAGRA desistió de trabajar en este lugar.

La disposición final de los residuos de alta actividad y el combustible gastado, también en formaciones geológicas, ha sido estudiada desde principios de los ochenta.



Almacenamiento temporal centralizado de ZWILAG, en Würenlingen.

© Comet Photoshopping GmbH, Dieter Enz

A pesar de que los primeros intentos se centraron en el estudio y búsqueda de formaciones cristalinas o graníticas, la orientación de los trabajos de investigación se desplazó, a finales de los años noventa y principios de los años 2000, hacia formaciones arcillosas, en concreto, hacia la capa de arcilla opalina presente en el noroeste de Suiza. La demostración de la viabilidad de un repositorio en esta geología realizada por NAGRA fue aprobada por el Gobierno Federal en 2006.

Tanto para los residuos de baja y media actividad como para el combustible gastado y los residuos de alta actividad, el Gobierno Federal, a través de la Oficina Federal de Energía, ha establecido un proceso de selección de emplazamientos conocido como *Plan Sectorial*. Este Plan, aprobado en el 2008 tras una importante fase de consulta pública, define los objetivos del Gobierno, y los procedimientos y criterios aplicables en la selección de luga-

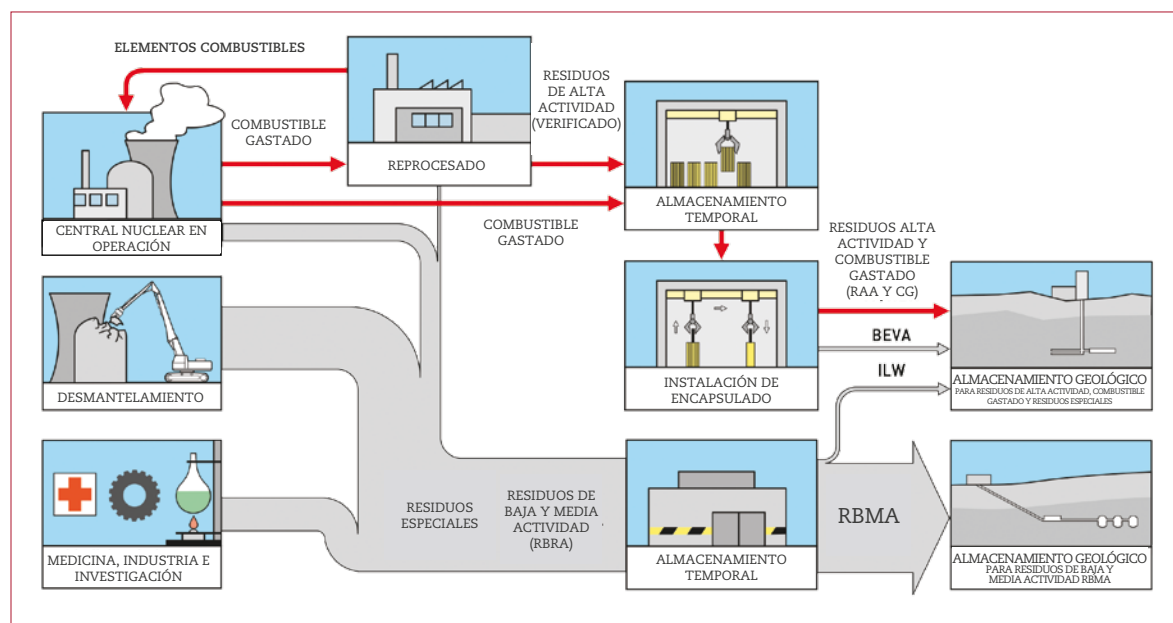
res donde emplazar repositorios geológicos en el país. El proceso se centra en criterios de seguridad, aunque aborda de manera especial la colaboración entre el Gobierno Federal y los cantones, entre las oficinas federales responsables y las organizaciones y personas interesadas, y entre el Gobierno Federal y los países vecinos. El Plan se viene desarrollando en tres fases: en la primera, ya concluida, se han identificado varias regiones consideradas adecuadas desde el punto de vista geológico para construir repositorios de baja y media actividad y para residuos de alta actividad. En la segunda se ha trabajado para investigar más en detalle las regiones anteriormente seleccionadas y se ha reducido su número a las dos consideradas más adecuadas. A finales de 2014, NAGRA anunció que las zonas propuestas al Gobierno eran las de 'Zúrich-Noreste' y 'Jura Este' ambas en el norte de Suiza; las candidaturas, que deben ser aprobadas por el Consejo Federal, están siendo revisadas actualmen-

te por ENSI. La aprobación oficial de estas dos regiones iniciará la fase tercera del *Plan Sectorial*, durante la cual se efectuarán investigaciones detalladas destinadas a permitir efectuar una propuesta final de emplazamiento para los dos repositorios. La opción que se elija finalmente dará paso a la preparación de una solicitud de licencia general para cada uno de ellos. Se estima que el repositorio de baja y media actividad podría estar operativo en torno a 2050 y que el de residuos de alta actividad lo estaría diez años después.

DESMANTELAMIENTO DE INSTALACIONES

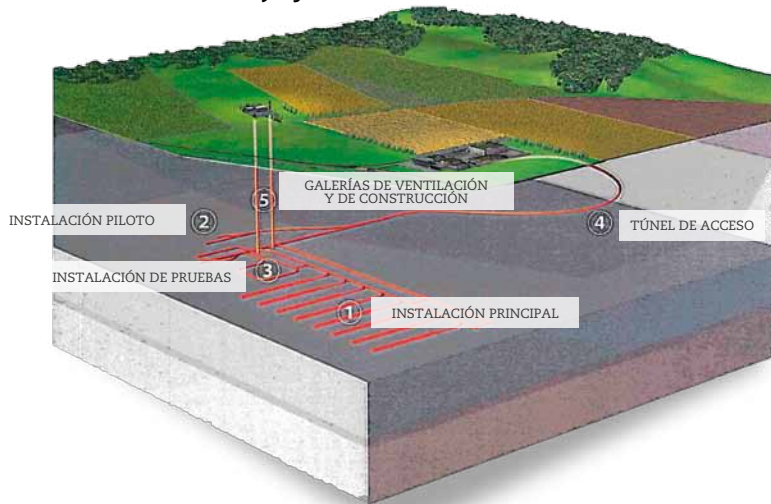
La regulación suiza exige que los propietarios de instalaciones nucleares definan sus compromisos respecto a su desmantelamiento al solicitar la licencia general. Las solicitudes posteriores de construcción y operación deben incluir un plan de desmantela-

Figura 1. Esquema de la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado en Suiza



© Nagra

Figura 2. Concepto de almacenamiento geológico definitivo de residuos de baja y media actividad



© Intel AG, Claudio Köppel

miento, que, una vez aprobado, debe actualizarse periódicamente durante el funcionamiento de las plantas.

Al término de la vida operativa, el propietario debe enviar a las autoridades reguladoras un proyecto concreto. La aprobación de ese proyecto motiva una resolución de desmantelamiento emitida por DETEC.

Se espera que, al cierre de los cinco reactores comerciales, se inicie una fase post-operacional que dure entre cuatro y cinco años, durante la que se retire el combustible gastado y comience el trabajo técnico y administrativo de preparación del desmantelamiento. La estrategia posterior responde a lo que se conoce como ‘desmantelamiento inmediato’, que acomete los trabajos justo después de la fase post-operacional hasta la remoción total de todos los materiales y componentes de la central y la desclasificación de su emplazamiento.

FINANCIACIÓN DE LA GESTIÓN

De acuerdo con el principio de que ‘quien contamina paga’, los productores de residuos son responsables de garantizar, a su coste, la gestión segura y el almacenamiento final de estos materiales.

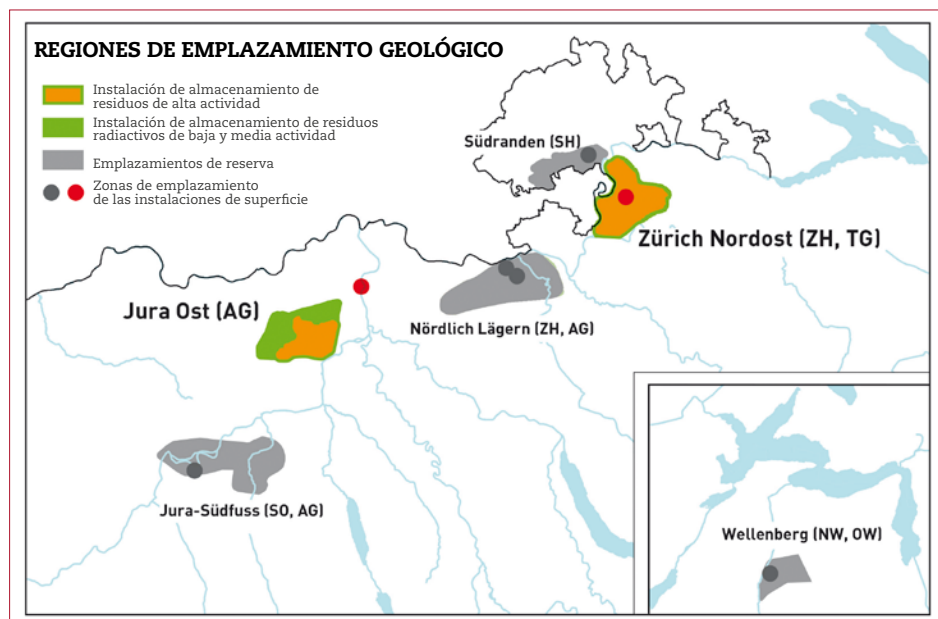
Mientras que los costes corrientes (reproceso, gestión temporal, etc.) se pagan cuando se producen, la cobertura de los costes de la gestión a largo plazo, cuando las centrales hayan concluido su vida operativa, se asegura mediante aportaciones a fondos independientes: el Fondo de Desmantelamiento de instalaciones nucleares y el Fondo de Disposición de los Residuos Nucleares.

Los dos fondos tienen estatus de entidades legales independientes, administradas por una Comisión de Gestión cuyos miembros son

nombrados por el Consejo Federal. Las aportaciones de los operadores de las centrales tienen carácter anual y están basadas en estimaciones de costes obtenidas mediante estudios específicos de desmantelamiento y disposición final elaborados por las empresas eléctricas y revisados por las autoridades de seguridad nuclear. La cantidad estimada para el coste de la gestión final de los residuos y de desmantelamiento de todas las centrales es de 20.700 millones de francos suizos (19.500 millones de euros) para una previsión de vida útil de las nucleares de 50 años.

A finales de 2013, el Fondo de Desmantelamiento contaba con activos por importe de 1.697 millones de francos suizos (aproximadamente, 1.600 millones de euros al cambio actual), mientras que el Fondo de Disposición de los Residuos Nucleares alcanzaba los 3.578 millones de francos (3.400 millones de euros). ■

Figura 3. Lugares propuestos para el emplazamiento de repositorios geológicos en Suiza



© Nagra



EMILIO LORA-TAMAYO, PRESIDENTE DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)

“HOY LOS INVESTIGADORES SON CONSCIENTES DE SU NECESIDAD SOCIAL”

Generar y transferir conocimiento, formar y divulgar. Éstas son las tareas que Emilio Lora-Tamayo tiene encomendadas como máximo directivo del tercer mayor centro europeo de investigación. Un organismo que tiene la función, entre otras muchas, de ayudar a crear empresas con base tecnológica y que apuesta por que sus profesionales busquen aplicaciones prácticas en lo que investigan. Ante la ‘fuga al extranjero’ de capital humano formado en España, los responsables del CSIC consideran que no importa la ‘movilidad’ de los investigadores españoles siempre y cuando los centros de investigación del país tengan la capacidad de contratar al mejor profesional en el momento que lo requieran.

Texto: **PABLO ALMERA**

Fotos: **CSIC**

V

inculcado al CSIC desde 1975, el actual presidente del Consejo ocupó este mismo cargo entre

2003 y 2004. Emilio Lora-Tamayo (Madrid, 1950) es doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, investigador en varias instituciones francesas y profesor invitado en la Universidad de Berkeley. Desde 1989, es catedrático de la Universidad Autónoma de Barcelona y, desde el 13 de enero de 2012, presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Su área de trabajo es la Microelectrónica y la Nanotecnología. Ha publicado más de 100 artículos en revistas científicas y presentado más de 150 comunicaciones a congresos nacionales e internacionales. Es coautor de siete patentes y de más de una docena de libros y capítulos de libros especializados y ha participado y dirigido más de 50 proyectos nacionales e internacionales de I+D.

¿Cuáles son las funciones del presidente del CSIC? ¿Le permiten seguir desarrollando tareas centradas en la investigación?

Las mismas que tiene cualquier máximo directivo de un organismo público de investigación que sea un referente. En el caso del CSIC, se trata del mayor de España y el tercero de Europa. La misión es generar y transferir conocimiento, formar y divulgar. Afortunadamente, mis funciones como presidente me permiten también seguir al tanto de las investigaciones relacionadas con mis disciplinas para así poder estar al día.

Esas disciplinas son la microelectrónica y la nanotecnología. ¿Cómo se puede explicar que están suponiendo o supondrán

en su día a día los avances en estos campos?

El consumidor tiene una relación muy directa con la microminiaturización de la electrónica, pero, si no es consciente de ello, es porque no se ha parado a pensar su vinculación con los aparatos que usa. La electrónica, si nos remontamos a los años cincuenta del siglo pasado, se limitaba a aparatos llenos de lámparas. Más tarde, se desterraron las lámparas gracias al conocimiento obtenido en una de las ramas de la ciencia que, en principio, nada tenía que ver con la electrónica: la mecánica cuántica... Un campo en el que, cuando yo empecé a trabajar en él, muy pocas personas sabían para qué servía. Lo primero, para ampliar los límites del conocimiento. Lo segundo, para poder explotarlo. En este caso, con la introducción del transistor de silicio de dimensiones milimétricas y, a partir de ahí, con el circuito integrado en soluciones micro-métricas. Todo eso es lo que ha permitido el gran desarrollo de las tecnologías de la comunicación, que van desde internet hasta los teléfonos móviles o la electrónica de los automóviles.

Con la nanoelectrónica -dimensiones de una millonésima de milímetro- cabrá más electrónica en menos espacio, y esto se traduce en más funciones. De todos modos, lo más atractivo del nanomundo es que, al poder reducir el tamaño, aparecen una serie de propiedades en los materiales completamente nuevas que abren la puerta a aplicaciones que nunca habíamos sospechado. El ejemplo clásico es el del oro: cuando uno se refiere a nanopartículas de oro se encuentra con una serie de propiedades hasta ahora desconocidas y con gran potencial en el mundo de la óptica electrónica, por ejemplo. La nanotecnología nos presenta un

nuevo mundo de posibilidades horizontales, pues afectan a muchísimas disciplinas.

Se habla mucho de las bondades de la nanotecnología, pero, como en toda tecnología avanzada y novedosa, no estará completamente testada ¿qué riesgos puede generar?

Esta es una vieja controversia. La tecnología no es ni mala ni buena, sino todo lo contrario; depende de los usos. Respecto a la nanotecnología existe una diferencia positiva. Si uno escoge cualquier otro sector tecnológico y analiza su historia, las desventajas se constatan pasados unos años. Con la nanotecnología, desde el principio de la investigación, ha existido una gran preocupación por los aspectos éticos, médicos, ambientales... Los avances y el estudio de sus posibles riesgos, ahora mismo, corren en paralelo y existen directivas europeas específicas para el control y el manejo de las nanopartículas.

En 2003, usted fue el responsable del inicio del cambio de figura jurídica bajo el que se amparaba el CSIC ¿Qué diferencia a un organismo público de investigación de una agencia estatal de investigación?

Ese año, cuando me hice cargo del Consejo, en las conversaciones previas con el Ministerio Ciencia y Tecnología le puse de manifiesto, como ya habían hecho mis antecesores, la obsolescencia del modelo de gestión, que imposibilitaba la eficacia, la flexibilidad y la optimización. Desde el Ministerio se me indicó que adelante, que comenzáramos a trabajar, y así lo hicimos. Empezamos con una ley *ad hoc*, pero sólo tuvimos tiempo de elaborar un borrador de anteproyecto que quedó sobre la mesa. Me consta que mi

Hoy en día, los investigadores tienen mucho más claro la conveniencia y necesidad de buscar caminos de aplicación para lo que estudian y son conscientes de la necesidad social de su investigación

sucesor intentó que llegara a proyecto de ley. Al final, no se siguió adelante, pero al presidente de aquella época le propusieron que se acogiera a la nueva figura de agencia estatal que se puso en marcha en 2006. Un año más tarde, el CSIC empezó a funcionar como tal. El problema es que era, y sigue siendo, una agencia estatal incompleta porque carece del contrato de gestión entre el Consejo y el Gobierno. Eso nunca se ha materializado.

En esta legislatura nos hemos encontrado con un grave problema económico que nos ha obligado, durante los dos primeros años, a concentrarnos en él para evitar la quiebra técnica. Conseguimos solventarlo en octubre de 2013 y, a partir de enero de 2014, logramos un presupuesto sin déficit por primera vez en siete años. Ahora la situación está encarrilada.

El CSIC está situado como organismo público de investigación en la tercera posición en Europa y la séptima en el mundo. ¿Ocupa el lugar que merece? ¿A qué puesto podría aspirar?

En los niveles de producción que estamos no resulta nada fácil moverse en la clasificación, ni hacia arriba ni hacia abajo. De todos modos, las consecuencias del bache de la crisis no se podrán analizar hasta pasados tres o cuatro años. Sea como fuere,

no nos podemos comparar, ni en medios ni en personal, con el Max Planck alemán o el CNRS francés, que son los dos primeros. Ahora mismo, lo que haríamos inyectando más recursos sería aguantar el fuerte desarrollo de los centros de países emergentes.

¿Se han visto ya superados los conceptos de investigación básica y de la transferencia del conocimiento al sector productivo?

Los conceptos de 'investigación básica' y de 'investigación aplicada' han quedado obsoletos. Por investigación básica entendíamos aquella cuya razón de ser no era más que la generación del conocimiento sin una finalidad específica. Y aplicada, la que iba dirigida a fines específicos. La pregunta es ¿quién es capaz de decir que la investigación básica no va a llegar a tener aplicación? La investigación sólo tiene que ser buena, de calidad. Nuestros profesionales llevan a cabo investigación básica que se publica, pero al mismo tiempo pueden estar trabajando con una beca para que se transfieran esos conocimientos. Hoy en día, los investigadores son conscientes de la necesidad de buscar caminos de aplicación a sus trabajos de investigación.

¿De qué manera contribuye el CSIC a la creación de empresas de base tecnológica?

Dando toda clase de facilidades, dentro de lo que nuestra estructura y gestión nos posibilita. Sin ir más lejos, en los últimos diez años el CSIC ha puesto en marcha más de cien empresas, más de cien *spin off* (proyectos nacidos como extensión de otro anterior), de las que actualmente se mantienen en funcionamiento ochenta y cinco.

¿Cuál es el reto más importante al que se ha debido enfrentar el CSIC en estos años de crisis?

El principal problema era la tasa para reemplazar al personal que se jubilaba. Hace dos años, entraron cinco investigadores. En 2014, veintitrés. Este año, por fin, se ha normalizado la situación y han salido plazas para ciento quince investigadores.

Cuando se genera una patente gracias a las investigaciones en el seno del CSIC ¿revierte de alguna manera sobre la Agencia, rinde plusvalías?

El presupuesto del Consejo proviene de tres fuentes: las transferencias ministeriales, los fondos competitivos que se obtienen presentando proyectos a las convocatorias nacionales e internacionales o con los contratos dirigidos por empresas, y de lo que generamos con nuestra actividad o por los rendimientos de nuestra actividad. En este punto entran desde los ingresos por las entradas al Real Jardín Botánico, que pertenece al Consejo, hasta los royalties que rinden nuestras patentes.

Una patente cuesta dinero mantenerla y tiene que ser licenciada para que produzca rendimiento. Algunas han sido muy rentables. Otras, en cambio, no. Un ejem-

plo de lo que no se debe hacer es la decisión que se tomó con el caso de las gulas, un invento de Consejo, concretamente del Instituto del Frío. Su patente se vendió en su día por seis mil euros, un millón de las antiguas pesetas. Si se hubiera actuado de otra forma habría generado muchos más beneficios. Patentar es muy fácil, lo difícil y costoso es que la patente atraiga el interés y que sea licenciada. Por eso, en el CSIC llevamos a cabo análisis de viabilidad. Se dispone de unas 450 patentes dinámicas y cada año se dan de baja 70 u 80 -que antes se le ofrecen al investigador por si a éste le interesa- e incorporamos otras tantas.

Hay quien afirma que en España se forma a grandes investigadores, pero que se los llevan otros países, ya que estos profesionales no tienen más remedio que abandonar el país ante la falta de oportunidades.



El presidente del Consejo está especializado en los campos de la Microelectrónica y la Nanociencia.

Es una realidad que hay excelentes investigadores que acaban su periodo de formación y que deben irse al extranjero. Pero no hay que quedarse necesariamente allí donde se haya estudiado. Creo que es fundamental que uno sea capaz, fuera de su ámbito educativo, de enfrentarse a retos en

condiciones más exigentes. Eso es bueno para el investigador; producir ciencia en cualquier sitio es un gran valor añadido. Ahora bien, también sería interesante tener la capacidad de poder reclutar de forma dinámica a los investigadores, estén fuera o no de España. No significa mucho que un profesional se haya formado con dinero español. Lo importante para un centro investigador es poder contar con el mejor profesional que requiera en cada momento. Son dos problemas distintos. Uno es disponer de plazas para acoger a los investigadores que el centro necesite, y que además sean los mejores, y otro es que haya quienes se vayan fuera para enriquecer su currículum. Respecto a nuestro personal estable no se está perdiendo a demasiados investigadores. El problema, hasta este año, es que no era posible reponer las plazas de los que se jubilaban. Evidentemente, también está el caso de los que se van porque les ofrecen una mejor remuneración. Algo totalmente aceptable. De cualquier manera, en estos tres últimos años sólo dieciocho profesionales han dejado el CSIC. ■

El CSIC en cifras y letras

- Objetivo: desarrollar y promover investigaciones en pro del avance científico y tecnológico.
- Centros e institutos: cuenta con una red de 123, propios o mixtos, cogestionados con universidades, comunidades autónomas u otras instituciones.
- Unidades de investigación: aparte de las propias, el CSIC cuenta con 160 unidades asociadas constituidas.
- Número de trabajadores: 15.000 profesionales, de los cuales 3.000 son investigadores en plantilla en departamentos universitarios, hospitales o centros tecnológicos.
- Áreas de investigación: humanidades y ciencias sociales, biología y biomedicina, recursos naturales, ciencias agrarias, ciencia y tecnologías físicas, ciencia y tecnología de materiales, ciencia y tecnología de alimentos y ciencia y tecnologías químicas.
- Contribuciones: asesoramiento científico y técnico, transferencia de resultados al sector empresarial, ayuda a la creación de empresas de base tecnológica, formación de personal especializado, fomento de la cultura de la Ciencia, representación científica de España en el ámbito internacional...



Recreación del avión espacial y sus posibilidades de recuperación de satélites.

EMPRESAS ESPAÑOLAS HAN PARTICIPADO ACTIVAMENTE EN EL DISEÑO DE SUS PIEZAS Y SISTEMAS

LA ESA REALIZA CON ÉXITO UNA PRUEBA DE SU PROTOTIPO DE AVIÓN ESPACIAL

Tras la denominación *IXV* se encuentra el prototipo de avión espacial, diseñado por la Agencia Espacial Europea (ESA), con el que Europa pretende conseguir la capacidad de reentrada autónoma en la atmósfera y disponer así de vehículos de transporte que puedan aterrizar con gran precisión, algo básico para los sistemas de vuelo tripulados. Todas las investigaciones y vuelos de prueba realizados hasta la fecha con este Vehículo Experimental Intermedio son la base para el proyecto *Pride*, que tiene como meta fabricar más allá de 2018 un avión espacial europeo totalmente autónomo y reutilizable.

Texto: **BRUNO DÍAZ**
Fotos: **AGENCIA ESPACIAL EUROPEA**

Los europeos deberían sentirse muy orgullosos, porque es la primera vez que se logra en toda la historia de los programas espaciales internacionales hacer reentrar en la atmósfera terrestre un vehículo espacial de esas características y con tanta precisión. Estados Unidos lo intentó hacer en los años sesenta y abandonó la idea, porque sus sistemas no lograron la capacidad de controlar la dinámica de un vehículo que no dispusiera de alas. Rusia lo diseñó sobre el papel, pero a la hora de fabricarlo acabó poniéndole las sempiternas alas". Quien afirma esto con tanta rotundidad es José Longo, responsable de Aerodiná-

mica y Propulsión de la Agencia Espacial Europea (ESA), que destaca la participación española en una parte fundamental del diseño del prototipo *IXV* impulsado por esta agencia, así como a la exitosa prueba que se llevó a cabo con este vehículo experimental en febrero pasado.

Con cinco metros de largo, 2,2 de ancho, 1,5 de alto –aproximadamente del tamaño de un automóvil– y dos toneladas de peso, el aparato está construido con una estructura de carbono reforzado con fibra de polímero y recubierta por paneles de protección térmica. Además, el prototipo *XIV* cuenta con cuatro propulsores, y dos flaps en la parte trasera para aumentar la

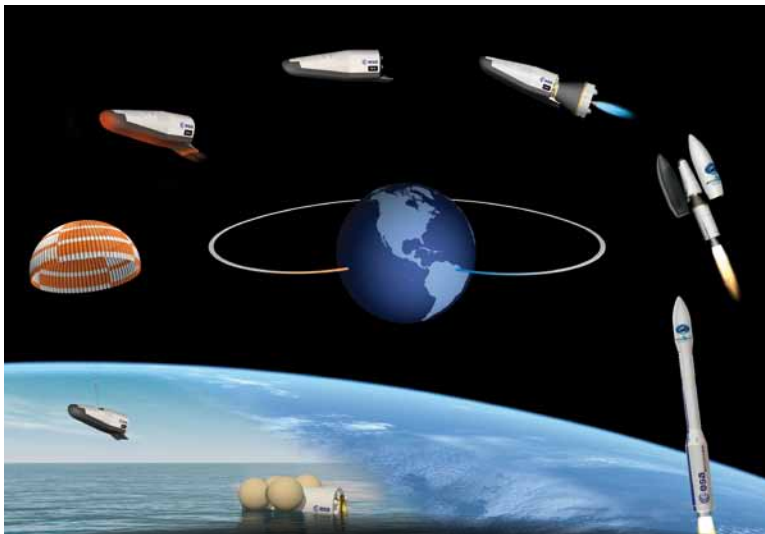
sustentación del avión –todavía está sobre la mesa si en el futuro el avión espacial definitivo dispondrá o no de alas–, sistemas de control, sensores y cámaras. Todo ello ajustado al espacio requerido para poder ser introducido en el habitáculo interno de un cohete Vega ubicado en la base espacial de Kourou, en la Guayana francesa, desde la que fue lanzado al espacio suborbital.

La prueba se llevó a cabo en febrero y con ella se logró que, tras su separación del cohete a 320 kilómetros de altura, el vehículo sobrevolase medio planeta (de la Guayana al océano Pacífico), alcanzando en apenas cien minutos los 450 kilómetros de altitud. Para luego, tras realizar las

Tras su separación del cohete a 320 kilómetros de altura, el vehículo de prueba sobrevoló medio planeta, alcanzando en apenas cien minutos los 450 kilómetros de altitud

operaciones y pruebas previstas, descender y reentrar en la atmósfera terrestre, desplegar un paracaídas que suavizara el descenso hasta el mar e hinchar una serie

de voluminosos globos para que lo mantuviesen a flote hasta ser recuperado en el Océano Pacífico por la tripulación del buque con bandera italiana Nos Aries.



Fases que ha tenido la misión

- 1. El cohete asciende durante unos 18 minutos
- 2. IXV se desacopla del cohete Vega.
- 3. Comienza el vuelo suborbital del vehículo.
- 4. La nave alcanza su pico de altura: 412 kilómetros.
- 5. Se inicia el descenso.
- 6. Comienza el efecto 'bala' al entrar en la atmósfera (120 Km de altitud) a unos 27.000 Km por hora y soportando temperaturas de 1.700 grados centígrados.
- 7. La nave planea a unos 26 km de altura de la tierra.
- 8. Se despliega el paracaídas.
- 9. Se inflan los cuatro flotadores.
- 10. Se posa suavemente en el mar.

GUIADO, CONTROL Y NAVEGACIÓN

Aunque se trate de un vehículo experimental de bajo coste, la inversión de toda la misión se calcula en 150 millones de euros. El proyecto del IXV está liderado por la empresa italiana Thales Alenia, especializada en el desarrollo de sistemas y equipos espaciales, con la colaboración de unas cuarenta compañías europeas. La participación española (del 18%) ha sido muy significativa. “Aunque también trabajó en otras áreas, el rol primario que tuvo España a través de sus empresas fue el de definir la misión del vehículo y la estructura de guiado, control y navegación del mismo. Ése era uno de los tres objetivos fundamentales que se fijaron para el vehículo experimental, demostrar la fiabilidad del guiado automático y la precisión de entrada de retorno a la tierra, en este caso el amerizaje. Esta aportación abre las puertas a seguir investigando para emprender proyectos más importantes, ya que todo ese conocimiento de tecnología adquirido nos va a servir en futuras misiones, como volver a la Luna o poner el pie en Marte”, explica Longo.

Y es que la precisión para aterrizar en planetas lejanos todavía es muy baja. Es decir, lo que se puede garantizar en la actualidad es aterrizar en un radio de entre 50 y 100 kilómetros del punto marcado. Por tanto, si hoy se tuviese que enviar una misión tripulada a otro planeta no podría asegurarse que las provisiones de comida y agua llegasen a una zona cercana en donde estuviesen radicados los astronautas. Por eso para Longo la aportación de lo conseguido con el prototipo de avión es tan

importante: “Hemos logrado que amerizase dentro del kilómetro de discrepancia con respecto al punto original que estaba previsto, algo que para un vehículo que desciende en paracaídas desde 26 kilómetros de altura es todo un éxito”.

PRIDE, UN VEHÍCULO REUTILIZABLE

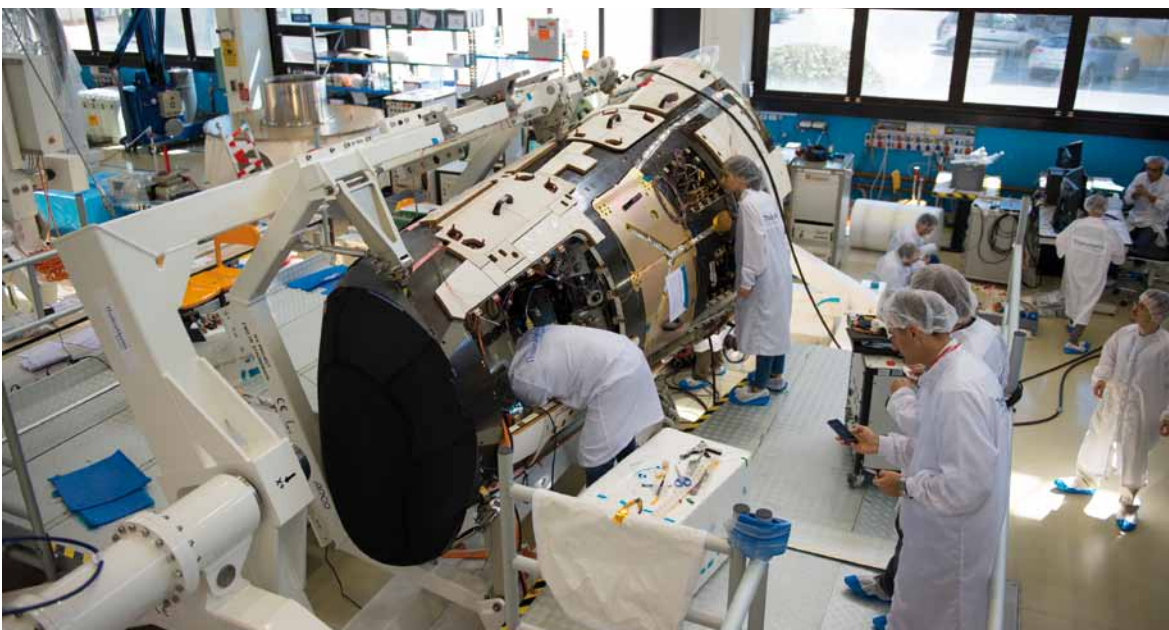
Todo lo aprendido con el IXV debe ser empleado para hacer realidad un vehículo espacial europeo que pueda acoger tripulantes y que, tras llevar a cabo sus misiones en el espacio, pueda regresar a la tierra. Aparato del que no dispone todavía Europa –frente a EEUU o Rusia– aunque sí disponga de cohetes o cargueros espaciales y cuente con una gran experiencia en misiones científicas o en misiones a otros planetas. Con ello se contaría por fin con un vehículo de gran capacidad sustentadora, algo que las capsulas

tienen en mucha menor medida y, a diferencia de los aparatos con alas, mucho más sencillo y económico. Ese segundo paso se llama Pride.

“Para este vehículo de operación en órbita reutilizable, la idea es mantener los roles de las empresa españolas que ya han participado. Aquí el desafío es mayor, porque la meta es conseguir que el vehículo aterrice en pista. Y además se busca lograrlo con el mínimo de cambio en la actual forma del vehículo, que ésta permita generar la capacidad de fuerza sustentadora para que no sea necesario incorporarle alas. Algo que se convierte en un gran reto desde el punto de vista del control de un vehículo, aunque con el IXV se ha visto que es posible manejarlo mediante los flaps y las toberas de control. Quizá sólo haya que añadir alguna superficie sustentadora que no afecte a la configuración del vehículo”, dice Longo.

En cualquier caso, la cuestión de las alas sigue generando debates. Mientras hay quien opina que se le acabarán añadiendo, porque con alas no habrá ninguna dificultad en que aterrice, hay también quien defiende que la nave debería incorporar lo mínimo, ya que no tiene sentido complicar su diseño y añadirle unas alas que sólo las va a usar en ese tramo final, en los últimos minutos de la misión, ya que lo que principalmente hará la nave será operar en órbita la mayor parte del tiempo.

“No hay nada decidido y todavía se está definiendo cómo va a ser Pride: sin alas, con alas pequeñas o con alas y ruedas para que aterrice en pista. El diseño final dependerá del uso que se le vaya a dar al avión, ya sea para recuperar satélites o arreglarlos, hacer experimentos de microgravedad, etc... España sigue aportando fondos y, por tanto, es importante maximizar



Montaje del equipamiento en el interior de la estructura de carbono reforzado del prototipo de avión, en el laboratorio de Thales Alenia en Torino, Italia.

el retorno de las inversiones ya realizadas. Optimizar lo que se ha hecho hasta ahora y dar un paso adelante”, comenta Mariella Graziano, directora de Segmento Espacio de GMV

PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA

Cinco empresas españolas han participado en el diseño y fabricación del IXV. La empresa de ingeniería aeroespacial Elec-nor Deimos se ha encargado de analizar, diseñar y evaluar las

prestaciones de la misión, desde la fase de lanzamiento hasta el amerizaje final. Por otro lado, el subsistema de guiado, navegación y control de vuelo –denominado GNC– ha correspondido al grupo privado de ingeniería y tecnología Sener, en colaboración con Elec-nor y la empresa GMV, desarrolladora de soluciones hardware y software tecnológicamente avanzadas. Un trabajo que ha consistido en el diseño, integración y verificación del sistema de control de vuelo autónomo, que es el encargado

de pilotar el vehículo desde la separación del lanzador Vega hasta su amerizaje en el Océano Pacífico. Por esta razón es uno de los componentes más complejos del vehículo, que se ha diseñado teniendo en cuenta las características de sus superficies aerodinámicas y las funciones de los flaps y los cohetes propulsores. En definitiva, su misión era traer de vuelta a la Tierra al vehículo experimental manteniendo los criterios de seguridad fijados de antemano, así como lograr que amerizase con precisión en la posición prevista.

Para la prueba, el equipo de GMV se ha responsabilizado del subsistema del software que incorpora el vehículo. Algo que resultaba un punto crítico en la misión porque sus tareas debían realizarse de forma autónoma, sin que pudiese intervenir el centro de control terrestre, y cuyos niveles de seguridad y fiabilidad debían estar, por tanto, totalmente garantizados.

“Nuestra colaboración ha sido importante por centrarse de manera principal en el subsistema que incorpora el vehículo para toda la navegación y que es, básicamente, como el piloto del vehículo. Con la función de guiado, es posible acceder a una determinada ruta; con la de control, hacer las maniobras necesarias para mantenerse en ella; y con la de navegación, saber dónde se está en cada momento del vuelo”, dice Mariella Graziano, quien explica que su empresa ha debido implementar todo el software de vuelo: “Algo muy complicado, porque el vehículo es totalmente autónomo. A lo largo de más de una hora, lo que ha durado la misión, el prototipo ha actuado solo. No era posible controlarlo desde Tie-



Ensamblaje del prototipo IXV en la lanzadera Vega, ubicada en la base espacial de Kourou (Guayana francesa).



Momento en el que la tripulación del buque italiano Nos Aries recupera el IXV tras amerizar en el Océano Pacífico y permanecer flotando gracias a unos voluminosos globos.



Un paracaídas suavizó el descenso de la nave tras su reentrada en la atmósfera terrestre.

rra. Eso sí, estaba preparado para que, gracias a una implementación de los algoritmos del GNG, tomase sus propias decisiones ante cualquier contingencia en el vuelo. Ha funcionado perfectamente durante el ensayo, pero, si se hubiese encontrado con algún problema, tenía la capacidad de reiniciar sus sistemas. Con los

datos obtenidos durante el vuelo y la telemetría se hará el post-análisis para saber qué ha pasado en cada momento“.

Otras empresas españolas que han participado son la compañía de ingeniería GTD, cuya contribución ha sido responsabilizarse de verificar y validar, de forma

independiente, que el software de a bordo funcionaba correctamente. Y Rymasa Espacio, que ha fabricado las antenas de comunicación del vehículo y las antenas TTC (Telemedida y Telecomando), que permiten transmitir y recibir las órdenes para controlar y guiar, desde tierra, el lanzador Vega en la misión IXV. ■

Tecnologías ensayadas para misiones futuras

- **Aerodinámica:** se ha requerido validar tanto las herramientas de diseño como la mejora de rendimiento del propio diseño, porque en la actualidad no se dispone de la información necesaria acerca de los fenómenos que ocurren durante el reingreso a la Tierra. Por ejemplo, al entrar en lo que se denomina órbita terrestre baja (LEO), entre 200 y 2.000 km sobre la superficie de la Tierra, el oxígeno y las moléculas de nitrógeno en el aire estallan para disipar las altas energías involucradas en ese momento. Cuando esto sucede, las leyes generales sobre los gases que se usan habitualmente en las simulaciones son reemplazadas por leyes más complejas debido a que los gases se rigen por fenómenos que son difíciles de predecir.
- **Navegación de Orientación y Control (GNC):** se han mejorado los algoritmos de orientación y el acoplamiento de unidades de medición inercial con GPS durante la navegación; se ha investigado la combinación de flaps con los propulsores de control de vuelo; y se han abordado cuestiones complejas de GNC relacionadas con la fase hipersónica de un reingreso en la órbita terrestre baja.
- **Protección Térmica y Estructuras de calor:** se ha validado la capacidad de vuelo de materiales térmicos de protección, así como de otro tipo de complejas soluciones diseñadas, como la expansión térmica, las uniones entre materiales, los sellados, etc... para verificar su reacción ante las situaciones extremas a las que debían ser sometidos durante la reentrada.



El restaurador Rafael Alonso trabajando en 'El pasmo de Sicilia', del pintor Rafael.

EXPERIENCIA Y NUEVAS TECNOLOGÍAS CONFLUYEN EN EL TALLER DE RESTAURACIÓN DEL MUSEO DEL PRADO

MAESTROS EN EL ARTE DE RESTAURAR

Con el paso del tiempo, las obras de arte han de ser tratadas como un delicado paciente al que hay que cuidar de sus achaques y revitalizar su organismo. Por eso, los restauradores de los museos ejercen de médico de cabecera, para hacer el diagnóstico, y de cirujano, para intervenir allí donde sea necesario. El Museo del Prado tiene uno de los talleres de restauración más prestigiosos del mundo y en él se trabaja con la máxima de que 'lo importante es lo que se deja, no lo que se elimina'. Sus profesionales sólo actúan sobre la obra si pueden mejorar sus condiciones de 'vida'.

Texto: **ROSA MARTÍN**

Fotos: **MUSEO NACIONAL DEL PRADO**

Una luz suave, nada estridente, que va adquiriendo los matices del atardecer se cuele por los grandes ventanales del taller de restauración de pintura del Museo del Prado. Situado sobre el antiguo claustro del Monasterio de los Jerónimos, e integrado en la pinacoteca, el gran espacio transpira la tranquilidad que el equipo de restauradores precisa para trabajar sobre obras que forman parte del imaginario cultural universal. A simple vista, nadie diría que han pasado los siglos. Los mismos pinceles, los mismos botes con pinturas, los mismos lienzos, idénticas posturas al enfrentarse a las obras... pero, hasta cierto punto, la impresión resulta engañosa.

Cuando se explora con detalle, se descubre que la tarea que trata de remediar el paso del tiempo también ha experimentado transformaciones en las últimas décadas, al albur de las nuevas tecnologías, si bien su esencia sigue siendo la misma: un trabajo delicado en el que son necesarios profesionales capaces de 'resucitar' aquellas obras humanas que, por avatares de todo tipo, están llenas de achaques.

Enrique Quintana, jefe del taller de restauración, tiene claro cómo debe ser la intervención: "La forma de aproximarnos a las pinturas en el Prado siempre busca devolver la vida a la pintura, que es la que nos dice lo que necesita. El objetivo es que siga comunicándose con el espectador y para ello hay que romper las barreras que se instalan entre ellos. Si el problema es que amarillea el barniz, porque se oxida, lo vamos eliminando para que recuperen profundidad; y lo mismo si es una grieta, o si se ha perdido pintura. Nosotros resta-

blecemos la vida interior de la obra hasta donde es posible".

PINCELES Y ESPECTROGRAFÍAS INFRARROJAS

En la actualidad, en el taller ocupa un espacio preferente una de las grandes obras del Museo: *La Inmaculada Concepción*, de Francisco de Zurbarán. Está en manos de Rafael Alonso, Premio Nacional de Restauración y Conservación de Bienes Culturales del año 2010. Junto al lienzo, con casi cuatrocientos años de historia, está situada una pequeña mesa llena de pinceles, buriles o gafas-anteojos. Y también una radiografía y una espectrografía infrarroja, realizadas por el Laboratorio de Análisis, que permiten al restaurador ver exactamente dónde están las 'lagunas'. "Es algo con lo que antaño no contaban los restauradores. Esta obra, por ejemplo, ha experimentado muchas restauraciones

y ahora, gracias a estas tecnologías, vemos mejor a qué nos enfrentamos. El infrarrojo nos ha permitido comprobar, por ejemplo, que esta pintura en concreto resultó dañada en el pasado por una vela, que debía estar ubicada cerca de la obra y que degradó el color en una zona", explica la restauradora Lucía Martínez Valverde.

Ella forma parte de los doce profesionales con los que cuenta la pinacoteca para trabajar en las 8.200 obras pictóricas que exhibe en sus paredes y almacena en sus sótanos. A ellos se suman otros tres especialistas en escultura, tres para obra gráfica y papel (grabados, fotografías...), tres destinados en exclusiva a los marcos y un experto en los soportes. El Prado es uno de los pocos museos del mundo con un equipo tan amplio. Es comparable al del Hermitage de Moscú, que cuenta con 18, y duplica en número al del Metropolitan, de

Un taller que también es escuela

Casi todo el equipo del taller del Prado pasó por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Madrid, que lleva casi 40 años formando profesionales. "Es un centro en el que casi toda la formación que se imparte es práctica. Ahora se han diversificado las enseñanzas, que se ofrecen también en las facultades de Bellas Artes, para introducir otras materias importantes, como la informática, aunque ha restado tiempo para las prácticas", explica Martínez Valverde.

El taller del Prado es también una escuela a la que acuden restauradores desde muchos rincones del mundo a aprender. Es un impulso que se ha dado desde la Dirección de la pinacoteca y de la que se sienten especialmente orgullosos. Actualmente, la Fundación Iberdrola aporta tres becas al año para estudiantes, a las que se suman las del Ministerio de Cultura. Además, reciben a profesionales de otros países que quieren conocer de cerca cómo se trabaja en este museo. "Es una gran satisfacción para nosotros que vengan a conocer nuestro trabajo", apunta Quintana.

En el Laboratorio de Análisis del Museo a las obras se le realizan pruebas con rayos X, espectrografía por infrarrojos, microscopía óptica con luz ultravioleta y pruebas de cromatografía que permiten analizar sus componentes orgánicos

Nueva York. “Contamos con un gran equipo. Por ejemplo, tener un especialista en soportes, como en nuestro caso José de la Fuente, es fundamental; pocas instituciones disponen de esta figura, pese a que hasta el siglo XVI se pintaba en tabla, un material vivo y que sufre alteraciones con la humedad que requieren un trabajo muy concreto. De hecho, a nuestro especialista le reclaman del extranjero cuando precisan una intervención en esta materia”, explica Quintana.

El responsable de restauración reconoce que cada institución tiene su propia forma de acercarse a las

obras, su ‘escuela’, y la del Museo del Prado es muy conservadora: “Para nosotros, lo más importante es aquello que dejamos, no lo que quitamos, como ocurre en otros enfoques. Para nosotros, una pintura es como una persona. Sólo actuamos si podemos mejorar sus condiciones de vida, si es posible que un espectador se adentre gracias a nuestra actividad en ese espacio mágico y real que es el arte. El problema al que nos enfrentamos puede ser físico y que por su degradación no cautive al espectador, porque no hay que olvidar que son piezas con una gran carga didáctica y emocional”.

DIAGNÓSTICO DE LAS OBRAS

Tomar estas decisiones requiere un proceso que se inicia cuando un conservador detecta ese daño. A continuación, la obra en cuestión es trasladada al Laboratorio de Análisis del Museo, donde se le realizan pruebas con rayos X, espectrografía por infrarrojos, microscopía óptica con luz ultravioleta y pruebas de cromatografía que permiten analizar sus componentes orgánicos (aglutinantes, adhesivos, consolidantes, colorantes, etcétera). Es un lugar con un ambiente muy distinto al taller, más aséptico. En él trabajan otros cuatro técnicos (dos en análisis de imagen y dos en pruebas de química), encargados del diagnóstico técnico del ‘paciente’.

Eso sí, siguiendo el símil médico, los suyos no son análisis definitivos. “Es la obra la que nos habla: ‘Si me tocas aquí, me duele’. La analítica es fría y nos comunica si hay una falta en un punto, pero, a veces, no lo que pasa en toda la superficie. Aunque evidentemente ayuda, hace falta ponerse frente al cuadro para saber por dónde orientar el trabajo, lo que puede resultar lo más difícil y, a veces, requiere un debate entre todos”, apunta el restaurador jefe.

Con toda la información disponible, incluida la histórica, sólo queda ponerse manos a la obra. Prácticamente con los mismos productos que se utilizaban hace más de cien años, porque, aseguran, ya están muy testados y se sabe que son poco dañinos. “Se han mejorado las gelatinas de los animales, que suelen ser de pescado o de conejo, pero en el fondo son lo mismo desde que los restauradores del XIX descubrieron que había que desengrasar los pigmentos para que se pudieran eliminar fácilmente.



Nuevos talleres de restauración de pintura situados en la zona de ampliación del edificio de los Jerónimos.

Cómo se restauró La Anunciación

Difícil es para los profesionales del Prado destacar una de las restauraciones realizadas. Sin duda, una de las más complicadas ha sido la de *La Anunciación*, de Rogier van der Weyden, el autor flamenco. En 2012, comenzaron los trabajos en esta obra, que ha tardado tres años en ser expuesta al público.

Formada por 13 tablas horizontales, y realizada hace más de 500 años, a lo largo de su historia ha sufrido percances que le ocasionaron grietas, deformaciones, fracturas, desconches... y hasta una desastrosa restauración antigua.

El estudio con luz ultravioleta sacó a la superficie todos los repintes anteriores, la radiografía permitió ver todos los injertos que tenía y la fotografía infrarroja ayudó a conocer el diseño previo sobre el que trabajó el autor. Con todo ello, se diseñó la restauración propiamente dicha: se eliminaron los añadidos entre las juntas de los paneles, lo que puso en evidencia que había más pérdida de pintura de la que se creía; se restauró el soporte, para lo que hubo que retirar la estructura de madera añadida, separar cada una de las tablas y volver a unir las después siguiendo la curvatura que tenía la obra original y cerrando las grietas con cuñas de madera. Para finalizar, se creó otro soporte posterior con siete bastidores de una madera flexible que sujetan la tabla. La tarea incluyó el injerto de más de 500 piezas en los cantos del cuadro para ayudar a rectificar las faltas.



Radiografía, estado en que se encontraba la obra y la pintura de Pieter Bruegel El Viejo, *El vino de la fiesta de San Martín* (1566-67), tras su restauración.

También preparamos los barnices, en proporciones que sabemos que se podrán disolver en el futuro, y por supuesto disolventes. Dicen que cada restaurador tiene su receta secreta que no comparte, pero en el Prado no es así", explica Martínez Valverde al abrir el armario en el que guardan los ingredientes con los que aún fabrican artesanalmente muchos de los productos.

Un cambio importante que se ha producido en las últimas décadas ha sido la eliminación de los reen-

telados, es decir, añadidos de tela por el reverso de los lienzos, algo que era habitual llevar a cabo hace unas décadas, pero que ya no se practica, salvo excepciones, porque altera los colores. En general, la postura reacia a las novedades que caracteriza a los responsables del taller de restauración del Museo del Prado les ha evitado cometer errores importantes. Por ejemplo, hace unos años se puso de moda el uso de unos filtros que evitaban los daños de la luz ultravioleta de las bombillas in-

candescentes. “Ahora usamos la tecnología LED, que no emite calor. Si hubiéramos utilizado esos filtros en la restauración no servirían de nada”, comenta la restauradora.

Pero, además de ser alquimista, ¿qué más se requiere para ser un buen restaurador? Martínez Valverde lo explica en pocas palabras: “Esencialmente tener una formación histórica, estética y sobre todo visual. Es importante tener capacidad técnica para reproducir los colores y dibujar. Somos como los arqueros que tensan la cuerda para disparar una flecha en la diana, pero sin margen de error. Por ello, percibir los colores en su justa gradación es fundamental, y en ello hay una parte innata, aunque también se puede practicar”. Otra virtud importante es la prudencia: “Es mejor perder la oportunidad de acercarnos lo más posible a lo que era el original de la obra que cometer errores, como los

que observamos en cuadros que fueron restaurados en el pasado”.

En este punto, Valverde señala lo ocurrido con una copia del *Felipe IV Cazador*, de Diego de Velázquez: “Aquel cuadro tenía una veladura amarilla y parecía que se debía a que el barniz se había oxidado, pero no era así. El autor lo había pintado con ese tono porque lo copió del original cuando ya estaba amarillento: era lo que él veía. Por ello hay que tener cuidado. Y es importante no llegar al fondo de todos los colores; se trata de dejar los cuadros lo mejor posible para que los restauradores del futuro los encuentren en buenas condiciones”.

COLABORACIÓN DEL EQUIPO

“Desde luego”, explica Martínez Valverde, “es un trabajo que no podría hacer una máquina. Se

trata de una tarea que requiere un cuidado exquisito y la colaboración de todo el equipo. A veces tenemos que parar para saber por dónde seguir, o porque el proceso así lo exige; y por ello no es extraño que el mismo restaurador trabaje sobre dos o tres obras al mismo tiempo. Unas pueden llevar semanas y otras muchos meses. Casi todas las obras antiguas a las que nos enfren-

tamos ya fueron restauradas en el pasado. Salvo las del siglo XIX o comienzos del XX, que son como una partitura en blanco”.

Este restaurador, que actualmente trabaja en la gigantesca obra *Flevit super illam*, de Simonete Lombardo, asegura que no entiende cómo se pueden realizar intervenciones tan desafortunadas en la restauración: “No me refiero a casos tan conocidos como el del ‘Ecce Homo’ de Borja, aquel que repintó una señora del municipio, sino a otros en los que me pregunto qué debieron hacer para llegar a resultados tan nefastos en los que incluso se observan ojos torcidos”. Su colega, la también restauradora y profesora Carmen Cueto, que lleva 17 años dedicada a la restauración, en su caso fuera del Museo del Prado, apunta al ‘intrusismo’ que hay en la profesión: “Trabajar en el taller del Prado, con arte clásico o antiguo, debe ser fascinante, muy distinto al de operar con arte contemporáneo, donde hoy hay muchos más problemas, porque los materiales se han diversificado mucho, se han mezclado o ya no tienen repuesto, y no se pueden hacer artesanalmente. También hay mucho arte efímero, cuya conservación es un gran dilema”.

En un histórico armario de madera del taller del Prado, los restauradores guardan algunos tesoros que nunca lucirán en las paredes de la pinacoteca: pinceles, buriles y pigmentos con los que sus antepasados en el puesto hicieron posible que miles de obras llegaran a nuestros días. A escasos metros, en otro de cristal y metal, los tarros, los calentadores de agua y las planchas que forman o han formado parte de su reciente menaje laboral. “En el fondo- afirman- no hemos cambiado tanto”. ■



Estudio de la técnica en el Gabinete Técnico del Museo del Prado.



© Fundación Cuenca del Guadiato

EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA BUSCAMINAS

El municipio de Peñarroya-Pueblo Nuevo va a acoger la exposición itinerante con una selección de 25 fotografías realizadas por los participantes en la última edición del Concurso Fotográfico Buscaminas que organiza la Fundación Cuenca del Guadiato.

Pág. 42



© Ayto. Las Navas de la Concepción

OBRAS DE LIMPIEZA EN EL CAUCE DE LA RIBERA

Entre los numerosos proyectos que se están llevando a cabo en el municipio de Las Navas de la Concepción destacan las obras de limpieza de las orillas del cauce de la Ribera y el sendero por el que transcurre parte de la Ruta de la Ribera.

Pág. 43

INNOVADOR MÉTODO DE APRENDIZAJE

Los alumnos de la ESO del IES Lope de Vega de Fuente Obejuna han realizado microdocumentales como parte de un proyecto de investigación sobre la historia y la realidad local.

Págs. 43

SIERRA ALBARRANA

El Cabril y su entorno



© Oficina de Turismo de Hornachuelos

HORNACHUELOS RECONOCE LA TRAYECTORIA VITAL DE SUS VECINOS

Catorce vecinos destacados de Hornachuelos recibieron el reconocimiento de su Ayuntamiento en el Día de Andalucía 2015. Un homenaje a trayectorias vitales notables que tienen en común haber servido a los demás con denuedo y convertir más habitable y próspera la comarca. Unos galardones que premian la grandeza de estos vecinos y de sus proyectos por su apoyo a la cultura, el arte, la atención al ciudadano o la defensa del medioambiente.

Pág. 38



Foto de familia en la entrega de los premios concedidos por el Ayuntamiento de Hornachuelos a sus vecinos.

POR SU DEDICACIÓN A LOS DEMÁS, AL
DESARROLLO DEL MUNICIPIO, A LA CULTURA
O A LA DEFENSA DEL MEDIOAMBIENTE

RECONOCIMIENTO DE HORNACHUELOS A PERSONAS E INSTITUCIONES LOCALES

Catorce figuras destacadas de Hornachuelos recibieron el reconocimiento de su Ayuntamiento en el Día de Andalucía 2015. Un homenaje a trayectorias vitales notables que tienen en común haber servido a los demás con denuedo y convertir más habitable y próspera la comarca. Unos galardones que premian la grandeza de estos vecinos y de sus proyectos por su apoyo a la cultura, el arte, la atención al ciudadano o la defensa del medioambiente.

Texto: **NATIVIDAD GAVIRA**

Fotos: **AYUNTAMIENTO DE HORNACHUELOS**

Cuando un pueblo honra a sus vecinos la felicidad es compartida. Quien recibe el halago reconoce la generosidad de su gente y quien lo proporciona libera la gratitud acumulada a través del tiempo. Es la fiesta de todos. Ha ocurrido en Hornachuelos cuando, con motivo del día de Andalucía, catorce vecinos han recibido un reconocimiento institucional. Gente sencilla, laboriosa y tenaz que recibe palabras de agradecimiento para testar que la sociedad avanza y se enriquece cuando alguien decide una donación gratuita y generosa de su tiempo, su arte, su habilidad o sus pasiones.

POR LA PROMOCIÓN DE LA MUJER

A través de la asociación Azahar 2000, un organismo con 18 años de vida y dedicado a la labor de favorecer la promoción de la mujer en la sociedad, se han logrado grandes avances. Con este reconocimiento, muchos consideran que se hace justicia a un trabajo altruista, modesto y constante en pro de la autonomía de la mujer meloja. Al principio sólo era un grupo de trabajo formado por cuatro mujeres que organizaban actos lúdicos y excursiones, y en la actualidad son ya doscientos miembros y son múltiples las actividades que organizan. Porque en este tiempo han estudiado las necesidades de este colectivo “en evolución constante” y lo han atendido con la organización de todo tipo de talleres formativos, charlas o cinefórum con el objetivo principal de dotar de mayor visibilidad a la mujer en todos los campos de la sociedad. “Hemos luchado por mujeres que llevan veinte años trabajando y ahora buscamos también implicarnos



En sus 18 años de existencia, Azahar 2000 ha trabajado para promocionar la figura de la mujer en la sociedad.



Curro Mesa se ha distinguido siempre por su defensa y difusión del patrimonio natural y cultural de Hornachuelos.

con la mujer joven, para así dotar de mayor dinamismo a la asociación e impulsar nuevos proyectos. Este reconocimiento nos anima a seguir adelante”, afirma Ana Becerra, impulsora de la asociación..

LA RIQUEZA DEL ENTORNO NATURAL

En Hornachuelos todos saben que su entorno natural es sinónimo de riqueza, por eso era inevitable promover este homenaje a Curro Mesa, Juan Francisco Jiménez, un personaje que se muestra ilusiona-

do por el tributo: “Hay que hacer estas cosas en vida, después todo sobra”. Hombre de formación en ciencias geológicas, no se cansa de trabajar en la defensa del patrimonio natural de la comarca y en difundir la riqueza cultural y los encantos de Hornachuelos. En compañía de no más de veinte vecinos, ha limpiado y puesto en valor senderos, como el que del Monasterio de Los Ángeles, ha recuperado acuíferos o ha visto de nuevo brotar fuentes. Ahora, se afana por pintar el puente de la carretera de Sevilla para convertirlo en un observatorio de animales.



El Club El Salto del Fraile fomenta el hábito de la lectura entre los vecinos de Hornachuelos, sea cual sea su edad.



El pintor Juan Cañero ha plasmado en sus lienzos los paisajes de Hornachuelos y a sus gentes.



La anterior alcaldesa de Hornachuelos y Francisco Cantarero, el alfarero más popular de la comarca.

Las nutrias y carpas podrán ser estudiadas desde esta atalaya gracias al empeño personal de Curro, que ya tiene puesta la mirada en otras empresas, como la recuperación de unos molinos hidráulicos o la creación de un observatorio nocturno en el centro de la Sierra para vivir la berrea de los ciervos: “Se trata de promocionar nuestros recursos y buscar maneras atractivas de atraer turismo”. Hace dos años, Curro Mesa fundó la asociación cultural de defensa del patri-

monio cultural de Hornachuelos ‘Ibn Marwan’, y se ha convertido en un experto del arte tradicional de la cestería del mimbre, de la palma y de la vareta del olivo.

EL VALOR DE LA LECTURA

Ideas es lo que sobran a Sonia Jiménez, que ha puesto al servicio del pueblo sus conocimientos en biblioteconomía. Y lo ha hecho creando, hace ya cuatro años, el

Club de lectura *El Salto del Fraile*, que toma el nombre de la emblemática peña meloja. En un futuro, esta organización quiere adentrarse en colegios e institutos para fomentar este hábito. La obra del Duque de Rivas será la primera estación de este viaje apasionante. Por todo ello, este premio es para el Club un “gran estímulo”. Aunque crean que lo más importante es que los jóvenes reconozcan el valor de la lectura como instrumento de formación y futuro.

El Club reúne a sus veinte miembros un viernes al mes en la Biblioteca Municipal. Son personas con edades comprendidas entre los 30 y los 80 años. “Se trata de una ocasión para la convivencia y que permite proyectar la realidad de una manera más gratificante e intensa”, comenta Jiménez, quien también es la artífice de un convenio con el Centro Andaluz de las Letras. Periódicamente reciben el listado de los libros recomendados y se distribuye el libro seleccionado entre los miembros del club. En la reunión mensual debaten sobre la obra y se intercambian valoraciones que no terminan en este encuentro. “Por la calle ya hablamos del libro que estamos leyendo y si nos gusta o no”, añade Jiménez.

PINTAR GENTES Y PAISAJES

Nombres como el de Juan Cañero remiten al disfrute de la pintura, al gozo de plasmar los detalles de toda una vida en común. Este artista se recuerda pintando los paisajes de Hornachuelos, dibujando a sus gentes y las laboriosas tareas del campo. Cañero Castro tenía siete años cuando cogió los pinceles por primera vez y ahora, en su estatus de jubilado, continúa con una producción constante, obras con demanda entre los compradores de arte que impide que Juan exponga desde hace algunos años. “Para exponer hay que selec-

cionar una treintena de cuadros entre doscientos y prefiero seguir sumando hasta conseguir una importante muestra". Ya lleva más de veinte exposiciones a sus espaldas.

Cañero pronto se marchó para estudiar en la Escuela Superior de Bellas Artes de San Fernando en Madrid, pero en su corazón está Hornachuelos, algo de lo que presume allá por donde va. Uno de sus cuadros, que capta una panorámica de Hornachuelos desde La Jarilla, preside el Ayuntamiento. "Me siento muy honrado y orgulloso del reconocimiento". Doctor por la Facultad de Bellas Artes de Madrid, su pintura trata las más variadas temáticas, sólo tiene que encontrar la "emoción" de un instante para plasmarlo. Su destino como docente en Cuenca está asociado al grupo artístico *El Paso*. Una etapa de efervescencia creativa que se diluyó con el tiempo, aunque la convivencia con artistas de primera talla le marcara para siempre.

EL ÚLTIMO ALFARERO

Francisco Cantarero, procedente de Bujalance, pero afincado desde siempre en Hornachuelos, es el alfarero más popular de la comarca y el más 'prematureo', ya que dio sus primeros pasos entre tornos y arcilla. Ahora, este octogenario ya no sabría distinguir dónde empieza el oficio y dónde el aprendizaje de una actividad en la que ha cosechado buenos resultados empresariales.

Las tierras arcillosas de la comarca permitieron a su familia adentrarse en la producción de materiales de construcción, primero tejas y después ladrillos, pero sus manos robustas y fuertes sienten debilidad por otro tipo de piezas como botijos, huchas o pitorros. Con estos objetos viajaban a Córdoba y "en la plaza grande", la

actual plaza de la Corredera, los distribuían entre los comerciantes. Francisco lo recuerda como un tiempo laborioso, porque "la alfarería no ha sido pagada, por eso ha desaparecido". Años de dedicación y de poca compensación económica, que lo llevaron al arrendamiento de un bar en los setenta. Sólo el reconocimiento y cariño de su pueblo sirven a Francisco de barómetro para comprobar que ha merecido la pena ser fiel a sus raíces.

A TÍTULO PÓSTUMO

Antonio Carrillo Carrillo, esquilador y policía local, recibió

el homenaje póstumo de Hornachuelos, en reconocimiento a toda una vida de ingenio y bondad. Carrillo, padre de nueve hijos, era un personaje muy querido en la comarca. Antes de ser policía local, donde llegó a ostentar la jefatura, se ganó la vida como experto en todo tipo de caballerías y esquilador de primera, en unos momentos en los que no existían tractores y las tareas agrícolas dependían enteramente de la fuerza animal. Como se destacó en el homenaje, "famosas eran las brochas para afeitar que hacía con el pelo de los animales, material con el que también hacía todo tipo de objetos que vendía en Córdoba". ■

Uno a uno

- María de la Cabeza García Zarza, a su entrega y dedicación a sus hijos y nietos.
- Ana Gálvez Peral, a su buen quehacer al frente de la Asociación de Mayores.
- Juan Francisco Jiménez Perales, Curro Mesa, a su trabajo en la difusión del patrimonio de su pueblo.
- Marina Martínez López, a su labor de ayuda a los más desfavorecidos.
- Francisco Cantarero, a su trayectoria profesional como el último alfarero de Hornachuelos.
- Eugenia Moreno Aguilera, a su ejemplo de mujer: ama de casa, trabajadora, peluquera y poeta.
- Juan Cañero Castro, pintor, a su trayectoria artística.
- Carmen Rosa Urraco, a una lucha esforzada durante toda su vida por su familia.
- Alejandro Iznájar Quirós, a sus años al frente de Casa Alejandro, referente de la restauración meloja.
- Lola Segura León, madre de 12 hijos, a su esforzada y meritoria dedicación para con su familia.
- Adriano García Pérez, cabo mayor de la Guardia Civil, a su muchas buenas acciones más allá de su obligación.
- Asociación Azahar 2000, por la inmensa labor desarrollada en pro de las mujeres.
- Club de Lectura El Salto del Fraile, a la actividad de difusión de la lectura y la cultura en general.
- Antonio Carrillo Carrillo, póstumamente, esquilador y policía local, a toda una vida de ingenio y bondad.

HORNACHUELOS

APROBADO EL USO DE TERRENOS MUNICIPALES PARA INSTALAR UN INVERNADERO HORTOFRUTÍCOLA

El Ayuntamiento de Hornachuelos va a arrendar cuatro hectáreas de tierra para la creación de un invernadero destinado a la plantación de frutas y hortalizas. Los beneficios de esta iniciativa son, según el consistorio, apostar por una nueva técnica de cultivo de éxito probado, y la creación de ocho puesto de trabajo para los habitantes del municipio. La puesta en marcha del invernadero correrá a cargo del empresario o la cooperativa que alquile el terreno, aunque también se baraja que sea el propio consistorio el que se haga cargo a través de un modelo de escuela-taller.

En cualquier caso, si no resultase viable, se barajan otras alternativas para explotar dichos terrenos, ya sea para la cría o engorde de caracoles o para desarrollar huertos sociales. ■

RESTAURADA LA POSADA DE ARRIEROS COMO FUTURO CENTRO DE INTERPRETACIÓN



Pinturas del siglo XVII descubiertas en las obras de restauración.

© Ayto. de Hornachuelos

Datada en el siglo XVII y declarada Bien de Interés Cultural por ser representativa de la arquitectura de la zona, la Posada de Arrieros de Hornachuelos ha sido restaurada recientemente con cargo a los presupuestos municipales y con una inversión de aproximadamente 160.000 euros destinados a eliminar humedades y reparar techumbre conservada en malas condiciones. El objetivo es, en una segunda fase, convertir este espacio en un centro de interpretación histórica de las costumbres de la vida meloja. Durante las obras de mejora del inmueble, que conserva las dependencias de este tipo de posadas (cuadra, pajar y habitaciones de huéspedes), se descubrieron en la fachada una serie de pinturas que pudieron ser realizadas entre finales del siglo XVII y principios del XVIII. El equipo de restauradores ya ha iniciado, con cargo a la Concejalía de Cultura, los correspondientes trabajos de protección de estas obras mediante gasas hidrófilas y resinas termoplásticas. ■

Datada en el siglo XVII y declarada Bien de Interés Cultural por ser representativa de la arquitectura de la zona, la Posada de Arrieros de Hornachuelos ha sido restaurada recientemente con cargo a los presupuestos municipales y con una

ALANÍS

OBRAS DE CANALIZACIÓN EN EL DEPÓSITO DE AGUA

La Diputación de Sevilla ha concedido cerca de 94.000 euros al Ayuntamiento de Alanís para acometer obras en la canalización del depósito municipal de agua potable, una infraestructura que abastecerá a una población de casi 2.000 habitantes. Estas obras se financiarán con fondos procedentes del Plan Complementario del Plan Provincial Bienal, que se invierten en todo tipo de actuaciones financieramente sostenibles. En el caso de las obras del depósito de Alanís su objetivo es garantizar un suministro de agua con exigentes estándares de calidad. ■

INNOVATION WAY

El Ayuntamiento de Alanís ha desarrollado, con la financiación de la FEMP y del INJUVE, Innovation Way, un programa destinado a favorecer la iniciativa emprendedora entre los jóvenes del municipio para enseñarles cómo diseñar sus proyectos empresariales en función del sector elegido para montar su empresa y sacando partido a sus capacidades creativas. Para Jaime Ruiz Peña, director del programa y autor de *El Teorema del Lápiz*, "con este tipo de formación lo que se pretende es sobre todo favorecer un cambio de actitudes hacia posturas más proactivas". Es decir, que cada uno valore sus actitudes y conocimientos para poner en marcha su propio negocio. ■



Primer premio del Concurso Fotográfico Buscaminas.

© Julián M. Guzmán

PEÑARROYA-PUEBLO NUEVO

EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA BUSCAMINAS

El municipio de Peñarroya-Pueblo Nuevo va a exponer una selección de 25 fotografías realizadas por los participantes en la última edición del Concurso Fotográfico Buscaminas, organizado por la Fundación Cuenca del Guadiato para difundir el patrimonio cultural de la zona. Entre las obras que se expondrán se encuentra el primer premio, 'Resiste', de Julián M. Guzmán, y el segundo, 'Historias de la mina', de José Lara. Por otra parte, la Fundación, junto a la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico, celebrará en octubre, en Peñarroya-Pueblo Nuevo, un congreso internacional sobre patrimonio geológico y minero. ■

FUENTE OBEJUNA

INNOVADOR MÉTODO DE APRENDIZAJE DE LOS ALUMNOS DEL LOPE DE VEGA

Como una tarea más de las asignaturas de Ciencias Sociales y de Historia, los alumnos de ESO del IES Lope de Vega han realizado una serie de microdocumentales como parte de un proyecto de investigación sobre la historia y la realidad local. Como indica el profesor Javier Goytre, “en Ciencias Sociales la variedad de las temáticas ha sido muy amplia y, en muchos casos, sorprendente”. *El cambio del papel de la mujer y su evolución en la sociedad, El franquismo en Fuente Obejuna, Los campos de concentración en Los Blázquez o De la mula al tractor* son algunos de los títulos de los 24 microrrelatos.

“Ha sido un trabajo colaborativo de cuatro meses, con una intensa labor de investigación en los que han aprendido a trabajar en equipo, a repartir las tareas, discutir y consensuar”, afirma Goytre. ¿Los medios? Una cámara de vídeo y un trípode, así como sus propios móviles o cámaras. “No les ha supuesto un gran esfuerzo porque manejan a la perfección las nuevas tecnologías”, señala Goytre. Los microdocumentales se podrán ver en <http://microdocumentales.jimdo.com> ■



AZUAGA

ALUMNOS DEL INSTITUTO BEMBÉZAR, PREMIADOS EN LA I OLIMPIADA REGIONAL AGROALIMENTARIA

El IES Bembézar ha sido el instituto extremeño mejor clasificado en la I Olimpiada Regional Agroalimentaria y Agroambiental, que organiza la Universidad de Extremadura (UEx) con el fin de difundir, entre los alumnos de los centros educativos extremeños, la labor que desarrolla en el ámbito agroalimentario y las expectativas laborales que existen en torno a los Grados impartidos en la Escuela de Ingenierías Agrarias.

“La prueba ha consistido en realizar un test de una de las asignaturas, Biología, Tecnología Industrial o Ciencias de la Tierra y Medioambientales”, señala Juan Guardado, director del IES Bembézar. Javier Pulgarín Chicote, Manuel Castillo Quintana y Javier Sáez de la Cobase se hicieron con el primer y segundo premio en ‘Ciencias de la Tierra y Medioambientales’, y el segundo en ‘Tecnología Industrial’, respectivamente. ■

INAUGURADO EL PARQUE DE BOMBEROS

Los 12 bomberos y 3 vehículos contraincendios de Azuaga han estrenado su nuevo parque. La instalación, desde la que se prestará servicio a siete ayuntamientos de la comarca, se encuentra ubicada en una parcela de 4.000 metros cuadrados en el Polígono Industrial de Azuaga. El complejo, en el que se han invertido 658.494 euros, se compone de dos edificios: uno, destinado a cocheras y, el segundo, en el que además de las oficinas, se encuentran los vestuarios, aseos, dormitorios, zona de estar y cocina. Además, el centro dispone de un patio de maniobras, una zona ajardinada, un acceso peatonal y de vehículos ligeros y otro acceso independiente para los camiones de bomberos. ■

LAS NAVAS DE LA CONCEPCIÓN

RESTAURADA LA FUENTE DE LOS LEONES



© Ayto. Las Navas de la Concepción

Son numerosos los proyectos que se están llevando a cabo en el municipio de Las Navas de la Concepción para mejorar su imagen y ofrecer nuevos servicios a sus habitantes. Sin duda una de las iniciativas más celebradas, por lo que para el pueblo significa, ha sido la restauración de la tradicional fuente de los Leones. Situada en la plaza de España, llevaba en desuso desde hace más de cinco años, pero desde hace algunas semanas de sus caños ha vuelto a manar el agua.

Y no muy lejos, en el Cerro de las Escuelas, el antiguo depósito de agua se ha transformado en un mirador. Perdida su función original, y tras las obras de reforma, es ahora un espacio multiusos que sirve de atalaya desde la que contemplar el pueblo y su entorno, y de sala de exposiciones y eventos.

Ya en las afueras, se está llevando a cabo las obras de limpieza de las orillas del cauce de la Ribera y el sendero por el que transcurre parte de la Ruta de la Ribera. Esta iniciativa está financiada por el Plan Supera, que promueve la Diputación de Sevilla, que contempla planes de inversión para obras de saneamiento, abastecimiento y distribución de aguas; recogida, eliminación y tratamiento de residuos; alumbrado público; vías públicas; parques y jardines; caminos vecinales; y gestión del patrimonio, aplicadas a la rehabilitación y reparación de infraestructuras e inmuebles propiedad de la entidad local afectos al servicio público. ■



Recreación de un bosque del Neoceno hace 50 millones de años con ejemplares de *Adapis Parisiensis*, antiguos primates similares a los actuales lémures.

EL PALEOARTE ES UNA DISCIPLINA BASADA EN HALLAZGOS CIENTÍFICOS QUE RECREA LA APARIENCIA DE ESPECIES DESAPARECIDAS

DEVOLVER 'A LA VIDA' A ANIMALES EXTINTOS

Mezclar arte y ciencia. Así es la labor de los paleoartistas para lograr el reto de recrear especímenes que no han sobrevivido hasta nuestros tiempos y muchos de los cuales ningún ser humano llegó a ver. Lo hacen mediante dibujos de trazo realista y estudiando de forma rigurosa la documentación científica de que se dispone. Los dinosaurios, como el *tyrannosaurus rex*, el *velociraptor* o el *protoceratop*, son los primeros en pasar por sus lápices, pinceles y ordenadores, pero también cobran vida tigres dientes de sable, mamuts, babuinos de Turkana, tortugas gigantes o rinocerontes prehistóricos.

Texto: **PURA C. ROY**



Los fósiles son la pieza clave para 'resucitar' a criaturas del pasado. "Los paleoartistas trabajamos a partir de la información anatómica que éstos contienen, la cual combinamos con información sobre especies actuales para así elaborar hipótesis sobre la apariencia y los hábitos de las especies extinguidas. A este procedimiento le llamamos reconstrucción paleobiológica, donde la plasmación en imágenes es sólo una parte del proceso total", explica Mauricio Antón, reconocido paleoartista, especializado en mamíferos y colaborador habitual en el Museo de Ciencias Naturales de Madrid.

Eso sí, en el noventa y nueve por ciento de los casos, los fósiles con los que suelen trabajar son sólo fragmentos deformados, pero, al menos, estos huesos fosilizados les ofrecen muchas pistas sobre cómo podría ser la musculatura de los animales a recrear. Lo ideal, claro, sería disponer de un esqueleto completo. Algo que, a veces, sí ocurre. Esto es lo que le ha pasado al biólogo y colaborador de publicaciones científicas Óscar Sanisidro con los muchos restos de rinoceronte del mioceno provenientes de la cuenca baja del Manzanares que se han encontrado: "Todo gracias a que en esa zona confluían varios ríos y formaban un lago en una planicie".

España cuenta con grandes yacimientos. Más de 10.000 fósiles de dinosaurio, además de restos de cocodrilos, tortugas, peces y toda clase de plantas de hace 70 millones de años han convertido al yacimiento de Lo Hueco, en Cuenca, en lugar de peregrinación para paleontólogos, especialmente para los que quieren conocer mejor el Cretácico Superior. También Teruel es tierra de fósiles de dinosaurios. El paleoartista Daniel Ayala, especialista del parque cultural y científico Dinópolis ubicado en esa provincia, ha contado recientemente con el esqueleto completo de un ejemplar de *Europelta Carbonensis* para llevar a cabo su tarea: cráneo, placas de la coraza, extremidades, costillas, e incluso una cola perfectamente conservada y completa, de unos dos metros de longitud. Piezas que, tras meses de trabajo, le han permitido devolver a la 'vida' a esta especie de dinosaurio herbívoro con armadura, que vivió hace más de cien millones de años, medía unos cinco metros de longitud y pesaba dos toneladas. Sus restos se desenterraron en el yacimiento de una mina de carbón de Santa María en Ariño (Teruel).

INVESTIGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN

Tanto Antón como Sanisidro manifiestan su fascinación por las ilustraciones de dinosaurios, reptiles voladores y mamuts de los maestros de siglos pasados, como Rudolph Zallinger, Charles R. Knight o Zdenek Burian, y también de actuales como Mark Hallett. Y es que, para desarrollar esta disciplina es imprescindible un dominio del dibujo artístico, junto con conocimientos de biología, anatomía, locomoción y comportamiento animal. El grado de especialización científica es variable, porque algunos paleoartistas prefieren controlar todas las fases del proceso de reconstrucción, lo cual les obliga a familiarizarse profundamente con aspectos de paleobiología y anatomía funcional. Otros paleoartistas prefieren dejar en manos de sus asesores científicos toda la carga de la investigación.

"Mi trabajo se centra en la recreación de vertebrados. En primer lugar, reconstruimos los huesos del esqueleto de la especie en cuestión, completando las partes que faltan teniendo de referencia a especies más conocidas. A continuación dibujamos el esqueleto colocando sus huesos en una postura anatómicamente adecuada, basándonos en la forma de las articulaciones para inferir el ángulo entre unos huesos y otros. El siguiente paso es añadir los tejidos blandos desde el interior hacia afuera, como si hiciésemos una disección, pero a la inversa. Para ello estudiamos las zonas de inserción muscular en los huesos, que nos indican la posición y desarrollo de gran parte de la musculatura. A partir de ahí, añadimos capas sucesivas de tejido, hasta terminar con la piel y los tegumentos externos. Estos últimos, como el pelo o las plumas, sólo se conservan en estado fósil de manera excepcional, por lo cual su reconstrucción implica

un cierto grado de especulación”, detalla Antón.

En este punto, los programas informáticos de tratamiento de imagen están influyendo de muchas maneras en el trabajo de los paleoartistas. Por ejemplo, la creación de imágenes digitales, ya sea en 2D (ilustración digital) o 3D (visualización o animación tridimensional por ordenador), está sustituyendo a menudo a las técnicas tradicionales debido a su mayor eficacia. “Desde un punto de vista más estrictamente científico, las técnicas de visualización digital están enriqueciendo el modo en que adquirimos información sobre los fósiles, permitiendo conocer su estructura interna o bien observar sus detalles sin necesidad de extraerlos completamente de la matriz sedimentaria”, comenta Antón.

SITUAR A LOS ANIMALES EN SU ENTORNO

La paleobotánica es un área de gran importancia para esta dis-

ciplina, ya que el ecosistema, el hábitat de estos animales extintos, permite conocerlos mejor. “Disponer de un conocimiento holístico es importante para reconstruirlos. No es lo mismo situarlos en unas montañas que en una planicie. En este punto nos ayudan los geólogos a contextualizarlos. Establecer las escalas entre plantas y animales es una tarea difícil. Es más fácil determinar la de los animales, ya que disponemos de los esqueletos y podemos medir los huesos. En el caso de las plantas es más complejo porque sus restos se descomponen antes. Se puede encontrar polen u hojas, pero la altura del árbol es complicado de concretar. A través de las hojas es posible saber el aspecto de su follaje, pero no su porte. La excepción son algunas especies del Carbonífero que se han hallado enteras”, dice Sanisidro.

También el apartado del color es, lógicamente, de gran interés para un paleoartista. “Tenemos pistas. Las obras de los primeros ‘paleoartistas’ las encontramos

en las cuevas y ellos ya pintaban a los animales con colores. Estudiando el color de las pinturas de muchas cuevas se han podido establecer patrones y confiar que estos tengan una base real. También ayuda que, aunque sea excepcionalmente, se conserve un uno por ciento de tejidos blandos de algunas especies. Y gracias a las moléculas de las plumas fosilizadas se puede inferir, mediante su observación por microscopio electrónico, qué posibles colores tenían. El rinoceronte lanudo tenía manchas de color. Los dinosaurios eran rojizos, negros y blancos”, explica Sanisidro

“Por ejemplo, si queremos reconstruir un félido de dientes de sable, tiene lógica que busquemos referencias entre sus parientes actuales, los félidos vivientes. Pero a la hora de decidir si le atribuimos un patrón liso o moteado, podemos utilizar razonamientos funcionales. Para ello, emplearemos la información sobre el hábitat del animal. Si hay evidencias de que el félido vivía en ambientes boscosos, tendría sentido atribuirle un pelaje



Reconstrucción de la cara de *homo antecessor* que muestra la combinación de técnicas tradicionales y digitales para conseguir una representación lo más fiel posible de la apariencia en vida de este homínido.

© Mauricio Antón

moteado que le proporcionaría un mejor camuflaje”, comenta Antón.

La apariencia externa y el tegumento de los vertebrados extinguidos son los aspectos de la reconstrucción que suelen implicar mayor grado de especulación. “Hay excepciones, como por ejemplo el caso del mamut lanudo, del cual se conoce incluso la longitud y el color del pelo gracias al hallazgo de ejemplares congelados en el permafrost del Ártico. Pero en la mayoría de los casos debemos hacer inferencias basadas en el estudio de especies actuales relacionadas. Se suele buscar un equilibrio entre atribuirle a la especie extinguida atributos propios de las especies vivientes, o utilizar razonamientos de tipo funcional”, dice Antón.

En general, los yacimientos de épocas más recientes suelen dar más información, como en el caso ya citado de los mamuts y otros animales del Pleistoceno superior conservados en el suelo congelado de Siberia o Alaska. Pero también existen yacimientos

de preservación excepcional de épocas más antiguas que ofrecen auténticas ventanas del tiempo. En el Eoceno de Messel, en Alemania, se han encontrado esqueletos totalmente articulados de animales de hace cincuenta millones de años, que incluso preservan el perfil de tejido blando alrededor del esqueleto o restos de la última comida del animal en su cavidad intestinal. En sedimentos del Cretácico de China hay varios yacimientos de preservación excepcional que han permitido saber que muchas especies de dinosaurios estaban cubiertas de plumas, y en algunos casos incluso se han preservado patrones de pigmentación.

RECREAR A HOMÍNIDOS

La reconstrucción de nuestros propios parientes extinguidos, a través de los homínidos fósiles, es un campo especialmente apasionante y controvertido del paleoarte. “En mi caso”, afirma Antón, “llevar a cabo las primeras reconstrucciones anatómicamen-

te rigurosas de los homínidos de Atapuerca fue un desafío que me permitió profundizar en el estudio de la evolución humana. Interpretar los fósiles de especies totalmente extinguidas de homínidos no sólo requiere familiarizarse con la anatomía de los humanos modernos, sino también con la de nuestros parientes vivos más cercanos, los grandes simios. La disección de estos animales me ha permitido poner en contexto la relación que existe entre la forma del hueso y la apariencia externa. En varias ocasiones he tenido el privilegio de ser el primero en reconstruir el rostro de un ejemplar de homínido nuevo para la ciencia, y en esos casos existen una tensión y una expectación considerables. La imagen resultante siempre tiene un elemento de sorpresa incluso para el propio reconstructor, pero, una vez que la ilustración está terminada, es necesario dar un paso atrás y tomar distancia del trabajo realizado”.

Hoy ya nadie pone en duda que, por ejemplo, los dinosaurios tenían plumas. Tal vez el mayor error que puede cometer un paleoartista, en opinión de Antón, es pensar que la reconstrucción que se ha realizado es la última palabra sobre la apariencia de esa especie extinguida: “Por mucha información científica que hayamos incorporado a nuestro trabajo, la esencia de la paleontología es la continua exploración y estudio del registro fósil, y esto tiene una implicación muy clara: toda reconstrucción es provisional. Esto sin duda es una cura de humildad, pero también mantiene siempre fresca la pasión por este trabajo. Todo está por descubrir en la reconstrucción de la vida y de su evolución”. ■



Reconstrucción a tamaño real de un *Eurolaelaps Carbonensis* realizado por Dani Ayala y expuesto en Dinopolis Teruel.

© Dinopolis Teruel



La 'carpobrotus edulis' es una de las especies invasoras más combatidas en el Parque Natural de Cabo de Creus.

LOS DESPLAZAMIENTOS HUMANOS HAN FAVORECIDO QUE ESPECIES VEGETALES ARRAIGUEN EN LUGARES REMOTOS A SU HÁBITAT NATURAL

LA GLOBALIZACIÓN DE LAS PLANTAS ESTÁ MODIFICANDO LOS ECOSISTEMAS

Las actividades humanas, intencionadamente o no, han propiciado la globalización de especies vegetales y que éstas aparezcan o se asienten en zonas remotas a su lugar de origen. Desde tiempos remotos y con los encuentros entre civilizaciones se dieron las primeras 'invasiones', pero con la actual globalización económica el efecto se ha multiplicado. Las razones de importar especies alóctonas son variadas: pueden servir de alimento, tener propiedades medicinales o, simplemente, servir de elemento ornamental o paisajístico. La parte positiva es cuando la planta se adapta al nuevo medio. La negativa, cuando el espécimen es capaz de modificar el ecosistema.

Texto: **ANA AYALA**

Fotos: **GENERALITAT DE CATALUÑA**



Al mencionar la palabra 'globalización', lo habitual es pensar en términos relacionados con la economía, el comercio internacional, la inversión extranjera o los flujos del mercado, pero se trata de un proceso que afecta a variados ámbitos, como la cultura, la sociedad, la tecnología y también, por supuesto, a la biodiversidad. Desde un punto de vista técnico, la globalización consiste en que sistemas diferentes y separados entre sí entren en contacto e intercambien energía, materia, información... hasta adquirir numerosos atributos comunes y globales. Y de estas interacciones surgen nuevas propiedades que no existían en ninguno de los sistemas anteriores. Pero, ¿qué supone la globalización si se trata de especies vegetales? ¿Cómo y por qué se ha producido? ¿Cuáles son sus consecuencias?

LAS RAZONES

Como alimento –para el ser humano o los animales–, para ser utilizadas con fines industriales, medicinales, por cuestiones de paisajismo... En algunas ocasiones, las especies vegetales han sido introducidas en un territorio por un motivo en concreto, mientras que en otras lo han hecho de forma accidental. Un solo ejemplo: “La flota comercial marítima se dobla cada diez años y se calcula que por esta vía se transportan

anualmente entre 7.000 y 10.000 especies diariamente –incluyendo animales–. Esto ha supuesto que, en menos de un siglo, las aguas que bañan Gran Bretaña posean cerca de cien especies de algas exóticas que han llegado adheridas a las embarcaciones o a través del vaciado de aguas de lastre en puerto. En otras palabras, una especie que por medios propios necesitaría 5.000 años para alcanzar una nueva región biogeográfica hoy sólo tardaría un día”, según recoge el estudio ‘Invasiones biológicas’ elaborado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Cuando el ser humano abandona un suelo que estaba empleando para desarrollar una actividad concreta, o lo prepara para darle otro uso, son los momentos clave para que se produzca el establecimiento de especies de plantas ajenas a esa zona. La razón es que estas alteraciones pueden ofrecerles más espacio para que se desarrollen, así como disponer de un mayor número de nutrientes que faciliten ese establecimiento. Es lo que sucede cuando se abandonan las tierras de cultivo o, por ejemplo, cuando en verano se aporta agua a las zonas de regadío, lo que también aumenta las especies tropicales.

LA ‘GRAN’ GLOBALIZACIÓN

No se trata de un fenómeno nuevo, la mayor globalización de las plantas se dio con el encuentro entre América y Europa, tras el

descubrimiento de Colón, y sus repercusiones han sido tales que muchos paisajes de ambos continentes han cambiado. De hecho, su importancia ha sido tal que a partir de esta fecha las especies alóctonas, aquéllas que no son originarias del lugar donde se encuentran, se empezaron a diferenciar entre dos tipos: arqueófitos (introducidas antes de 1500) y neófitos (después de 1500).

El Real Jardín Botánico de Madrid acogió recientemente una exposición sobre la evolución histórica del intercambio de plantas en esta globalización que supuso el conocimiento de América en Europa y viceversa. El comisario científico de esta muestra, José Eduardo M. Ferrão –quien ha estudiado sistemáticamente el intercambio de plantas entre continentes durante el período de los descubrimientos portugueses–, ha querido mostrar con esa exposición las consecuencias de este proceso –uno de los temas menos estudiado desde el punto de vista agrícola–, su difusión por Europa, África u Oriente, así como el interés que despertaron diferentes especies, como los cereales, la caña de azúcar, el cacao, el tomate, las especias o el tabaco, y los motivos por los que fueron transportadas: para uso agrícola, científico, ornamental...

La globalización de especies vegetales surgida del encuentro entre América y Europa ha sido la más importante, pero no la primera: “Es la más relevante, pero ya las hubo antes, en el antiguo Imperio

Algunas especies, como la patata, el maíz o los cereales, han supuesto numerosos beneficios socioeconómicos, mientras que otras, como el jacinto de agua o la lantana, son una amenaza para los ecosistemas

Romano o en las invasiones árabes. Después, ha sido un proceso continuo y exponencial. En la actualidad, es relevante el tráfico que hay desde Asia, en concreto desde China, por ejemplo, a América o Europa”, afirma Montse Vilà, la vicedirectora de investigación de la Estación Biológica de Doñana, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

CONSECUENCIAS

Como en todo proceso, la globalización tiene sus pros y sus con-

tras. Algunas especies, como la patata, el maíz o los cereales, han supuesto numerosos beneficios socioeconómicos, mientras que otras, como el jacinto de agua o la lantana, son una amenaza para los ecosistemas. “A favor está que nuestros jardines se han llenado de plantas exóticas, pero homogenizan la flora tanto en ámbitos regionales, como en el paisaje. Muchas especies invasoras compiten con las nativas y usan los recursos, como el agua y los nutrientes del suelo, de forma distinta y, por tanto, cambian las propiedades de los ecosistemas”, explica Vilà



Muchos organismos disponen de planes de vigilancia para detectar la entrada de especies invasoras en su primera fase y que personal instruido pueda erradicarlas de forma rápida y antes de su expansión.

Pero, ¿cuándo se considera que una planta es invasora? Según los datos que manejan los científicos, es invasora si en menos de 50 años se ha establecido a 100 m del foco de entrada, cuando su reproducción es por semillas, o a más de 6 m, cuando es vegetativa a través de rizomas –tallos subterráneos– o estolones –brotes–. En España, La Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, define la especie exótica invasora como “aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad nativa, ya sea por su comportamiento invasor o por el riesgo de contaminación genética”.

De todas formas, los expertos advierten de que es poco práctico tener en cuenta el impacto ambiental para decidir si una especie es invasora o no, porque en numerosas ocasiones se desconocen sus consecuencias o son difíciles de valorar. Como explica Vilà, “se considera invasora si la especie introducida se establece y expande con rapidez en el medio natural, pero muchas de ellas no han sido estudiadas y todavía no se sabe si causan impactos ecológicos o económicos”.

LAS MÁS ABUNDANTES

La maleza es una de las más abundantes, de hecho está en casi todas las regiones del mundo, según *Globalization Effects on Common Plant Species* –Los efectos de la globalización en las plantas comunes– en la *Encyclopedia of Biodiversity*, un estudio que reúne artículos de los principales científicos internacionales, con información sobre evolución de

Tipos característicos de plantas invasoras

- Especie exótica o introducida: está en una región biogeográfica porque el ser humano la ha introducido intencional o accidentalmente.
- Especie naturalizada: se reproducen y mantienen poblaciones estables sin la intervención directa de los seres humanos.
- Especie invasora: se reproducen en grandes cantidades y tienen capacidad para propagarse en un área considerable ocupando hábitats naturales.

la biodiversidad, nuevas teorías, patrones ecológicos, entre otros temas. La importancia de estas recientes investigaciones radica en que ha permitido identificar variables comparativas entre especies invasoras y nativas, algo muy útil tanto para ver su evolución como para desarrollar programas de prevención.

Para este estudio, los científicos revisaron y compararon los efectos de la globalización de especies de plantas en diferentes países, además de analizar regiones con un clima similar, pero con diferentes resultados en cuanto a la cantidad de plantas alóctonas, según el mayor o menor tráfico comercial y la migración. Es lo que sucede en California y Chile, donde la zona norte del país sureño cuenta con el doble de

especies invasoras a pesar de tener el mismo clima que el estado norteamericano. Estas investigaciones también han permitido demostrar la importancia de contar con una completa base de datos que incluya las diferentes variables que influyen en la evolución de las especies invasoras, como son el clima, el comercio, el transporte...

SITUACIÓN EN ESPAÑA

Aquí en España, las comunidades autónomas cuentan con diferentes programas destinados a controlar y gestionar especies exóticas invasoras, lo que supone hacer un listado exhaustivo de todas ellas, en una primera fase, y seleccionar las menos difundidas para facilitar su eliminación, en una segunda fase, tal y como se recoge, por ejemplo, en el programa de la Comunidad de Andalucía. Esta autonomía tiene identificadas a las más 'dañinas', entre otras, la margarita africana, el jacinto de agua o el eucalipto. Por su parte, la Comunidad de Galicia cuenta con el *Plan estratégico de gestión de especies exóticas*, por el que tiene identificadas unas 125, de las que el 90% son plantas y el resto algas y hongos, y que supone varias líneas de trabajo con el objetivo de minimizar el riesgo que implican las especies invasoras para la biodiversidad, la sanidad y la economía.

"Se estima que en España existen unas 100 especies de plantas invasoras de las más de 1.000 exóticas establecidas en su medio natural. En Europa hay más de 5.000 especies de plantas exóticas, y aunque se desconoce cuántas pueden considerarse invasoras, sí se sabe que alrededor de un

cinco por ciento de ellas causa impactos ecológicos o económicos", comenta Vilà.

Las características climatológicas de España hacen que no sea uno de los países con mayores riesgos: "El clima mediterráneo, con la sequía estival, no es el más favorable para el establecimiento de plantas exóticas, ya que muchas de las ellas tienen un origen tropical. Sin embargo, puede ser problemático la invasión de plantas xerofíticas, con gran capacidad de adaptación a épocas de sequía, que ahora se están poniendo de moda en jardinería porque aguantan mejor las altas temperaturas y la falta de agua", explica la investigadora del CSIC.

Las zonas costeras con suelos fértiles y las islas son las zonas más sensibles a las especies invasoras. Según afirmaba el profesor Francesco di Castri –uno de los expertos con mayor peso en el desarrollo de investigaciones ecológicas en todo el planeta, fallecido en 2005–, "la invasión por especies foráneas es el fenómeno que produce mayor número de extinciones en el ámbito mundial. Algunos ecosistemas son más resistentes que otros a la invasión, como sucede en muchas zonas de Europa y del Mediterráneo, mientras que otros son más vulnerables, como las islas o las regiones australes de América, África y la zona del Pacífico".

Así, la biodiversidad en este siglo y en los próximos dependerá de dos piezas fundamentalmente: las acciones del ser humano en relación con el movimiento de especies, y las gestiones que se hagan para conservar los ecosistemas naturales. ■



España, en el contexto internacional, es un país considerado de baja sismicidad, y en Europa se situaría en un punto intermedio.

© Fotalia

EL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL TIENE ESTACIONES DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS DE TIERRA EN TIEMPO REAL

TERREMOTOS BAJO ‘SUPERVISIÓN’ DE LA RED SÍSMICA NACIONAL

La Red Sísmica Nacional, dependiente del Instituto Geográfico Nacional, es responsable de la planificación y la gestión de los sistemas de detección y comunicación de los movimientos sísmicos en el territorio español. Entre sus tareas también destacan los trabajos y estudios sobre sismicidad y la labor de coordinar la normativa de construcción sismorresistente, que obliga a diseñar y construir los edificios con la resistencia suficiente para soportar las fuerzas causadas por sismos.

Texto: **GERMÁN HESLES**

En 1985, y por Real Decreto, se encomendó al Instituto Geográfico Nacional (IGN) la vigilancia y control de la actividad sísmica y volcánica en España. De esta manera, nació la Red Sísmica Nacional (RSN) que, desde entonces, no ha dejado de crecer e implementar nuevas metodologías y tecnologías. Más recientemente, por encargo del Congreso de los Diputados, han desarrollado los procedimientos para alertar sobre posibles tsunamis en las costas españolas.

Desde la sede central de la RSN, y bajo la dirección de Emilio Carreño, un equipo de 30 personas –en su mayoría físicos y matemáticos que pertenecen al Cuerpo de Geógrafos del Estado– informan en menos de dos minutos, desde la hora origen del movimiento sísmico, a la Dirección General de Protección Civil de Emergencias y a la Unidad Militar de Emergencias (UME) para que actúen según la magnitud e intensidad del movimiento sísmico detectado.

Si hubiera que resumir las características principales de la RSN bien podría hacerse así: transmite digitalmente, cubre todo el territorio nacional, los datos que aporta son de alta resolución y lleva a cabo todos los procesos en tiempo absoluto GPS/UTC, escala de referencia internacional. Para ello, y para conseguir la mayor fiabilidad y optimización de la

Red sísmica, los emplazamientos de las estaciones se sitúan en lugares recónditos, de modo que se minimicen las condiciones de ruido ambiental (viento, cursos de agua, topografías desfavorables, cambios térmicos, condiciones atmosféricas, etc.), y lejos de núcleos urbanos, de fuentes de ‘ruido cultural’ –es decir, el que genera la actividad humana: tráfico, maquinaria, ac-

tividades agrícolas e industriales, tendidos eléctricos, etc. – y de las que genera la propia instalación (por las antenas, placas solares, vallado, etc.).

La Red cuenta actualmente con setenta y nueve estaciones permanentes y veinte móviles que se trasladan allá donde sea necesario elaborar un estudio temporal de actividad sísmica o

Diccionario básico

- **Tsunami:** es el desplazamiento de una gran masa de agua producido por un terremoto o erupción volcánica, pero también se puede producir por un deslizamiento de terrenos en la costa o, en casos mucho más raros, por caída de un meteorito.
- **Hipocentro y epicentro:** el foco o hipocentro es el punto exacto donde se produce el terremoto. El epicentro es el punto sobre la superficie en el que se proyecta el hipocentro. El epicentro macrosísmico es la zona de mayor daño a las cosas o las personas.
- **Terremoto:** se produce por la ruptura de una parte de la corteza terrestre. A la zona de fractura se denomina falla y, a través de los registros de las ondas producidas por los terremotos en los sismógrafos, se conocen los parámetros de orientación y tamaño que la definen y se establece el comportamiento tectónico de la zona.
- **Intensidad y magnitud:** por intensidad de un terremoto se entiende lo sentido en la superficie. Por magnitud, la cuantificación de la energía liberada que se mide de manera instrumental. Un terremoto de escasa magnitud, pero muy superficial, puede producir intensidades muy altas. O al revés, un terremoto de gran magnitud a mucha profundidad puede llegar a la superficie con muy baja intensidad. Esta idea llevó al sismólogo estadounidense Charles Francis Richter a la creación de la escala de magnitudes que está basada en que la amplitud de las ondas sísmicas está relacionada con la energía liberada en el foco.

La Red cuenta actualmente con setenta y nueve estaciones permanentes y veinte móviles que son trasladadas allá donde sea necesario elaborar un estudio temporal de actividad sísmica o volcánica

volcánica. Todas las estaciones están conectadas al centro de recepción de datos de la sede central del Instituto Geográfico Nacional. Asimismo, la red es uno de los dos Centros Nodales del Centro Sismológico Euro-Mediterráneo (CSEM) –asociación internacional sin ánimo de lucro dedicada a la investigación sísmica y que cuenta con un sistema de alerta temprana para terremotos en esa zona– y localiza y notifica aquellos terremotos en Europa y el Mediterráneo de magnitud igual o superior a 5.5

y de magnitud alta en cualquier lugar del mundo.

EN TIEMPO REAL

Emilio Carreño, director de la Red Sísmica Nacional desde hace 14 años, recuerda cómo antes de que entrara en funcionamiento la Red existían los llamados observatorios geofísicos: “Como los de Toledo, Málaga o Logroño, donde se hacían medidas de geofísica en general y disponían de varios sismóme-

tros que, fundamentalmente, registraban movimientos de larga longitud de onda correspondientes a sismos lejanos. Esos datos se enviaban a Madrid por télex o telegrama y al cabo de varios días se sabía que había ocurrido un terremoto en tal o cual sitio”.

En 1985, se dieron los primeros pasos para establecer una red con instrumentos ubicados estratégicamente en las zonas de mayor actividad sísmica. “Todos los instrumentos eran idénticos y enviaban su señal al centro de Madrid en tiempo real mediante línea telefónica. Luego se unían todos los datos, se digitalizaba la señal analógica y, mediante programas informáticos, se calculaba el epicentro... Esto podía llevar una o dos horas. Así se funcionó hasta finales de 1999, año en el que comenzamos a cambiar toda la instrumentación e incorporamos



Ubicado en el Instituto Geográfico Nacional (Madrid) se encuentra el Centro de recepción y análisis de datos enviados por las estaciones fijas o móviles.

equipos mucho más precisos, que enviaban los datos vía satélite. Con ellos, la transmisión, además de más fiable, era más económica. Ahora mismo tenemos contratados con Hispasat los sistemas desde los que se realiza la comunicación, y en menos de dos minutos lanzamos los primeros informes”, asegura Emilio Carreño.

LA RED SE MUEVE

Pero ¿qué ocurre si hay una zona que empieza a registrar más sismos de los habituales? Pues para estos casos, se cuenta con veinte estaciones móviles que se pueden destacar temporalmente, meses o incluso hasta años, a una ubicación concreta para detectar, por ejemplo, si por la acción humana se están produciendo terremotos.

La Red se completa con un centro en Sonseca, provincia de Toledo, dotada con ventiseis estaciones más que aportan datos de gran valor sismológico. La instalación toledana, además, funciona también como centro espejo o de respaldo de toda la red para duplicar y salvaguardar toda la información y poder operar de esta forma en caso de que el centro principal quedara inutilizado.

PRÓXIMO RETO, LOS TSUNAMIS

El Gobierno español también ha dispuesto que sea el IGN el organismo responsable de establecer un sistema de alerta sobre tsunamis. Ya se han superado los primeros test de funcionamiento, y resta completar el protocolo de comunicación con la Direc-



Mapa de la ubicación de las 79 estaciones sísmicas repartidas por toda España.

ción General de Protección Civil y Emergencias.

La instrumentación para detectar tsunamis es la misma con la que ya cuenta la Red. “Se sabe que por debajo de determinada magnitud

no se produce tsunami, por tanto no se daría alerta alguna, pero si el sismo puede producir una gran ola, nosotros somos los encargados de establecer cuándo y a qué zona de nuestra costa puede afectar”, explica Emilio Carreño.



Desde la sede central de la RSN, un equipo de 30 personas –en su mayoría físicos y matemáticos que pertenecen al Cuerpo de Geógrafos del Estado–, pueden informar en menos de dos minutos sobre cualquier movimiento sísmico.

El IGN es también el organismo responsable de establecer un sistema de alerta sobre tsunamis

Informar a la población sobre terremotos y tsunamis y cómo actuar en caso de que ocurran no es competencia del personal de la Red, pero en su página web –según RSN muy visitada desde todos los rincones del planeta por la información que aporta a otros investigadores– se encuentran todos los datos de los

sismos y también los consejos pertinentes.

España, en el contexto internacional, es un país considerado de baja sismicidad. En Europa, se situaría en un punto intermedio. La zona de riesgo abarca desde Alicante hasta Huelva. La zona de riesgo volcánico se limita al archipiélago canario. No obstante, en todo el país se construyen los edificios siguiendo las directrices del mapa de riesgo sísmico, que indica las

normas de construcción en cada término municipal del país a 475 años vista, tiempo en que se estima la vida de una construcción. En la Península Ibérica se han producido doce terremotos destructores importantes. El más grave, el de 1829, destruyó completamente Torreveja. El que tuvo los efectos más devastadores fue el de Lisboa en 1775: el tsunami que causó grandes destrozos en Huelva y Cádiz.

Sobre la actividad sísmica registrada anualmente, Emilio Carreño aporta algunos datos: “En 2014, tuvimos menos movimientos que otros años, alrededor de tres mil. En cambio, en 2013, hubo una gran actividad en Jaén y en Navarra y se contabilizaron más de 13.000. Hay que tener

Vigilancia de ensayos nucleares

El IGN participa en el International Data Center de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO) con una red sísmica de características especiales: la Antena Sísmica de Sonseca (Toledo). Esta instalación consta de 19 estaciones de corto período, 6 de largo período y una de banda ancha, ubicadas a 60 metros de profundidad, formando una espiral con un radio máximo de 10 kilómetros. Se trata de una Estación Primaria –de un total de 42– de la red sísmica global del sistema internacional de vigilancia que está enfocada a la verificación y control de ensayos nucleares requerido por CTBTO.

Colaboración ciudadana

Del análisis técnico se ocupan los profesionales de la Red, pero los ciudadanos que sienten los terremotos también pueden aportar valiosa información de manera casi instantánea a partir de la que elaborar un mapa de datos fiable sobre la intensidad y los daños producidos. A través del teléfono, la web o la aplicación del IGN para móviles, las personas que hayan sentido un terremoto pueden facilitar valiosos datos sobre la intensidad (leve, moderada o fuerte) y efectos sobre la población (si lo han sentido muchos, pocos o si ha tenido tanta fuerza como para despertar a la gente). También sobre si el temblor ha asustado tanto como para salir corriendo, los posibles efectos sobre los objetos, los muebles y si ha habido daños. Además, ofrece la posibilidad de enviar fotografías a la Red Sísmica Nacional de un daño o efecto del evento sísmico.

La app del IGN también permite activar el servicio de envío de notificaciones de los últimos eventos sísmicos, la distancia al epicentro del evento sísmico y parámetros epicentrales y la geolocalización de la posición del usuario y del epicentro.

Emilio Carreño Herrero

Emilio Carreño Herrero (Segovia, 1950) es doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid e ingeniero geógrafo. Comenzó su carrera profesional en empresas de geofísica y de reaseguro como especialista en catástrofes naturales. En la Administración y en el Instituto Geográfico Nacional, ha sido responsable de los departamentos de sismología y de ingeniería sísmica y director del Centro Sismológico de Sonseca (Toledo) para Vigilancia de Pruebas Nucleares de Naciones Unidas y, desde hace ya catorce años, es el director de la Red Sísmica Española.



en cuenta que, por ejemplo, la actividad en Torreperogil, en la provincia de Jaén, nos llevó a tener durante seis o siete meses estaciones temporales que estuvieron registrando sismos”.

Actualmente, no se pueden predecir los terremotos aunque sí

que se pueden vigilar los movimientos que se producen por el choque de la placa tectónica africana y la europea, responsables de los terremotos que se puedan producir en España. De cualquier forma, la velocidad de choque entre ambas placas es muy baja y hacen falta mu-

chos años para que se acumule la energía suficiente capaz de producir una ruptura y el consiguiente terremoto. Hay fallas activas y conocidas por los geólogos, pero son de escasa longitud o están partidas y, por tanto, las rupturas no pueden ser muy grandes. ■



Una de las estaciones fijas con las que cuenta la Red Sísmica Nacional y que se ubican en lugares recónditos para que la captación de datos no se vea interferida por ruido ambiental o actividad humana.

OJOS

Izquierda:

X: 1170

Y: 425

derecha:

X: 1002

Y: 425

ÁNGULO

Balanceo: 0.000012

Viraje: 0.920811

Cabeceo: -0.361141

NARIZ

X: 1073

Y: 517

BOCA

Izquierda:

X: 1150

Y: 622

derecha:

X: 1012

Y: 622

AVANCES TECNOLÓGICOS PARA QUE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y RASGOS DE COMPORTAMIENTO SE USEN COMO SISTEMA DE RECONOCIMIENTO

IDENTIFICACIÓN BIOMÉTRICA: CUANDO LA CONTRASEÑA ES EL PROPIO CUERPO

¿Cómo garantizar que únicamente la persona elegida pueda acceder a una sala restringida, consultar en un equipo información confidencial o hacer de forma digital una transacción económica? La biometría es la respuesta, ya que permite el reconocimiento único del individuo a partir de su huella dactilar, su iris, su voz o la forma del rostro. Son los sistemas más habituales, pero ya existen otros —y muchos más en fase de investigación— que son o serán capaces de garantizar nuestra identidad mediante la comprobación de nuestro olor, el ritmo cardíaco, el riego sanguíneo, o cómo hacemos los trazos al inclinar el bolígrafo.

Texto: **JAVIER PALAZÓN Y REGINA DE MIGUEL**

Ciencia aplicada a la tecnología que verifica la identidad de las personas en función de sus características fisiológicas o sus patrones de comportamiento”. Así podría definirse a la biometría y su capacidad de identificar a un individuo. Y llevarlo a cabo verificando sólo con su huella dactilar o reconociendo su iris –señas únicas de cada persona y que no se repiten en ninguna otra de todo el planeta–, para de ese modo permitirle acceder exclusivamente a un área restringida o edificio clasificado, o a equipos que almacenan datos valiosos e información secreta o ‘sensible’. Los beneficios son evidentes: se evitan suplantaciones de identidad y el usuario no tiene que pasar por registros engorrosos que le hacen perder tiempo.

Ya en la antigüedad algunas civilizaciones aplicaban sus propios métodos para identificar a cada persona de forma individual. Por ejemplo, en el antiguo Egipto, los trabajadores que edificaban las pirámides eran reconocidos por sus supervisores simplemente por la longitud que tenían sus brazos.

En la actualidad, los sistemas han avanzado y se han perfeccionado y, junto al desarrollo de tecnologías relacionadas con el rostro, la voz, la retina o el iris, las corporaciones especializadas en identificación biométrica trabajan en otras posibilidades, como la geometría de las manos, los patrones de las venas, el olor o la forma de las orejas. Incluso hay sistemas que identifican a las personas por su forma de teclear o de andar. “La biometría permite establecer una identidad basándote en algo que eres y no por lo que sabes o posees”, señala José Luis Huertas, CEO de Mobbeel, compañía inves-

tigadora que desarrolla soluciones de seguridad multibiométrica para dispositivos móviles.

Para que pueda considerarse un rasgo útil como indicador biométrico éste debe satisfacer las propiedades de universalidad, de manera que todas las personas lo posean, sea único, mantenga el mismo patrón con el crecimiento, y sea cuantificable, pudiéndose describir, representar y clasificar mediante técnicas de adquisición y procesamiento. Y estas ‘propiedades’ las poseen algunas características físicas pero también determinados rasgos del comportamiento.

Una vez aceptado un rasgo identificativo, todos los sistemas biométricos deben pasar por tres fases: la medición digital de datos sensoriales para obtener una representación del objeto al que se denomina patrón, la extracción de unas características que se almacenan en una base de datos, y la asignación a esos patrones de unos ‘permisos’.

SISTEMAS MÁS EXTENDIDOS

Uno de los rasgos identificativos más extendidos es el basado en la huella dactilar que continúa siendo muy popular por la utilización de este patrón en investigaciones forenses y policiales desde hace muchos años. “Estos sensores se basan principalmente en la imagen 2D de la huella, aunque los más modernos también tienen en cuenta la conductividad de la piel, e incluso el riego sanguíneo, para garantizar que se trata de un dedo vivo y no de un molde que se ha creado”, indica Rafael Delgado, director general de DTec Biometría, empresa especializada en la biometría de la voz y el reconocimiento del habla.

Los sistemas basados en las características del aparato fonador (cuerdas vocales, forma de la laringe o paladar) están cada vez más extendidos y el único requisito es disponer de “un micrófono que puede ser el del ordenador o el del propio teléfono”,

Características físicas y patrones de comportamiento

El ser humano puede ser identificado a partir de sus características físicas o sus patrones de comportamiento. Al primer grupo pertenece la huella dactilar, el método más antiguo de todos y con la tasa de precisión más alta. Por ejemplo, en Babilonia en el año 500 a. de C. los habitantes de esta sociedad firmaban sus transacciones comerciales con una huella impresa en arcilla. Otra característica física utilizada con parámetros biométricos es el reconocimiento facial, que se está utilizando en los sistemas de acceso y vigilancia y en algunos televisores interactivos. Hasta el momento, la técnica que se ha venido utilizando es el reconocimiento en dos dimensiones (2D), en la que sólo se necesita la ubicación de ojos, cejas, nariz, labios y barbilla y las distancias para localizar a una persona. Pero la técnica de reconocimiento facial está evolucionando hacia las tres dimensiones. Gracias al uso de múltiples sensores se puede capturar más información sobre la forma de la cara e identificar rasgos característicos como la barbilla, el contorno de los ojos, la nariz o los pómulos, y sobre la textura.

añade Delgado. No obstante, en el campo de la telefonía móvil, la biometría por voz se enfrenta a uno de sus mayores desafíos, porque el entorno acústico es variable y pueden existir niveles de ruido altos y voces de fondo que impidan una identificación correcta. Para resolver esta cuestión se está trabajando en filtros específicos que aportan robustez a estos sistemas y permitan captar y definir con mayor precisión y exactitud los registros de voz que se requieren para la identificación.

En los últimos años se han producido avances significativos en otras técnicas biométricas, como las relacionadas con el reconocimiento táctil, de venas o de la firma del usuario con solo analizar su velocidad de escritura, inclinación o trazo. “También existen técnicas como el análisis del ritmo cardiaco, la retina y la córnea, que, eso sí, todavía están en fase incipiente de investigación”, apunta Ilko García, director

técnico de Umanick, corporación especializada en soluciones biométricas para la identificación segura de personas.

DISPOSITIVOS Y ACTIVIDADES

Los sistemas biométricos dependían, hasta hace poco tiempo, de disponer de un hardware, un equipo que había sido diseñado para un determinado propósito. Esto limitaba su utilidad a usos y localizaciones concretas, como los controles de acceso a instalaciones. Esta situación ha cambiado, y uno de los avances más destacados que se ha producido es el traslado de los sistemas de identificación biométrica a los teléfonos móviles y las tabletas, dispositivos muy utilizados por el público. “Esto permite que el usuario demuestre su identidad mediante técnicas biométricas en cualquier momento y en cualquier lugar, multiplicando las posibilidades de uso y el impacto

La tasa de acierto

En cualquiera de las técnicas de biometría existentes puede presentarse una probabilidad y rechazar incorrectamente un usuario (Tasa de Falso Rechazo) o, por el contrario, validar a una persona que no debería (Tasa de Falsa Aceptación). “El valor de este último ratio está relacionado con la fortaleza del algoritmo de comparación que se esté utilizando y con la capacidad del sistema para extraer características que consigan diferenciar de manera única a los usuarios del sistema”, explica Ilko García, director técnico de Umanick. En todo caso, lo importante es mantener un equilibrio entre seguridad y usabilidad. “La mayoría de los sistemas permiten configurar estos umbrales de forma que se logre un sistema más estricto o permisivo según las necesidades”, afirma José Luis Huertas, CEO de Mobbeel. En este sentido, los sistemas que aplican más de una técnica biométrica permiten seleccionar la modalidad más adecuada.



Los sensores más recientes de identificación pueden detectar la conductividad de la piel o el riego sanguíneo para garantizar que no se trata de una imagen de la huella en 2D.

que éstas pueden tener para salvaguardar información personal y privada de cualquier intruso”, afirma Huertas.

Los sistemas biométricos también se aplican como medida de vigilancia para detectar a personas entre una multitud en todo tipo de entornos y eventos, como son los espectáculos deportivos. “Lógicamente, la información de estos individuos ha debido ser introducida de manera previa en el sistema biométrico mediante el correspondiente registro o enrolamiento. La tecnología más utilizada es el reconocimiento facial, pero se están empezando a desarrollar sistemas que emplean

¿Cómo funciona un sistema biométrico?

Las funciones principales de cualquier sistema biométrico son las siguientes: proceso de registro, autenticación y toma de decisiones. A su vez, los componentes de cada uno de estos sistemas están formados por tres elementos clave. El primero es el sensor, es decir, el dispositivo encargado de tomar las características biométricas de las personas y que, en función del sistema que se elija, será uno u otro: para el iris es una cámara de infrarrojos, para la voz un micrófono o teléfono, para el rostro una cámara integrada en el ordenador o una de vídeo... El segundo es el repositorio: en este espacio se guardan las plantillas biométricas que se han creado y que se utilizarán posteriormente como método de identificación. Finalmente se encuentran los algoritmos, elementos matemáticos que ayudan a extraer y comparar los datos obtenidos. Este proceso se asocia a una fase de registro, verificación e identificación.

la forma de andar como rasgo biométrico”, comenta García.

También en muchos países la identificación biométrica se utiliza para hacer una transacción económica sin necesidad de tarjetas de crédito, firmas o claves. En este caso, el proceso de captura biométrica consiste en la toma de diez huellas dactilares y una fotografía de la persona que solicita el visado a un país europeo de la zona Schengen en función del reglamento de la ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional). Esta captura biométrica es el primer paso para la solicitud del visado y viajar a este espacio que se creó en 1995 y al que pertenecen 26 países europeos. El objetivo es que los países integrantes de la zona Schengen supriman fronteras comunes y establezcan los controles en sus fronteras exteriores.

“Este proceso inicial es de vital importancia porque, al llegar al país de destino, se le solicitará a la persona su huella mediante terminales de reconocimiento dactilar que validen su identidad y permitan su entrada al país”, dice José Vicente Cobos, responsable de Geyce Biometrics, una compañía especializada en software de biometría facial y dactilar que, entre otras activi-

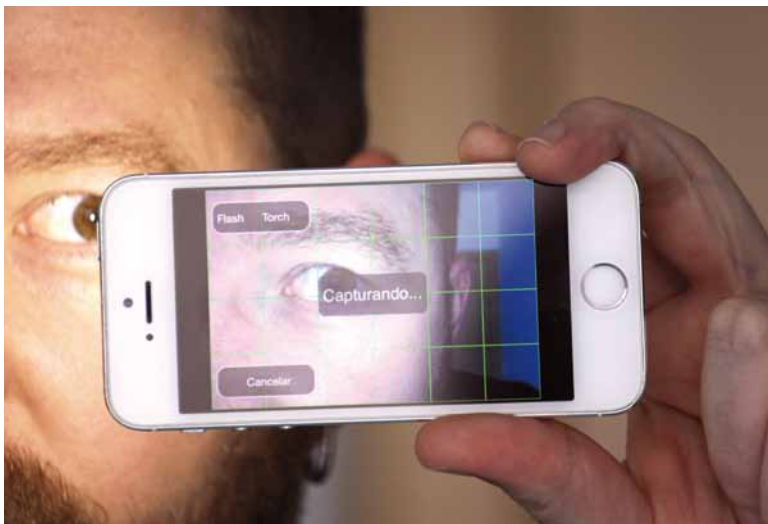
dades, desarrolla proyectos de visado y pasaportes.

LO QUE VENDRÁ...

La biometría es un sector que en los próximos años continuará creciendo, las tecnologías se perfeccionarán y aparecerán sistemas mucho más sofisticados capaces de identificar a las personas de manera mucho más inteligente. Una tendencia es la autenticación continua y pasiva. Los dispositivos móviles capturarían y analizarían toda la información del usuario,

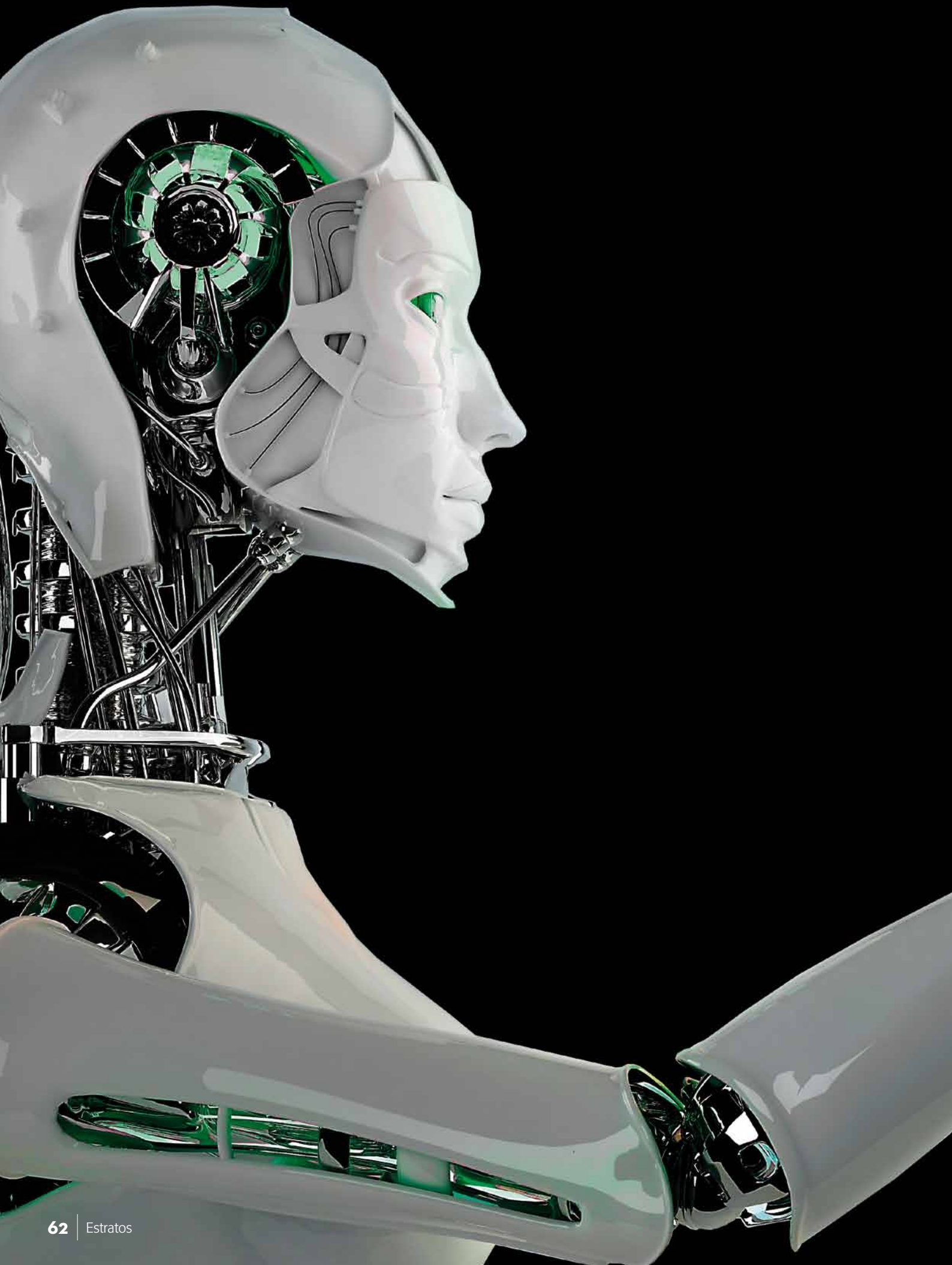
como su rostro, su voz, las aplicaciones que más utiliza o la forma de escribir un mensaje. “Con todo, el sistema se anticiparía a la necesidad de verificar la identidad de la persona cuando realiza un pago a través del móvil o se registra en la aplicación de su banco siempre y cuando el nivel de confianza sea alto”, comenta Huertas.

En unos años será habitual utilizar la huella dactilar en las oficinas bancarias y en campos como la sanidad y la atención al paciente. En marketing se producirán avances notables y se desarrollará un nuevo tipo de publicidad, a través de las pantallas de anuncios, capaz de mostrar un anuncio u otro en función del género y la edad de la persona que se sitúe frente a ella. Así lo anticipa García: “Lo único que se puede decir es que nos esperan muchas sorpresas. Las llaves, las tarjetas, los pasaportes y los códigos de seguridad serán cosas del pasado a medida que la tecnología biométrica haga de nuestros cuerpos las únicas contraseñas que necesitemos”. ■



Los sistemas biométricos se han trasladado a dispositivos móviles para permitir la identificación del usuario en cualquier momento y lugar. En este caso con el reconocimiento del iris.

© Mobbetel



LA MECÁNICA CUÁNTICA PUEDE SER LA GRAN BAZA PARA EL DESARROLLO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

ROBOTS CUÁNTICOS, LAS MÁQUINAS CREATIVAS DEL FUTURO

A pequeña escala ya existen robots que detectan fugas de gas, hacen diagnósticos médicos o son capaces de esquivar obstáculos, pero ¿habrá en el futuro máquinas que puedan aprender y luego improvisar? ¿Incluso adaptarse a un entorno y a unas necesidades concretas y por tanto evolucionar? La mecánica cuántica abre unas posibilidades en esta dirección que van mucho más allá de realizar unas 'simples' tareas. Una puerta que puede dar forma a la tan soñada (o temida) 'máquina inteligente'. Incluso robots que sean capaces de sentir como los humanos... aunque esta última predicción es todavía muy aventurada.

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**

Las fronteras entre lo que somos como especie y las máquinas que creamos se diluyen a velocidad de vértigo con los robots capaces de aprender, improvisar, adaptarse y evolucionar. Y éstos ya están aquí aunque todavía sea a pequeña escala. Como las pequeñas criaturas en los inicios de la historia de la vida, pero con posibilidades de dar un salto de gigante y en pocos años gracias a la mecánica cuántica. Hoy, ya existen 'los planos' sobre los que podrán construirse esas máqui-

nas inteligentes, y son obra, entre otros, del científico español Miguel Ángel Martín-Delgado y el italiano Giuseppe Davide Paparo, ambos en Quitemad, un consorcio científico radicado en Madrid.

La primera vez que un grupo de físicos habló de la posibilidad de hacer cálculos de naturaleza cuántica fue en los 80 del siglo pasado, pero no fue hasta los 90 cuando se empezó a poner en práctica. Y con ello la mecánica que estudia las reglas que rigen los objetos microscópicos, el nivel atómico de la materia. Después de que en 1994 el estadounidense

se y profesor de Matemáticas Peter Shor publicara un algoritmo matemático que aumentaba exponencialmente la velocidad de procesamiento de información –y que lleva su nombre–, apenas se tardó un año en presentar un sistema de computación cuántico, un trabajo del físico español Juan Ignacio Cirac, premio Príncipe de Asturias 2006, y que en la actualidad forma parte del Instituto Max Planck de Alemania.

Paralelamente a estos desarrollos, la Inteligencia Artificial (IA) que está detrás del funcionamiento de los robots ha ido buscando

© Fotalia

caminos para acercarse a lo que más caracteriza a los 'sapiens'. "Lo que diferencia un ordenador de un robot es que el primero es una máquina de bits al que tienes que poner toda la información, pero la inteligencia artificial tiene una definición poco clara. Es hacer lo mismo que un ser humano, pero ¿qué es lo que nos hace inteligentes y cómo expresarlo mediante modelos matemáticos? Es una pregunta para la que nos falta un ingrediente", afirma Martín-Delgado.

Sea como fuere, en la actualidad los robots son capaces de hacer cosas asombrosas. Los hay que pueden evitar colisionar con una persona, otros pueden detectar una fuga de gas o radiaciones, e incluso hacer diagnósticos médicos. Gracias a los desarrollos de la IA, son capaces de responder a estímulos externos de cualquier magnitud que se pueda medir.

CAPACES DE IMPROVISAR

Un paso más allá es su capacidad de improvisar como los humanos, y ahí hay camino por recorrer, según el profesor Antonio Barrientos, del Centro de Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid. "Improvisar es actuar sin un esquema previo entrenado. Los humanos lo hacemos continuamente combinando esquemas de comportamientos anteriores a contextos nuevos, mezclando lo que conocemos para resolver un problema que no conocemos. Un robot, su programa o algoritmo, puede hacer lo mismo. Igual que nosotros sopesamos mentalmente alternativas y optamos por una, también el robot puede seleccionar la mejor, en su caso, en función del coste de batería o del tiempo que le puede llevar; no obstante, nuestra capacidad de cortar y pe-

gar mentalmente es muy superior a la suya", apunta Barrientos.

El equipo de Barrientos trabaja en el desarrollo de robots que sirvan para vigilar y patrullar por grandes infraestructuras utilizando el aprendizaje de las máquinas mediante la Teoría del Juego: se trata de robots que aprenden a resolver juegos aplicando cierta racionalidad, basándose en los beneficios que obtiene cada jugador, en este caso el tiempo empleado.

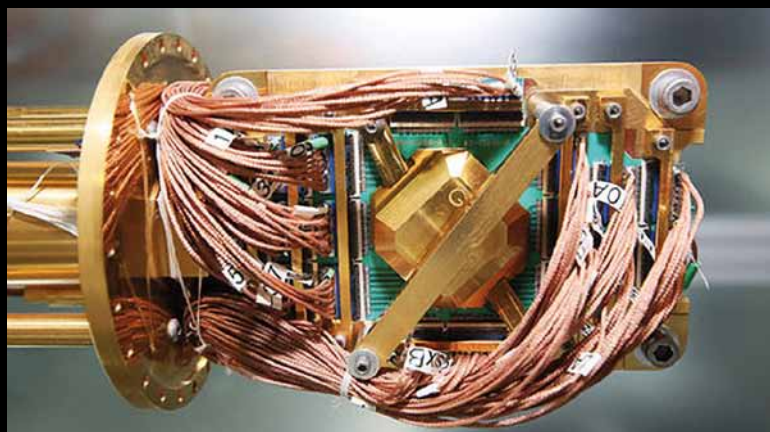
Y es que hoy los robots aprenden, aunque cada uno cosas muy sencillas: a jugar al tenis, a ir de la mano, a reconocer caras o dar la vuelta a una tortilla. Y para ello se utilizan, principalmente, técnicas de aprendizaje basadas en el razonamiento (buscando una lógica en el pensamiento abstracto humano), las redes neuronales humanas, o los 'algoritmos genéticos', es decir, la teoría de la evolución de Charles Darwin.

Si la primera se basa en el pensamiento, la segunda parte del sistema nervioso animal, que funciona mediante conexiones eléctricas entre neuronas. Esas 'chispas de salida' saltan cuando

estímulos del exterior superan cierto umbral y se recombinan en sucesivas capas de neuronas, hasta que damos una respuesta. Si nos equivocamos, nuestra plasticidad neuronal rompe esas conexiones para no repetir el error. Si no ocurre, tenemos un problema. En los robots, explica Barrientos, es lo mismo: "Se entrena el sistema el número de veces adecuado hasta mejorar las conexiones y lograr que las decisiones sean las mejores frente a los estímulos recibidos".

EVOLUCIÓN Y FORTALEZAS

Por su parte, los algoritmos genéticos evolucionan como el ADN. La robótica sigue el modelo de la vida, sobreviven los fuertes, que son los que se aparearon y generaron individuos mejor adaptados al entorno, a la vez que se potenciaban posibles mutaciones favorables. "Los cromosomas son como las decisiones que deben tomar un robot para resolver un problema. Se proponen combinaciones y las más alejadas de la solución se eliminan. Luego se van 'apareando' las certeras y, tras evaluar opciones, aprende a hacer algo que no sabía". Así es como el



D-Wave Two es el ordenador con el que cuenta el Laboratorio de Inteligencia Artificial Cuántica, puesto en marcha por la NASA y Google, y que es 35.000 veces más rápido que uno convencional.

© Google/Nasa

equipo del francés Jean Baptiste Mourte y Sylvain Koos, del Instituto de Sistemas Inteligentes y Robótica de la Sorbona, ha logrado que un ingenio, con forma de tarántula, sepa cómo caminar sin haberlo hecho antes.

En esa línea, el israelí Hod Lipson, director del Laboratorio de Máquinas Creativas de la Universidad de Cornell (EEUU), ha diseñado con su equipo un robot, capaz de determinar leyes físicas sencillas. De su centro salen 'criaturas' mecánicas inquietantes. "En una ocasión indicamos a uno de los desarrollos que diseñara una estructura fotónica y del sistema surgió algo en lo que no habíamos pensado antes; tenemos otros que ya han creado modelo, que se han patentado", señalaba el investigador en una entrevista reciente. Ahora, su objetivo es crear robots con autoconciencia, el robot-sapiens, y ya ha dado los

primeros pasos con máquinas capaces de 'autoreconocerse'.

¿SENTIRÁN EMOCIONES?

Aún no existe el robot revolucionario, pero sí su arquitectura interior para un tamaño pequeño, incluso se conocen sus piezas fundamentales. Y matemáticamente se sabe que gracias a las reglas cuánticas optimizará a los robots actuales. "Quien quiera puede animarse a fabricarlo en un laboratorio para comprobar que improvisa mejor porque es más rápido, y eso, como pasa con los cazadores, significa supervivencia. Por lo pronto, nuestro siguiente reto es hacer el diseño para un robot más grande sin que se degraden sus características", apunta Martín-Delgado.

Prueba del auge de la mecánica cuántica es el interés por ella de

Google, el más potente buscador informático, y la NASA. Juntos han creado el Laboratorio de Inteligencia Artificial Cuántica y ya tienen un ordenador, bautizado como D-Wave Two™, que es 35.000 veces más rápido que uno convencional.

Pero en éste, como en otros campos de la investigación, es difícil predecir qué pasará en pocos años. Martín-Delgado sí tiene claro que para 2020 la cuántica estará implantada, pues los chips ya están fabricándose en tamaños diminutos de 24 nanómetros, a punto de entrar en la escala atómica, la de los Armstrong, que es 10 veces más pequeña. Y en ese tamaño, sin contar con la mecánica cuántica, los átomos escapan.

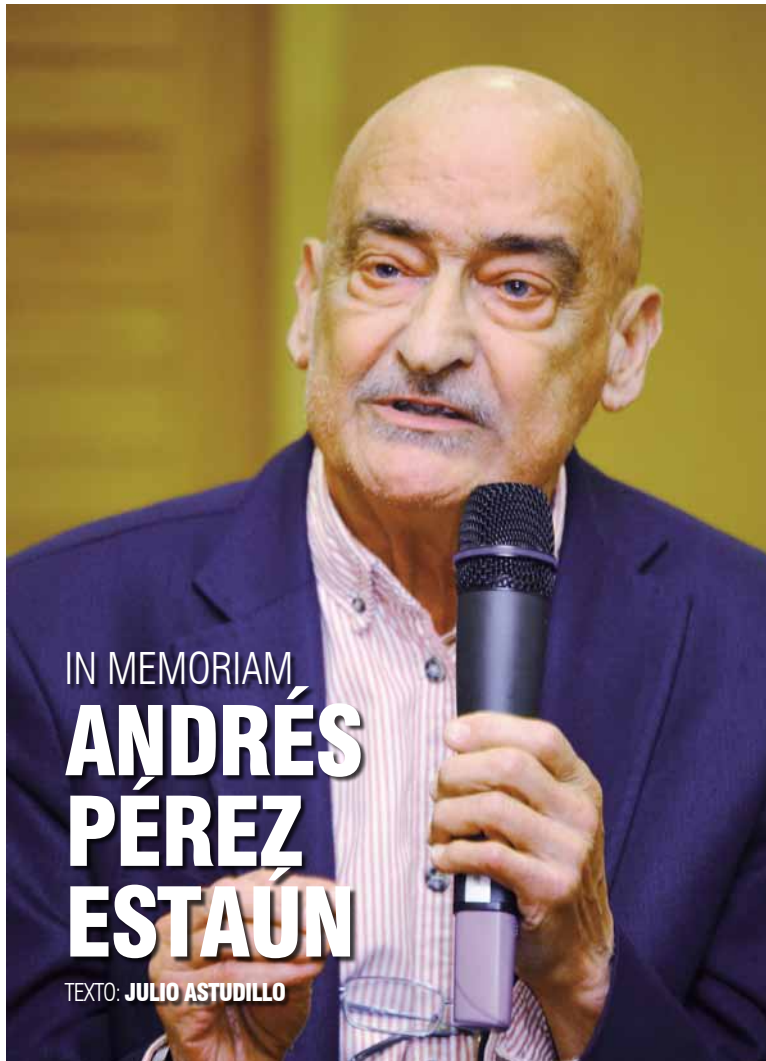
La pregunta inevitable va mucho más allá: ¿Llegará el día en que los robots puedan sentir emociones? El ingeniero americano Hod Lipson está convencido de ello, aunque cree que serán sentimientos distintos a los nuestros. Para Antonio Barrientos, cualquier predicción es aventurada: "Es difícil saber cuándo se alcanzará una meta tan destacable como que sientan lealtad o gratitud. Cualquier respuesta es especulativa porque hace falta ese salto cualitativo que no conocemos. Algunos dicen que está en el aumento de las capacidades de cálculo, otros en la luz, o quizás en otras variables. Suena sugerente. Hoy no podemos saber adónde se puede llegar. Lo mismo que Leonardo da Vinci no pudo predecir el teléfono móvil, nosotros no podemos aventurar qué pasará ni siquiera dentro de diez años".

En todo caso, el día en el que "exista Inteligencia Artificial que no seamos capaces de distinguir de la nuestra", como auguró el matemático Alan Turing hace 70 años, parece mucho más cerca. ■

Inteligencia artificial débil y fuerte

La mecánica cuántica puede ser la gran baza de la Inteligencia Artificial. En 2014, Martín-Delgado y sus colegas publicaron 'el plano' de la construcción de un robot basado en la parte de la física que estudia el movimiento de las partículas microscópicas, y quien, para explicar sus posibilidades, distingue entre la IA débil y fuerte, la que más se acerca a la humana: "La débil ha desarrollado en robots capaces de responder a estímulos y de aprender cosas sencillas; pero la fuerte es la de un robot con conciencia humana total. De la una a la otra quizás pasemos con más capacidad de cálculo o más velocidad, pero yo creo que falta algo más, un ingrediente que no sabemos cuál es todavía".

Pese a ello, el algoritmo cuántico que han desarrollado abre un futuro prometedor para la IA débil al incrementar asombrosamente la rapidez y la seguridad de la transferencia y el procesamiento de información. De mil instrucciones por segundo a un millón. Una espectacular rapidez para la adaptación del robot a su entorno, para su aprendizaje, para la búsqueda de soluciones en entornos que requieren respuestas inmediatas.



IN MEMORIAM
**ANDRÉS
 PÉREZ
 ESTAÚN**

TEXTO: JULIO ASTUDILLO

Andrés Pérez Estaún, científico, investigador, profesor, amigo y colaborador habitual de Enresa nos dejaba hace unos meses a causa de una compleja enfermedad que no le impidió seguir trabajando y cumpliendo sus compromisos, con el entusiasmo habitual en él, hasta el último día.

Pérez Estaún, miembro de la Real Academia de Ciencias, doctor en geología estructural, profesor de investigación en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera de Barcelona y catedrático, durante muchos años, en la Universidad de Oviedo, fue en las últimas décadas el promotor y activador fundamental de la

profundización del conocimiento y el desarrollo tecnológico encaminado a conocer el subsuelo de la Península Ibérica y a transferir dichos conocimientos a la sociedad a través de aplicaciones industriales en prospección minera o en el uso del espacio subterráneo para aplicaciones industriales, como es el almacenamiento geológico de residuos.

Con su gran capacidad didáctica, nos hizo comprender los complejos mecanismos que controlan la evolución de la corteza terrestre y nos embarcó en proyectos de gran interés, cuya aplicación fue más allá de la gestión de los residuos radiactivos.

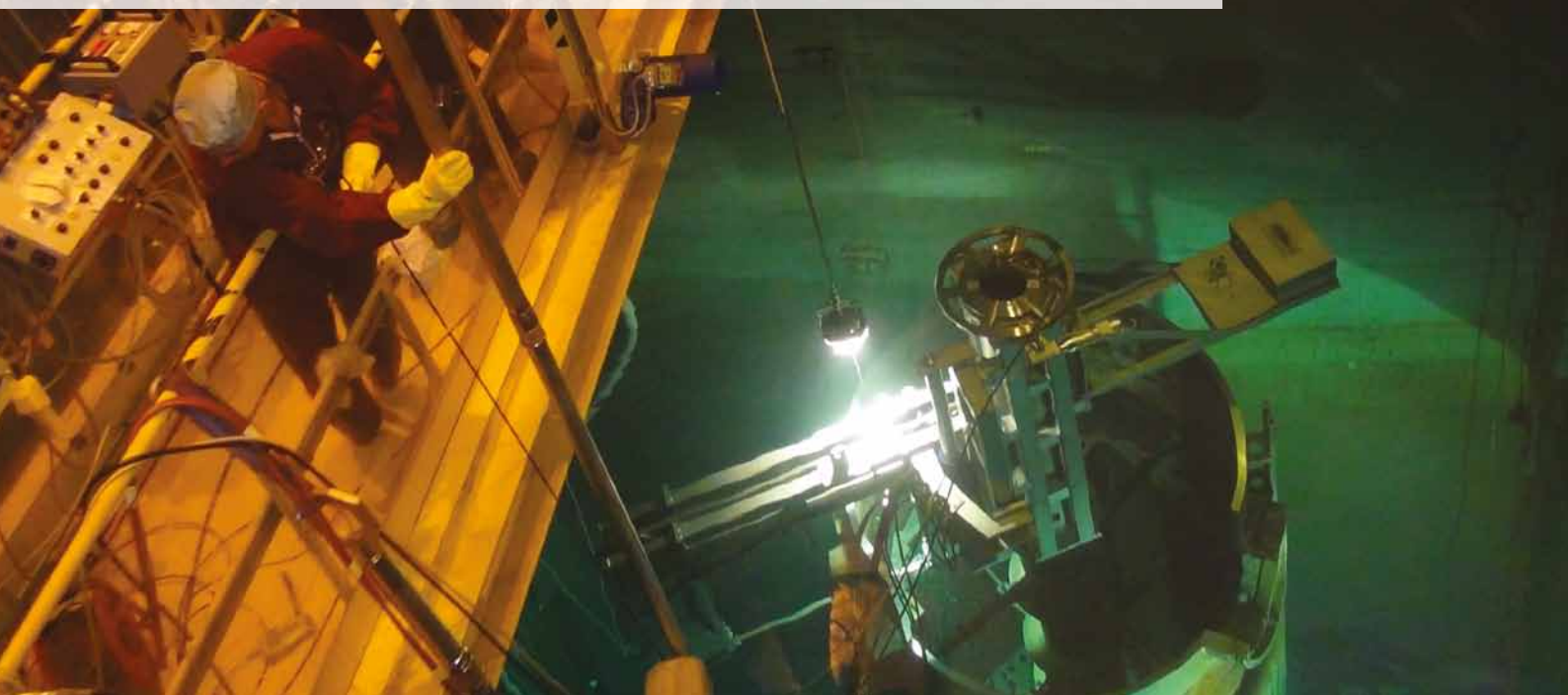
Pérez Estaún promovió la realización del mapa sismotectónico nacional, pieza clave hoy para los estudios de seguridad sísmica de las instalaciones y construcciones civiles. También fue colaborador fundamental en la caracterización del emplazamiento de El Cabril, donde participó con los técnicos de Enresa en la determinación de la evolución geológica de El Cabril y su impacto en la hidrogeología y en la sismicidad.

La restauración de antiguas minas de uranio fue el origen de la puesta a punto de técnicas avanzadas de tomografía sísmica, no aplicadas nunca en nuestro país a rocas cristalinas, y que son fundamentales en la caracterización del subsuelo. El conocimiento del subsuelo fue una de sus obsesiones de progreso científico y tecnológico, interés compartido con los técnicos de esta empresa. Este objetivo común nos llevó a colaborar en el desarrollo de esta tecnología, que se aplicó con éxito en la corrección del trazado de los túneles de las líneas de AVE en la Sierra de Guadarrama, y en el trazado de algunas líneas de metro de Barcelona. Actualmente, esta tecnología se está aplicando en la caracterización de los terrenos del ATC, proyecto en el que estaba trabajando hasta su fallecimiento.

Será difícil superar la pérdida del científico y del profesor, pero será imposible superar la pérdida de una gran persona y de un gran amigo. ■

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.westinghousenuclear.com)





EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

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

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

■ Tecnología

■ Experiencia

■ Dedicación



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

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.