

# estratos

Empresa Nacional de Residuos Radiactivos N.º 105 Primavera 2013

**‘Sierra Albarrana’, la revista de Enresa dedicada a El Cabril y su comarca, se integra en ‘Estratos’**

**SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
Cartografía del siglo XXI  
al servicio de Enresa**

**SALUD  
Asesinos de enfermedades**



ENTREVISTA

José Manuel Perlado, catedrático de Física Nuclear: “A la energía de fusión le queda un camino largo, pero lo conseguiremos”





**IBERDROLA**  
Ingeniería y Construcción

Presentes en más de 30  
países

Referencia tecnológica del  
Grupo IBERDROLA

Inversión continuada en I+D+i

Excelencia en la Gestión (nivel  
+400 de EFQM)

**Innovamos para construir un mundo mejor**

## Presentación

| **2** El nuevo 'Estratos', por *Francisco Gil-Ortega* |

## Actualidad Estratos

| **3** El trimestre en una imagen | **4** Enresa  
| **5** ATC | **6** Zorita | **7** Mundo | **8** Agenda |

## Sierra Albarrana

El Cabril y su entorno

| **9** Aunar esfuerzos sin perder objetivos  
| **10** Vivir con la sociedad cercana | **12** Los  
municipios europeos con instalaciones nucleares,  
en Hornachuelos | **14** Noticias de El Cabril  
| **15** Todos a una en Fuente Obejuna |



## Enresa por dentro

| **16** Cartografía del siglo XXI al servicio de  
Enresa, por *Ignacio Cienfuegos Hevia* |

| **22** Comprometidos con la seguridad, por  
*Pedro Carboneras* |



## Entrevista

| **26** José Manuel Perlado, director del Instituto  
de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica  
de Madrid: "A la fusión nuclear le queda un  
camino largo, pero creo que lo conseguiremos",  
por *Ignacio F. Bayo* |

## Reportajes

| **31** Nuestros bosques están sanos, por *Pablo  
Francescutti* |

| **36** El gasto en I+D+i debe alcanzar el 1,48% del  
PIB, por *Jesús Vicenti* |

| **40** La tumba que encierra el ADN de los  
neandertales, por *Rosa M. Tristán* |

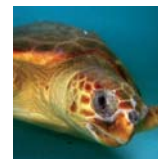
| **45** Asesinos de enfermedades, por *Manuel  
Ansede* |

| **50** Tortugas: un viaje sin retorno, por *José  
María Montero* |

| **56** Comida de impresión, por *Concha Barrigós* |

## Periscopio

| **60** Estratos 360°. Ciencia, tecnología y medio  
ambiente | **64** Una imagen, cien palabras |



# El nuevo 'Estratos'

CON ESTE NÚMERO comenzamos una nueva época en *Estratos*. Nueva maqueta y también nuevas secciones, pero con el mismo objetivo que Enresa ha cumplido desde que, en 1986, naciera esta publicación. La idea de entonces y la de ahora continúa siendo la de informar a los españoles sobre la gestión de los residuos radiactivos, el desmantelamiento de las centrales nucleares que se han cerrado y, naturalmente, sobre otros asuntos científicos y técnicos paralelos y de actualidad.

A lo largo de este cuarto de siglo, Enresa ha asumido nuevos proyectos y ha finalizado otros, lo que se ha ido traduciendo en diversos cambios, tanto en la estructura interna de la empresa como en la repercusión y el alcance de sus actividades. Desde hace un año, el Almacén Temporal Centralizado, que se va a construir en la localidad conquense de Villar de Cañas, aglutina gran parte de los esfuerzos de la compañía. Se trata de un gran proyecto que requiere de toda la experiencia que en estos años han ido acumulando

los profesionales de esta empresa. Pero ese trabajo no es el único, porque Enresa sigue en su tarea de desmantelar las centrales nucleares que, en cada momento, el Gobierno ha decidido cerrar. En este número adelantamos los avances técnicos que se dan en José Cabrera y, asimismo, cómo se está culminando la fase más importante de este proceso: el corte bajo el agua de los com-



Con este número presentamos una revista renovada, más moderna y más cercana al lector.

ponentes internos del reactor. Igualmente, Enresa cumple con un potente programa de I+D en el Centro Tecnológico Mestral, mientras finaliza el periodo de latencia imprescindible para desmontar el reactor de la antigua central nuclear Vandellós I, en Tarragona. Y, de forma muy especial, Enresa permanece en Córdoba trabajando en El Cabril, donde aho-



ra mismo mantiene su instalación para almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad. Precisamente, desde que nuestra empresa asumió la gestión del almacenamiento para este tipo de desechos, se abrió un vehículo de comunicación para mantener informada a una comarca geográficamente dispersa. Esta publicación, *Sierra Albarrana*, ha contribuido eficazmente durante todo este tiempo a mostrar los detalles, por pequeños que fueran, de nuestra instalación y, de igual modo, a que la comarca donde se ubica fuera mejor conocida y querida en toda España. Sin embargo, cambian los tiempos y las circunstancias y en este momento *Sierra Albarrana* se integra en *Estratos*, lo que proporcionará a todas las actividades de El Cabril y de su entorno una mayor proyección nacional.

Con este número, en fin, presentamos una revista renovada, más moderna y más cercana al lector y que responde a la necesidad de combinar los nuevos proyectos de Enresa con la tarea de continuar ofreciendo una información veraz y transparente. Este es el nuevo *Estratos*.

*Francisco Gil-Ortega*  
Presidente de ENRESA

## REVISTA ESTRATOS

**Presidente:** Francisco Gil-Ortega.

**Director:** Carlos Dávila.

**Redactores jefe:** Jorge Fernández y Teresa Palacio.

**Redactores y colaboradores:** Manuel Ansede, Leticia Arenas, Julio Astudillo, Concha Barrigós, Roberto Bueno, Pedro Carboneras, Ignacio Cienfuegos, Ignacio F. Bayo, Pablo Francescutti, Emilio García, Eva María Heras, Cristina

López-Quero, Rosa M. Tristán, Mariano Molina, José María Montero, Arantza Prádanos, Nuria Prieto, Maruxa Ruiz del Árbol, Mónica Salomone, Juan Tena, Belén Tobalina y Jesús Vicenti.

**Foto de portada:** Vista nocturna de El Cabril (Alfredo Cáliz)

**Edita:** Enresa, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.

**Redacción:** Emilio Vargas, 7. 28043 Madrid.

Tel.: 91 566 81 00.

**Correo electrónico:** registro@enresa.es

**Página web:** www.enresa.es

**Administración:** Nieves Sánchez.

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

**Coordinación y producción:** RGB Comunicación. Princesa, 3 dup. 28008 Madrid. Tel.: 91 542 79 56.

## Diseño y maquetación:

CerezoDiseño. General Oraa, 80. 28006 Madrid. Tel.: 91 562 04 97.

**Fotomecánica:** Cromotex, Valportillo Segunda, 7. 28108. Alcobendas. Tel.: 91 121 78 00.

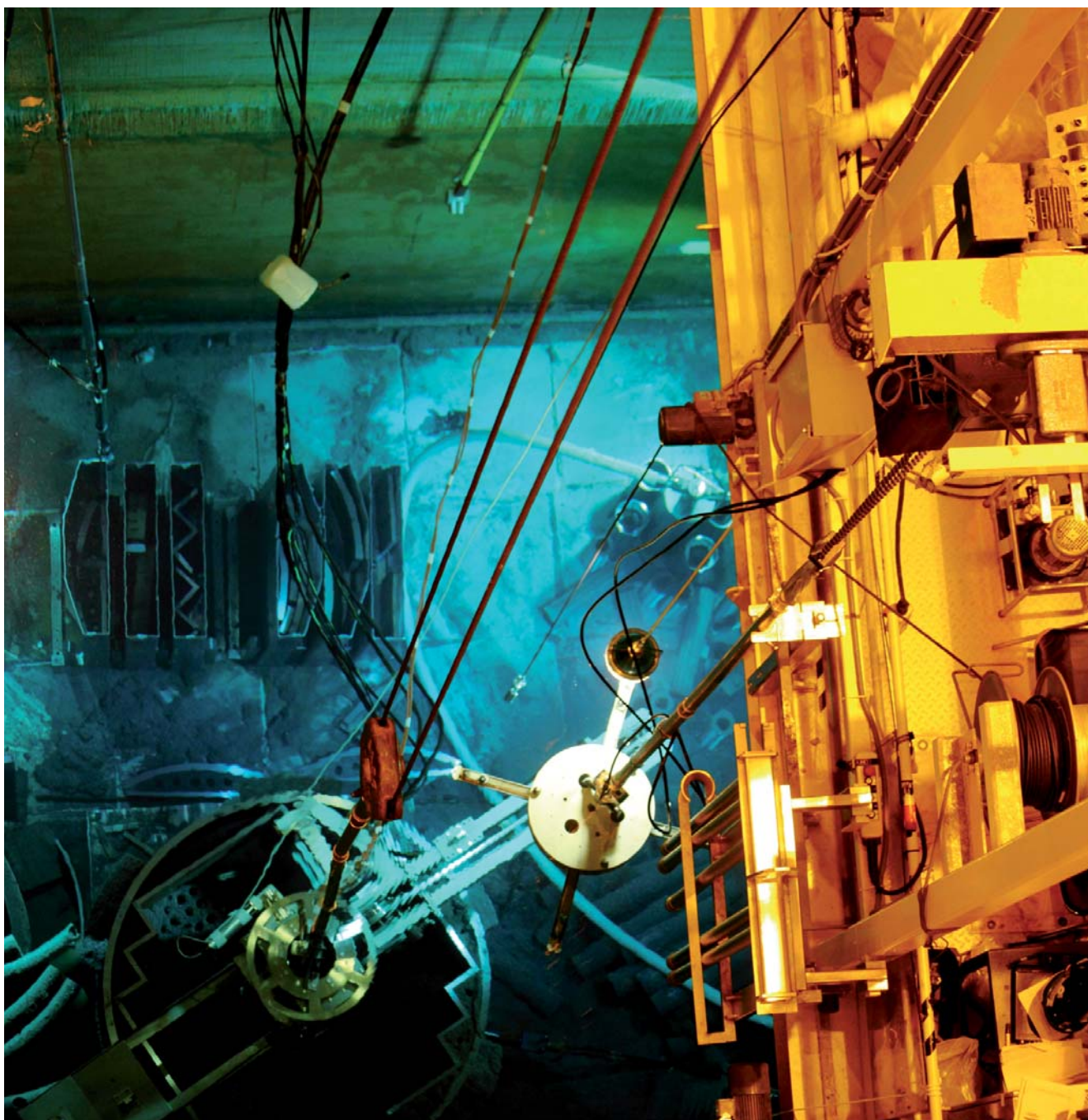
**Impresión:** Gráficas Caro. Gamonal, 2. Polígono Industrial de Vallecas. Madrid. Tel.: 91 777 30 74.

**Depósito Legal:** M-7 411-1986.

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



## El trimestre en una imagen



### *El desmantelamiento de un reactor nuclear*

El proyecto de desmantelamiento de la central José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara) constituye todo un hito tecnológico. Es la primera vez que, en España, se desmonta un reactor nuclear. Para ello, en el caso de la instalación alcarreña, se ha procedido a segmentarlo bajo el agua mediante herramientas de corte mecánico dirigidas de manera remota. En una primera fase se han cortado los componentes situados dentro de la vasija, los denominados internos superiores y los inferiores, que son los que aparecen en la imagen.

# ENRESA

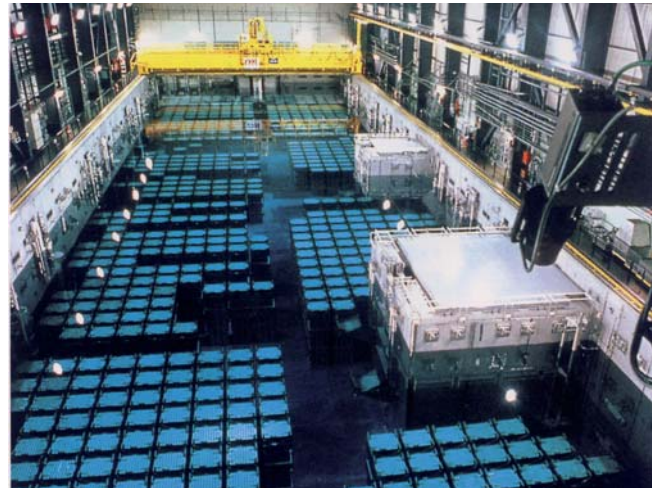
## Una delegación de Enresa visita las instalaciones de Areva en La Hague

El grupo francés Areva, líder mundial en tecnología nuclear, recibió a una delegación de Enresa encabezada por su presidente, Francisco Gil-Ortega, durante los pasados días 11 y 12 de enero. La visita a las oficinas de París continuó en las instalaciones que Areva tiene en el cabo de La Hague, en la península de Normandía.

Durante el viaje, la representación española tuvo ocasión de reunirse con Luc Orsel, presidente de la compañía, y otros directivos

de la empresa gala, con los que repasaron temas de mutuo interés sobre la gestión de residuos radiactivos de alta actividad y combustible gastado y, fundamentalmente, en torno al Almacén Temporal Centralizado (ATC) y su importancia para el programa español en este campo.

En la visita a las instalaciones del cabo de La Hague, la delegación de Enresa pudo comprobar, entre otros asuntos técnicos, la evolución de la construcción de las nuevas bóvedas para al-



Almacenamiento de combustible gastado de Areva en La Hague. / AREVA

macenamiento de residuos vitrificados de alta actividad, similares en concepto a las bóvedas del ATC que se va a construir en Villar de Cañas (Cuenca).

## Enresa y su homóloga de Corea del Sur firman un acuerdo de colaboración científica y técnica

Enresa ha firmado un acuerdo con la Sociedad para la Gestión de Residuos Radiactivos de Corea del Sur (KRMC, en sus siglas en inglés) para fomentar la colaboración científica y técnica en materia de gestión de residuos radiactivos. Este convenio tendrá una duración inicial de cinco años y su objetivo es la cooperación en proyectos de interés común, así como el intercambio de especialistas entre ambas organizaciones.

El acuerdo rubricado por Francisco Gil-Ortega, presidente de Enresa, y Song Myung-Jae, presidente de KRMC, surge del interés de la agencia surcoreana por acceder a la experiencia técnica de Enresa.



Song Myung-Jae y Francisco Gil-Ortega firman el acuerdo de colaboración entre KRMC y Enresa. / ENRESA

En mayo de 2011, una representación de parlamentarios del país asiático viajó a España, acompañada por un grupo de técnicos de KRMC, con el fin de conocer el almacén centralizado para residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba).

La visita, junto con la información recibida sobre

los avances del Almacén Temporal Centralizado para residuos de alta actividad que Enresa construirá en Villar de Cañas (Cuenca), llevó a KRMC a proponer la firma de un acuerdo de cooperación en las áreas de gestión de residuos de baja y media actividad, el almacenamiento de combustible gastado y el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Gracias a esta colaboración, Enresa fortalece su posición de referente internacional y su visibilidad, ya que en la actualidad mantiene convenios de asesoría técnica con numerosos países y una activa presencia en foros internacionales del sector.

## Mónica Tovar recibe el Premio Energía y Medio Ambiente patrocinado por Enresa



De izquierda a derecha, Rafael Villaseca, Francisco Gil-Ortega y Mónica Tovar. / ENRESA

El pasado 18 de febrero, en el marco de los XXIV premios de la Energía, la periodista del periódico *Nueva Alcarria* de Guadalajara Mónica Tovar se alzó con el Premio Energía y Medio Ambiente patrocinado por Enresa. Ante más de 450 personalidades del mundo de la política, la energía y la empresa, Tovar recibió el galardón de manos del presidente de Enresa, Francisco Gil-Ortega, en un acto presidido por el ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria, y el presidente del Club Español de la Energía, Rafael Villaseca.

La distinción fue concedida a la redactora alcarreña por su seguimiento de los avances del proyecto de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara), destacando el rigor de sus informaciones, elaboradas desde una perspectiva medioambiental, y la calidad y capacidad de análisis de sus textos sobre la gestión de residuos radiactivos.

En la misma jornada, Belén Tobalina, responsable de la sección de Energía y Medio Ambiente del diario *La Razón* y colaboradora habitual de *Estratos*, recibió el Premio Utilización Eficiente de la Energía, otorgado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Patrocinados por Enresa, Carbounión, Unesa, Siemens, Foro Nuclear, la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), Sedigas, Repsol y el mencionado IDAE, los premios de la Energía reconocen cada año la labor desarrollada por los profesionales de la información, alabando el trabajo y la dedicación diaria de aquellos periodistas que, en cada una de las diferentes categorías energéticas, contribuyen a acercar este mundo a la sociedad. ◀

## ATC

### Francisco Gil-Ortega: “El ATC se construirá en Villar de Cañas con absoluta seguridad”

El Almacén Temporal Centralizado (ATC) para residuos radiactivos de alta actividad se construirá “con absoluta seguridad” en la localidad de Villar de Cañas (Cuenca), tal y como afirmó el presidente de Enresa, Francisco Gil-Ortega, quien no guarda la más mínima

miento –en una zona ya validada previamente por una Comisión Interministerial–, se realizó la selección definitiva del suelo donde distintas empresas especializadas han trabajado en la caracterización. “No hay nada que lleve a pensar que los terrenos escogidos



Vista aérea de Villar de Cañas. / ENRESA

duda sobre la idoneidad de los terrenos elegidos para ubicar la instalación.

Así lo confirman, además, los resultados obtenidos hasta ahora en los trabajos de caracterización que se realizan sobre el terreno. El director de Ingeniería de Enresa, Pablo Zuloaga, aseguró que estas labores, iniciadas hace casi un año, son necesarias para el diseño de la instalación y para el proceso de autorizaciones y la obtención de la declaración de impacto ambiental.

Tras los estudios preliminares en los tres terrenos propuestos por el Ayunta-

para el ATC no son idóneos”, concluyó Zuloaga.

Por otro lado, Francisco Gil-Ortega firmó el pasado 12 de marzo un convenio de colaboración con la Consejería de Fomento de Castilla-La Mancha y con el Ayuntamiento de Villar de Cañas para la construcción de un vivero de empresas y un laboratorio en el municipio conquense. Estas infraestructuras, a las que Enresa destinará cinco millones de euros, forman parte del proyecto Parque Tecnológico que la empresa pública desarrollará en la localidad. ◀

# ZORITA

## El desmantelamiento de la central José Cabrera cumple tres años, a punto de culminar la segmentación de los componentes internos del reactor

El pasado 11 de febrero se cumplieron tres años del inicio de los trabajos de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara). Durante este tiempo, el proyecto ha avanzado de acuerdo con la programación establecida y, actualmente, está a punto de culminarse la segmentación bajo agua de los componentes internos del reactor. No solo es la primera vez que se realiza en España un proceso de estas características, sino que los trabajos que se llevan a cabo en Zorita se han convertido también en una referencia técnica a nivel internacional.

Tras la segmentación de los internos se abordará el corte y acondicionamiento de la vasija del propio reactor, así como el desmontaje del resto de componentes del circuito primario: bomba principal –ya en curso–, presionador y generador de vapor. Las tareas se prolongarán durante los próximos dos años, en los que se continuará avanzando también en la desclasificación de superficies: suelos y paramentos de los edificios.

En paralelo, se trabajará en el acondicionamiento de los residuos procedentes del reactor y del resto del circuito primario. Dichas tareas se están desarrollando en el Edificio Auxiliar de Desmantelamiento cons-

truido en el antiguo edificio de turbinas de la central, donde los residuos son acondicionados en contenedores para su posterior

se han generado cerca de 5.300 toneladas de materiales. De esta cantidad, el 67% corresponde a materiales convencionales, el

21% a residuos radiactivos y el 12% a materiales desclasificables.

Cuando finalicen los trabajos, y una vez obtenida la



envío al almacén de residuos de media, baja y muy baja actividad que Enresa gestiona en El Cabril (Córdoba).

Desde febrero de 2010, fecha de inicio del proyecto de desmantelamiento,

Trabajos de desmantelamiento en la central José Cabrera. Abajo a la derecha, equipo para la desclasificación de los residuos de la central. / ENRESA

Declaración de Clausura por parte del Consejo de Seguridad Nuclear, Enresa devolverá la titularidad del emplazamiento –transferida hace exactamente tres años– a su propietaria, la empresa Gas Natural Fenosa.

# MUNDO

## Estados Unidos propone construir un ATC para almacenar el combustible gastado de los reactores que ya no estén operativos

El Gobierno de Estados Unidos ha publicado un informe en el que presenta su plan de gestión a largo plazo para el combustible gastado. El texto, elaborado por el Departamento de Energía (DOE, en sus siglas en inglés), recoge los pasos a seguir para abordar las propuestas de la Comisión Blue Ribbon, un panel creado en enero de 2010 por el presidente Barack Obama con la misión de proponer una batería de recomendaciones para desarrollar una gestión a largo

plazo de los residuos radiactivos y del combustible nuclear gastado en el país americano.

En este informe, el DOE aconseja construir una instalación piloto, que debería entrar en servicio en 2021, para almacenar temporalmente el combustible gastado de los reactores que ya han sido cerrados. Asimismo, se plantea edificar una instalación de almacenamiento temporal de combustible gastado a gran escala, cuya puesta en funcionamiento se pro-



Almacenamiento temporal de combustible gastado en la central nuclear de Surry (Virginia, Estados Unidos). / ARCHIVO ENRESA

duciría en 2025, para cumplir el compromiso federal de gestionar el combustible gastado de los reactores comerciales. Por otro lado, el documento también establece el compromiso del Gobierno norteamericano a la hora de contar con un

repositorio geológico en el año 2048.

La estrategia indica la necesidad de desarrollos legislativos “a corto plazo” para facilitar y permitir la ubicación, diseño y licenciamiento de las instalaciones mencionadas. ▶



## Financiación a tu alcance

Las nuevas líneas ICO 2013 y Cajamurcia-BMN simplifican la financiación para tu negocio.

- > EMPRESAS Y EMPRENDEDORES
- > INTERNACIONAL



Instituto de Crédito Oficial



## POSIVA solicita la licencia de construcción de un almacenamiento geológico para combustible nuclear gastado en Finlandia

La agencia que gestiona los residuos radiactivos en Finlandia, POSIVA, presentó el pasado mes de diciembre la solicitud de licencia de construcción para un almacenamiento geológico. La instalación gestionará el combustible nuclear de los reactores nucleares en operación que tiene actualmente el país nórdico, así como el de futuras unidades.

La solicitud comprende la edificación de dos complejos interconectados: una planta de encapsulado en superficie y la instalación subterránea de almacena-



Túnel del laboratorio subterráneo de Onkalo en el emplazamiento de Olkiluoto. / POSIVA

miento. Este centro, situado en Olkiluoto (costa su-

roeste de Finlandia), recibirá el combustible nuclear gastado de los reactores nucleares Loviisa 1 y 2; Olkiluoto 1 y 2; Olkiluoto 3 –en construcción– y Olkiluoto 4 –en fase de licenciamiento–.

El complejo, además, incluye instalaciones para el almacenamiento final de residuos nucleares producidos durante la operación y cierre de la planta de encapsulado. El repositorio final se construirá a una profundidad de entre 400 y 450 metros y, para mayor comodidad de su operación, se dotará de una red de túneles que conectarán los diferentes edificios. ◀

## La agencia belga ONDRAF/NIRAS presenta una solicitud para construir un almacenamiento de residuos de baja y media actividad

La Agencia Nacional para la Gestión de Residuos Radiactivos y Materiales Fisibles Enriquecidos de Bélgica (ONDRAF/NIRAS, en sus siglas en francés y neerlandés) presentó el pasado 31 de enero, ante la Agencia Federal para el Control Nuclear, una solicitud de licencia para la instalación de un almacenamiento en superficie para residuos de baja y media actividad y vida corta (de categoría A, según la clasificación belga). Para la realización de este proyecto, ONDRAF/NIRAS cuenta con el asesoramiento técnico de Enresa, merced al acuerdo de colaboración suscrito entre ambas organizaciones.

Este hito supone un paso más para ONDRAF/NIRAS en el proceso de construcción y operación de las ins-



Emplazamientos nucleares en Bélgica. / ONDRAF/NIRAS Y ELABORACIÓN PROPIA

talaciones de disposición situadas en la localidad de Dessel. La agencia ha llevado a cabo un estudio de seguridad integral de este nuevo repositorio, considerando todos los aspectos relativos a la seguridad con el objetivo de demostrar que el almacén será seguro tanto a corto como a largo plazo. ◀

## AGENDA

▶ **6 a 8 de mayo.** Reunión en Suiza de las agencias de gestión de residuos radiactivos integradas en EDRAM (Asociación Internacional para la Gestión Medioambiental y Segura de Materiales Radiactivos, en sus siglas en inglés).

▶ **3 al 7 de junio.** Taller del OIEA en Madrid y la central nuclear José Cabrera, sobre planificación y desarrollo de proyectos de desmantelamiento.

▶ **24 al 26 de julio.** Curso Enresa-UIIMP: Residuos Radiactivos, la solución Española. Palacio de la Magdalena (Santander).

▶ **26 y 27 de septiembre.** XVI Seminario Internacional de Ciencia, Periodismo y Medio Ambiente, organizado por Enresa en Córdoba. ◀

# SIERRA ALBARRANA

## El Cabil y su entorno



**Los municipios europeos con instalaciones nucleares, en Hornachuelos**

► Pág. 12



**El Cabil recibió 2.892 metros cúbicos de residuos radiactivos en 2012**

► Pág. 14

**Miembros de RTVE visitan El Cabil y destacan el servicio que presta a la sociedad**

► Pág. 14



**Fuente Obejuna volverá a ser 'Fuenteovejuna'**

► Pág. 15



### *Aunar esfuerzos sin perder objetivos*

La realidad económica llama a aunar esfuerzos sin perder objetivos. Por esta razón, *Sierra Albarrana*, la revista de Enresa dedicada a informar sobre El Cabil y su entorno, comienza, de la mano de *Estratos*, una nueva etapa de mayor difusión y proyección nacional. A partir de ahora, este espacio fijo acercará a todo el público interesado, y más allá de las fronteras cordobesas, la realidad del centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad, de la comarca donde se integra y de sus gentes. ► Pág. 10

‘Sierra Albarrana’, la revista de Enresa dedicada a El Cabril y su entorno, inaugura una nueva etapa

# Vivir con la sociedad cercana

Transcurrido casi un cuarto de siglo desde su aparición, *Sierra Albarrana* mantiene intacta su misión de informar a la sociedad. Desde este número, lo hará de forma conjunta con *Estratos*; la realidad, marcada por la crisis, obliga a cambios que, a su vez, permitirán difundir a un público más numeroso la actualidad del almacén centralizado de El Cabril y de su comarca. POR *Jorge Fernández*



Colaboradores de *Sierra Albarrana* reunidos en El Cabril con motivo de la publicación del número 100 de la revista. / ARCHIVO ENRESA

En 1989, y para explicar las actividades del almacén centralizado de El Cabril en su entorno social, político y empresarial, Enresa puso en marcha *Sierra Albarrana*, una publicación que venía a cumplir uno de los mandatos que el Parlamento español encomendó a Enresa en su decreto fundacional: informar a la opinión pú-

blica sobre la gestión de los residuos radiactivos y los trabajos que se realizan en sus instalaciones. Veinticuatro años después, *Sierra Albarrana* seguirá cumpliendo estos objetivos pero desde *Estratos*, la revista institucional de divulgación técnica y científica de Enresa.

Durante sus inicios, para cumplir su misión informativa,

*Sierra Albarrana* tuvo que derribar muros de desconfianza y recelo contra El Cabril. La década de los ochenta, muy activa políticamente, estuvo marcada por las movilizaciones antinucleares de los grupos ecologistas; cualquier actividad relacionada con la gestión segura de residuos radiactivos era objeto de rechazo. Para vencer aquel temor la revista fue un ariete fundamental. Como recuerda Francisco Ruiz Cumplido, su primer director y entonces responsable de comunicación en El Cabril, “aquellos fueron tiempos difíciles en los que hubo que poner trabajo, ánimo e imaginación para romper la desconfianza del entorno”.

Esta tarea arrancó con la creación de una red de corresponsales en los pueblos de la zona –Alanís y Las Navas de la Concepción en Sevilla; Azuaga en Badajoz, y Hornachuelos, Fuente Obejuna y Peñarroya-Pueblonuevo en Córdoba–, que le dieron contenido y ayudaron a convertirla en una plaza mayor en la que encontraban su eco todas las voces del entorno. Dada su periodicidad bimestral, *Sierra Albarrana* nunca ha aspirado a ofrecer noticias de actualidad palpitante, pero sí a brindar aquellas informaciones locales que pasan desapercibidas o no tienen hueco en los grandes medios de comunicación y que son de interés para la sociedad de la comarca.

De la misma manera, informar del día a día de El Cabril ha sido el eje sobre el que ha rotado la publicación. Número a número, se han desgarnado las actividades que desarrollan los diferentes servicios del centro y la especifi-

cidad técnica de cada uno de ellos; se han recogido los datos de explotación anuales y los resultados de los numerosos controles ambientales y radiológicos que pasa cada año la instalación; se ha dado cuenta de las visitas técnicas internacionales que valoran el almacén centralizado como uno de los más avanzados del mundo tras más de veinte años de operación... En definitiva, se ha recogido la historia técnica de El Cabril. Pero siguiendo la impronta de las revistas de la compañía, Enresa, lejos de asumir el protagonismo total en los contenidos, ha abierto las páginas de *Sierra Albarrana* a la información local y provincial, siendo notoria de los avances sociales, económicos y políticos de la comarca. Además, todo ello ha venido relatado por colaboradores y periodistas, ajenos a la empresa, que han trabajado con total libertad.

### Tres épocas

*Sierra Albarrana* ha vivido hasta el momento tres etapas muy diferenciadas. La primera se inicia en abril de 1989 y llega hasta 1996. Corresponde al periodo de asentamiento de Enresa en el entorno, tendiendo contactos con la sociedad política y empresarial de la zona y venciendo los recelos iniciales. Con una maquetación sencilla y doce páginas más un encarte, la publicación ya mostraba el compromiso de contar con detalle y de forma accesible las actividades de El Cabril. La actualidad de los pueblos y la puesta en valor de la entidad propia de cada uno de ellos también se van definiendo en los contenidos. Tal como rela-



Portadas de *Sierra Albarrana* en sus diferentes etapas. / ARCHIVO ENRESA

taba uno de los corresponsales en el número conmemorativo del décimo aniversario, “la revista se veía al principio como algo que Enresa elaboraba para tener contenta y callada a la gente [...], pero los lectores cayeron en la cuenta de que no tenía ningún matiz que suscitara polémica y se limitaba a dar información puntual de lo que ocurría en El Cabril y en la comarca”.

A partir del número 42, aparecido en abril de 1996, comienza una segunda etapa. La revista ya está asentada y es valorada en su entorno, mientras que sus páginas adquieren color y se nutren de nuevos contenidos dirigidos a la promoción

de la zona. Hay, en general, una mayor colaboración con los ayuntamientos, que ven en ella un canal de comunicación para trasladar a sus vecinos informa-

cremento continuo del número de suscriptores. Y no solo en la comarca: los emigrantes, al regresar por vacaciones, conocen la revista, que se convierte en una ventana abierta a lo que ocurre en su tierra. Así, *Sierra Albarrana* no solo viaja por toda España, sino que traspasa fronteras y llega a países como Bélgica, donde existe una importante colonia de españoles procedentes de Peñarroya-Pueblonuevo.

En junio de 2007, coincidiendo con el número 108, *Sierra Albarrana* da un nuevo estirón. Incrementa sus páginas y la relación de colaboradores. La publicación amplía su foco de atención al ámbito provincial y autonómico y, sin perder su carácter primigenio, da entrada a nuevos contenidos con reportajes de ciencia, medio ambiente, economía o cultura.

Ahora empieza una nueva etapa de *Sierra Albarrana* mediante su publicación conjunta con *Estratos*. La proliferación de medios locales y, especialmente, de las nuevas tecnologías, los medios digitales y las redes sociales, ha dado paso a una sociedad en la que la información fluye con absoluta inmediatez. Una revolución que, afortunadamente, ha llegado también a los ámbitos rurales y que recomienda este replanteamiento. En cualquier caso, *Sierra Albarrana*, casi un cuarto de siglo después de su nacimiento, sigue viva y fiel a su compromiso con los lectores, pero adaptándose a los tiempos actuales y uniendo sus páginas a las de su *hermana mayor*, con el objetivo de ofrecer una información que seguro será de su interés.

▼▼  
‘Sierra Albarrana’ ha sido espejo de los avances sociales, políticos y económicos de la comarca.

ciones que no tendrían sitio en los medios de comunicación provinciales. Indicativo inequívoco de la aceptación es el in-

Sus alcaldes asistieron a unas jornadas sobre gestión de residuos radiactivos y visitaron El Cabril

# Los municipios europeos con instalaciones nucleares, en Hornachuelos

La necesidad de aunar esfuerzos y compartir conocimientos ha llevado a técnicos del sector y representantes de ayuntamientos europeos relacionados con la energía nuclear hasta la localidad cordobesa de Hornachuelos, con el objetivo de participar en un seminario sobre gestión de residuos radiactivos y, de paso, conocer las instalaciones que Enresa opera en El Cabril. POR *Marta Arroyo*, ENRESA



CASI UN CENTENAR de alcaldes de municipios europeos con instalaciones nucleares en su entorno se congregaron en Hornachuelos (Córdoba), durante los pasados días 26 y 27 de febrero, para asistir a las jornadas *La realidad local y la gestión de los residuos radiactivos*, un encuentro que perseguía el intercambio de experiencias

comunes y donde, entre otras cuestiones, se analizó la gestión de residuos en España. Los participantes, procedentes de países como Reino Unido, Suecia, Francia, Holanda, Hungría o Alemania, disfrutaron de un programa de actos que se desarrolló entre el centro de almacenamiento de El Cabril y el salón de actos del Polígono

Desarrollo de una de las presentaciones. / ENRESA

Industrial La Vaquera del municipio anfitrión del evento.

Francisco Gil-Ortega, presidente de Enresa, aprovechó la inauguración de las jornadas para destacar la perfecta integración de El Cabril en la comarca, mientras que María del Carmen Murillo, alcaldesa de Hornachuelos, hizo especial hincapié en la proyección internacional que el seminario ha supuesto para el pueblo: “Nos ha dado la oportunidad para que se conozcan de primera mano tanto la gestión como las relaciones de la localidad con Enresa, demostrando que Hornachuelos cuenta con muchos recursos endógenos que son compatibles con un almacén de residuos nucleares”.

La primera sesión quedó consagrada a la gestión de los residuos radiactivos en España. Eva Noguero, directora de El Cabril, detalló el funcionamiento del almacén centralizado de media y baja actividad, mientras que Juan Pedro Sánchez, alcalde de Yebra, explicó la participación de la Asociación de Municipios en Áreas de Centrales Nucleares (AMAC) en el proceso de selección del emplazamiento del futuro Almacén Temporal Centralizado que se instalará en Villar de Cañas (Cuenca).

Uno de los objetivos del encuentro era compartir las experiencias técnicas en el ámbito de la gestión de los residuos radiactivos, temática sobre la que versaron las ponencias de Jenny Rees, directora de Relaciones Institucionales de SKB (Compañía Sueca para la Gestión del Combustible y los Residuos Nucleares), y de Manuel Lozano Leyva, catedrático de Física Atómica, Molecular



Foto de familia de los participantes con la alcaldesa de Hornachuelos, María del Carmen Murillo (en el centro de la primera fila). / ENRESA

y Nuclear de la Universidad de Sevilla.

El evento fue organizado por el Ayuntamiento de Hornachuelos y el Grupo Europeo de Municipios con Instalaciones Nucleares (GMF, en sus siglas en inglés), una entidad creada en 2000 con el objetivo de defender las posiciones de las localidades y normalizar sus relaciones con el sector, siempre a partir de unos principios innegociables de seguridad, transparencia, sostenibilidad y promoción de los efectos posi-

tivos de la energía nuclear para el desarrollo socioeconómico.

Asimismo, las jornadas contaron con la colaboración de la mencionada AMAC, homóloga española de GMF, una asocia-

pañola defiende los objetivos de la seguridad en la operación de las centrales nucleares; la operatividad de los planes de emergencia; la transparencia en la gestión de la energía nuclear, y su influencia positiva en la vida de las poblaciones locales.

Por último, cabe destacar que el grupo de alcaldes europeos fue recibido en el Palacio de la Merced por la presidenta de la Diputación de Córdoba, María Luisa Ceballos, quien les abrió las puertas de esta institución provincial. ◀



## La visita a El Cabril permitió comprobar la perfecta integración de la instalación en la comarca.

ción compuesta por 68 ayuntamientos de seis comunidades autónomas. La agrupación es-



Eva Noguero, directora de El Cabril, con Jaap Gelok, alcalde de Borssele. / ENRESA

## Jaap Gelok, alcalde de Borssele: “Villar de Cañas se va a convertir en un ejemplo”

Jaap Gelok es el regidor del municipio holandés de Borssele, una localidad de cerca de 20.000 habitantes en cuyo término se encuentra el almacén de residuos radiactivos de HABOG, que sirve de modelo al Almacén Temporal Centralizado (ATC) español.

Junto al resto de alcaldes de localidades pertenecientes al Grupo Europeo de Municipios con Instalaciones Nucleares (GMF, en sus siglas en inglés), Gelok ha realizado su primera visita a El Cabril y no ha dudado en elogiar la instalación: “Había oído que en España tiraban los residuos y los tapaban sin más, pero estoy sorprendido e impresionado por la manera de hacer las cosas, con estos niveles de precisión y seguridad”.

Por otro lado, Gelok ha querido felicitar al alcalde de Villar de Cañas, el municipio conquense elegido para albergar el ATC. “Dentro de unos años, su localidad se va a convertir en un ejemplo de cómo hacer las cosas y sé que lo van a hacer bien, porque Enresa ha utilizado HABOG como referencia y puedo asegurar que se han fijado en el modelo adecuado”, afirmó. ◀

## El almacén centralizado de El Cabril recibió 2.892 metros cúbicos de residuos radiactivos en 2012



Instalaciones de El Cabril (Córdoba). / ENRESA

EL CENTRO de almacenamiento de El Cabril (Córdoba) recibió el año pasado un total de 2.892,63 m<sup>3</sup> de residuos radiactivos: 564,61 de baja y media actividad y 2.328,02 de muy baja actividad. Estos materiales llegaron a la instalación en 278 expediciones. Con estas cantidades, las plataformas de baja y media se encuentran al 67,5% de su ca-

pacidad, mientras que la primera estructura de muy baja actividad está al 16,8%. Así lo constata el informe anual de la instalación, que fue presen-



Las plataformas de baja y media actividad se encuentran al 67,5% de su capacidad.

tado a los empleados el pasado mes de febrero.

En diciembre de 2012, la planta cordobesa acumulaba un total de 36.613,32 m<sup>3</sup> de residuos radiactivos, que hace que en la actualidad haya 18 estructuras de almacenamiento llenas, dos en operación y tres ocupadas temporalmente con residuos procedentes de incidentes en acerías.

La actividad del centro ha estado sometida a diferentes controles, como el Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), que el año pasado recabó 1.046 muestras de agua, aire, sedimentos y alimentos, entre otros indicadores, que certificaron el nulo impacto radiológico de la instalación en su entorno.

Por otro lado, El Cabril continuó siendo en 2012 un foco de interés público al recibir 4.445 visitantes, entre los que se encontraban vecinos de la comarca, profesionales de los medios de comunicación, representantes institucionales y técnicos de distintos países del mundo.

## Miembros de RTVE visitan El Cabril y destacan el servicio que presta a la sociedad

“MUY INTERESANTE Y SORPRENDENTE”. Así calificó Andrés Martín Velasco, consejero de la Corporación Radio Televisión Española (RTVE), el trabajo que se lleva a cabo en El Cabril tras la visita que realizó al centro de almacenamiento junto a José Manuel Peñalosa, también miembro del Consejo de RTVE, Carmen Sastre, directora de relaciones institucionales de la empresa audiovisual, y Álvaro Rodríguez Beceiro y Carlos Dávila, directores de la División Técnica y de Comunicación de Enresa, respectivamente. El grupo estuvo acompañado en su recorrido por la directora de la instalación, Eva Noguero, quien les explicó los aspectos de la gestión de los residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad que se hacen en el centro cordobés. Finalizada su visita por los distintos edificios agradecieron a Enresa “el trato, la información y, sobre todo, el importante servicio que presta a la sociedad”.



De izquierda a derecha, Álvaro Rodríguez Beceiro, Andrés Martín Velasco, Eva Noguero, Carmen Sastre, Carlos Dávila y José Manuel Peñalosa, en un momento de la visita a El Cabril. / ENRESA

# Todos a una en Fuente Obejuna

El municipio cordobés volverá a vestirse de gala en agosto para representar la obra de Lope de Vega, confirmando la estupenda salud de un evento con importantes ramificaciones culturales, turísticas y económicas.

POR *Eva María Heras*



estarán la Asociación de Empresarios Mellarienses (Ade-me) y el colectivo Patrimonio de Fuente Obejuna, que durante todo el año organiza en la localidad visitas teatralizadas basadas en la obra de Lope y que el pasado febrero presentó el montaje en Fitur, la Feria Internacional de Turismo.

“No se trata de obtener rendimiento económico de esta iniciativa, pero mi intención es que se patrocine el 100% y no le cueste nada a las arcas municipales”, afirma Cabezas, que no tarda en alabar la implicación de todos los mellarienses en este proyecto: “Se fomenta la unión entre personas de muchas generaciones que, una vez más, sacan el espíritu del ‘todos a una’. La idea es que esta iniciativa no se pierda y que seamos capaces de transmitirla a nuestros hijos”.

Para la dirección de *Fuenteovejuna* se ha escogido al pacense Manuel Canseco, con cuarenta años de trayectoria artística a sus espaldas y que ha estado al frente, entre otros, del Festival de Teatro Clásico de Mérida: “Es la primera vez que mis protagonistas son actores no profesionales que han de afrontar el difícil reto de representar, además en verso, una de las obras cumbres de nuestro teatro. Es un desafío importante que un profesional de mi experiencia no podía dejar pasar”, concluye.

DENTRO DE UNOS MESES, concretamente entre los días 22 y 26 de agosto, la localidad de Fuente Obejuna se retrotraerá a la época medieval. Los pendones de la Orden de Calatrava adornarán las calles y vecinos de todas las edades saldrán de sus casas ataviados con ropajes del siglo XV, en un envidiable esfuerzo conjunto por representar una obra inmortal del teatro español: *Fuenteovejuna*, del poeta y dramaturgo Lope de Vega.

“Llevamos más de un año trabajando y buscando patrocinadores. Cuando comenté mi intención de volver a organizar la representación, hubo quien me preguntó: ¿cómo te metes en eso con la que está cayendo?, y yo respondí: pues precisamente”, recuerda Isabel Cabezas, alcaldesa de Fuente Obejuna, que

añade: “Nuestro equipo de gobierno apuesta muy fuerte por la cultura y por todo lo que esta conlleva como impulso al tejido empresarial, especialmente al pequeño y mediano empresario de la hostelería, la restauración y el turismo”.



En los días que dura la representación popular, las calles se adornan con pendones de la Orden de Calatrava y los vecinos visten ropajes del siglo XV.

La regidora agradece el apoyo de “nuevas entidades que antes no habían colaborado y que ahora lo harán”. Entre los patrocinadores tradicionales se encuentran Enresa y la Diputación de Córdoba, y entre las entidades que tendrán una participación muy activa

La asociación Patrimonio de Fuente Obejuna hizo la presentación oficial de la obra en la Feria Internacional de Turismo (Fitur). / SILVIA MELLADO RUIZ

Los sistemas de información geográfica contribuyen a mejorar la gestión de los residuos radiactivos

# *Cartografía del SIGLO XXI al servicio de Enresa*

El volumen de datos que se maneja cuando se inventarían recursos naturales –especialmente los geológicos y ambientales–, sumado a las facilidades que proporciona la informática, llevaron a Enresa, a principios de los años noventa, a implantar el uso de sistemas de información geográfica. Desde entonces, estas herramientas se han perfeccionado y hoy son clave para evaluar emplazamientos y monitorizar instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos.

POR *Ignacio Cienfuegos Hevia*, ENRESA

LOS SISTEMAS de información geográfica (SIG) se utilizan, en general, para almacenar y tratar la información sobre un territorio, tanto de sus aspectos físicos como socioeconómicos. Pueden contemplar los distintos tipos de datos que se manejan para la generación de cartografías temáticas, datos alfanuméricos y datos gráficos. Estos sistemas permiten la captura, gestión, tratamiento y análisis de la información cartográfica de una forma fácil y manejable, con el consiguiente ahorro de tiempo y recursos técnicos.

La principal ventaja de las herramientas SIG es que, a partir de la correcta estructu-



Trabajos geológicos en el emplazamiento de Villar de Cañas. / ENRESA

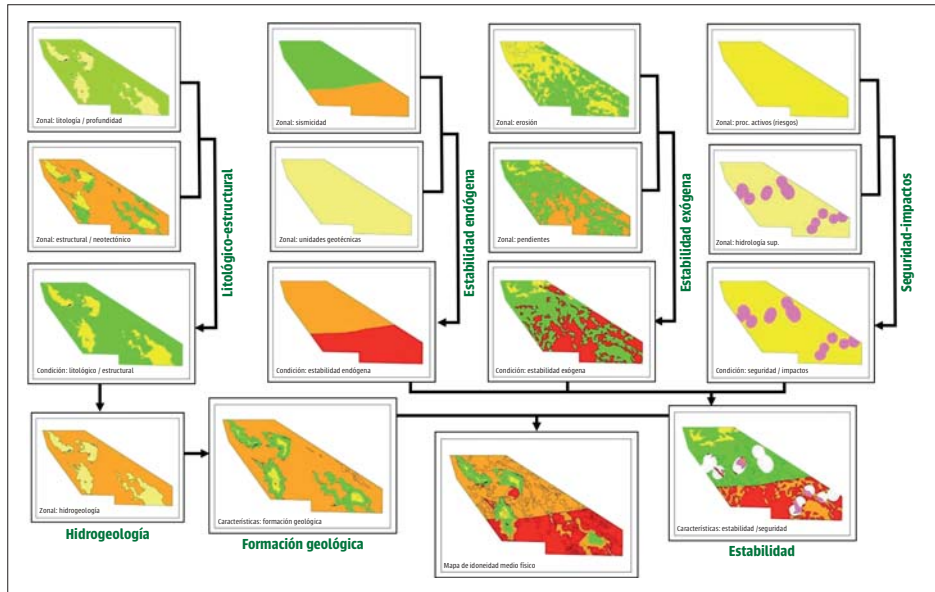


Figura 1. Mapas zonales, superposición y clasificación para el medio físico de una zona del Proyecto AFA.

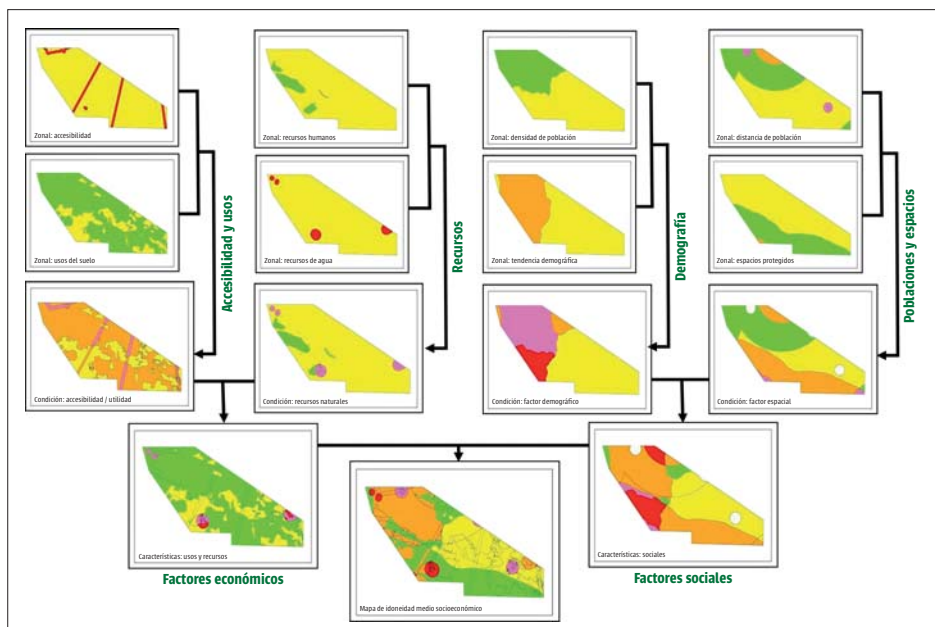


Figura 2. Mapas zonales, superposición y clasificación para el medio socioeconómico de una zona del Proyecto AFA.

ración de los datos almacenados, nos ofrecen la opción de establecer relaciones entre la información gráfica contenida en un mapa y la incluida en las bases de datos, así como su consulta y análisis, tanto gráfico como alfanumérico. De este modo, constituyen un instrumento de trabajo eficaz que hace posible obtener un mayor rendimiento de la información y, por ello, un mejor conocimiento del medio.

En un principio, Enresa decidió aplicar estas herramientas para administrar la información obtenida en su Plan de Búsqueda y Selección de Emplazamientos (PBE), desarrollado en todo el territorio nacional. Concretamente, el uso de tecnología SIG en la gestión de los residuos radiactivos comenzó a implantarse en España en 1991, con motivo del Proyecto AFA (Estudio de Áreas Favorables) del PBE. En aquel caso no se

## ► ENGLISH ABSTRACT

### 21<sup>st</sup> Century cartography at the service of Enresa By Ignacio Cienfuegos

Geographic information systems (GIS) are used to store and process both physical and social-economic information of a territory. Topography, vegetation, hydrology, geology, weather conditions, population, protected spaces... An endless list of details that, organized and put on maps, are very useful in numerous fields, including the handling of radioactive waste.

Enresa uses these tools in many of its activities: site selection, characterization studies, monitoring of radiological and environmental surveillance programs in facilities such as El Cabril (Córdoba), or in the preparation of documentation that helped to locate the Centralized Temporary Storage (CTS) facility for high level waste in Villar de Cañas (Cuenca).

These cartographic instruments have also shown their usefulness in the dismantling of facilities such as the old Uranium Factory in Andújar (Jaén) or the nuclear power stations of Vandellós I (Tarragona), currently in latency phase, and José Cabrera (Zorita, Guadalajara), which is currently being decommissioned.

At present, GIS tools provide major advantages: they reduce the number of reports and conventional map collections, support faster and easier access to information in more manageable ways resulting in technical resource and time savings, quick updates of maps and records under constant evolution, and streamlined decision-taking processes.

The complete article can be read in English at the URL:

[http://www.enresa.es/actualidad/weblog/post/estratos\\_se\\_renueva](http://www.enresa.es/actualidad/weblog/post/estratos_se_renueva)

empleó de forma integrada, sino solamente como herramienta de apoyo para algunas de las actividades realizadas.

Desde entonces, los casos en los que Enresa ha utilizado tecnología SIG han sido los siguientes:

— Selección de emplazamientos; etapas de planificación y estudios sobre las áreas seleccionadas; en el procesado para clasificación, superposición de criterios de favorabilidad y presentación de resultados.

— Monitorización en los programas de vigilancia en la instalación de El Cabril (Córdoba). También se realizan aplicaciones similares para otras instalaciones nucleares y zonas contaminadas.

— Para la instalación del Almacén Temporal Centralizado de residuos de alta actividad (ATC); en la fase conceptual y preliminar –información disponible a nivel nacional–, y en la fase de caracterización del emplazamiento seleccionado para determinar las bases de diseño.

Durante el transcurso del PBE se utilizó el SIG para almacenar la información generada de los diferentes territorios estudiados; procesar los datos geográficos con el fin de

delimitar las áreas y zonas más favorables, y generar mapas.

Paralelamente, desde 1995 hasta la actualidad se generaron bases de datos SIG para diferentes emplazamientos de Enresa, como el almacén centralizado de El Cabril, la Fábrica de Uranio de Andújar (Jaén), la central nuclear de Vandellós I (Tarragona) y la central nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara), para servir de apoyo a los trabajos de seguimiento y vigilancia de los emplazamientos.

Más recientemente, las herramientas SIG han sido de gran eficacia para abordar la evaluación de emplazamientos candidatos al ATC, sirviendo de apoyo al Comité Asesor Técnico de la Comisión Interministerial. Hoy en día, los mayores esfuerzos se están centrando en su uso para almacenar y explotar toda la información cartográfica y de parametrización de los estudios de caracterización del emplazamiento del ATC en Villar de Cañas (Cuenca).

Respecto a la información almacenada en el SIG y sobre su gestión actual y futura, se pueden plantear dos grandes líneas de actuación:

— Una relacionada con los proyectos temporalmente ce-

rrados, los del PBE y los de I+D relacionados, en los que conviene garantizar su conservación y accesibilidad, de forma que puedan ser utilizados parcial y esporádicamente para otros proyectos que puedan surgir en el futuro.

— Otra vinculada a la información de los emplazamientos de Enresa, tanto de almacenamiento como de desmantela-



Los sistemas de información geográfica contribuyen a un mayor rendimiento de los datos y conocimiento del medio y a ganar eficacia en la toma de decisiones.

miento, y los proyectos de I+D relacionados, donde se siguen utilizando y desarrollando con vistas a mejorar su rendimiento y aplicabilidad.

### Aplicaciones SIG en la búsqueda de emplazamientos

El proceso español para la selección de un emplazamiento geológico comenzó en 1985 y se subdividió en varias etapas: la fase de investigaciones geológicas regionales para elegir las áreas más prometedoras y los territorios más favorables, y la fase de estudio de los emplazamientos seleccionados,

Los SIG registran toda la información que aporta el terreno. / ENRESA



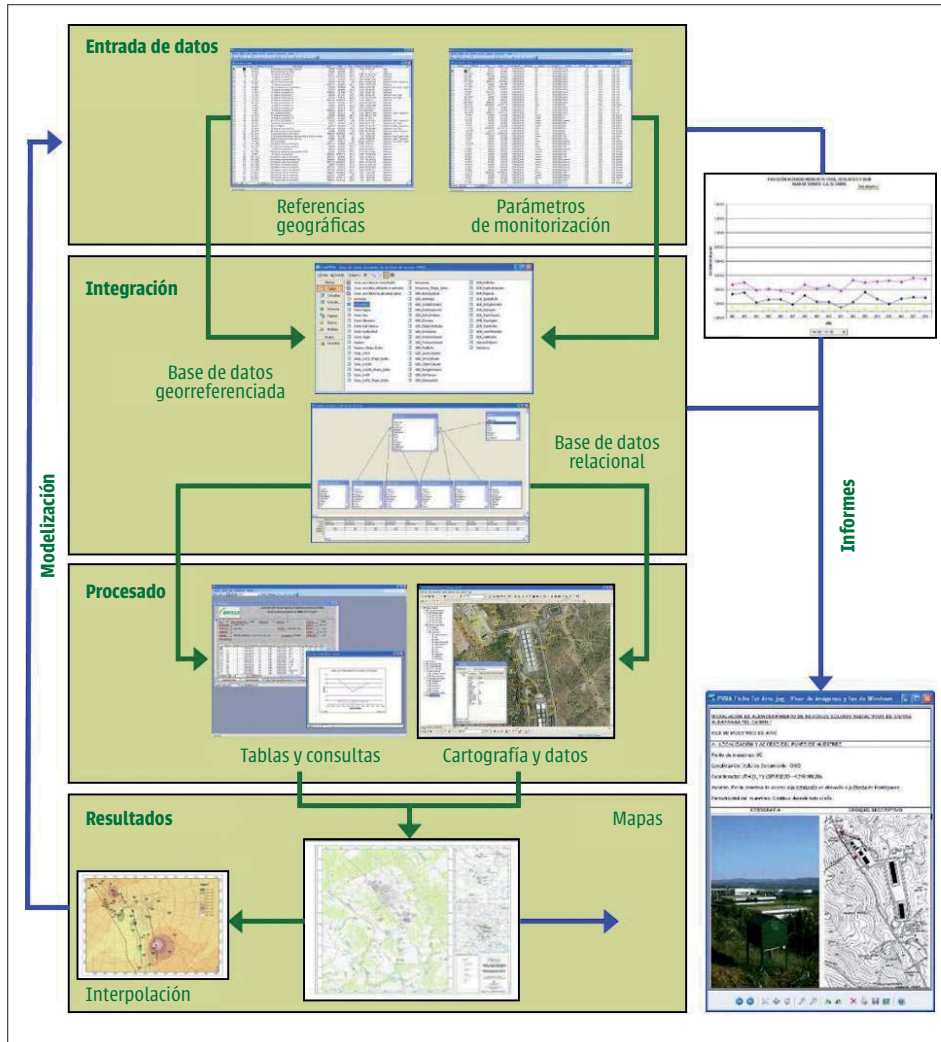


Figura 3. Diagrama de flujo para el seguimiento de las medidas periódicas del emplazamiento de El Cabril.

que proporcionó un conocimiento más detallado de los más aptos, una adecuada comparación entre ellos y la selección de aquellos en los que realizar la fase de evaluación detallada, para comprobar su

idoneidad y acometer su caracterización definitiva.

Durante las primeras fases (1986-1987) las herramientas SIG aún no estaban implementadas en Enresa, por lo que únicamente se almacena-

ron, con posterioridad, las bases de datos de la formaciones favorables y el proceso de superposición de criterios que se aplicó. El proceso de selección se realizó con metodología convencional, integrando la información del entorno natural y socioeconómico –cartografía a escala 1:200.000– en mapas para su comparación y la obtención de mapas de resultados.

Posteriormente se utilizaron las herramientas SIG para el registro de cartografías temáticas –a escala 1:50.000– y la obtención semiautomática de cartografías zonales –poligonización de criterios–.

El proceso metodológico seguido para la determinación de la favorabilidad en esta fase fue el siguiente:

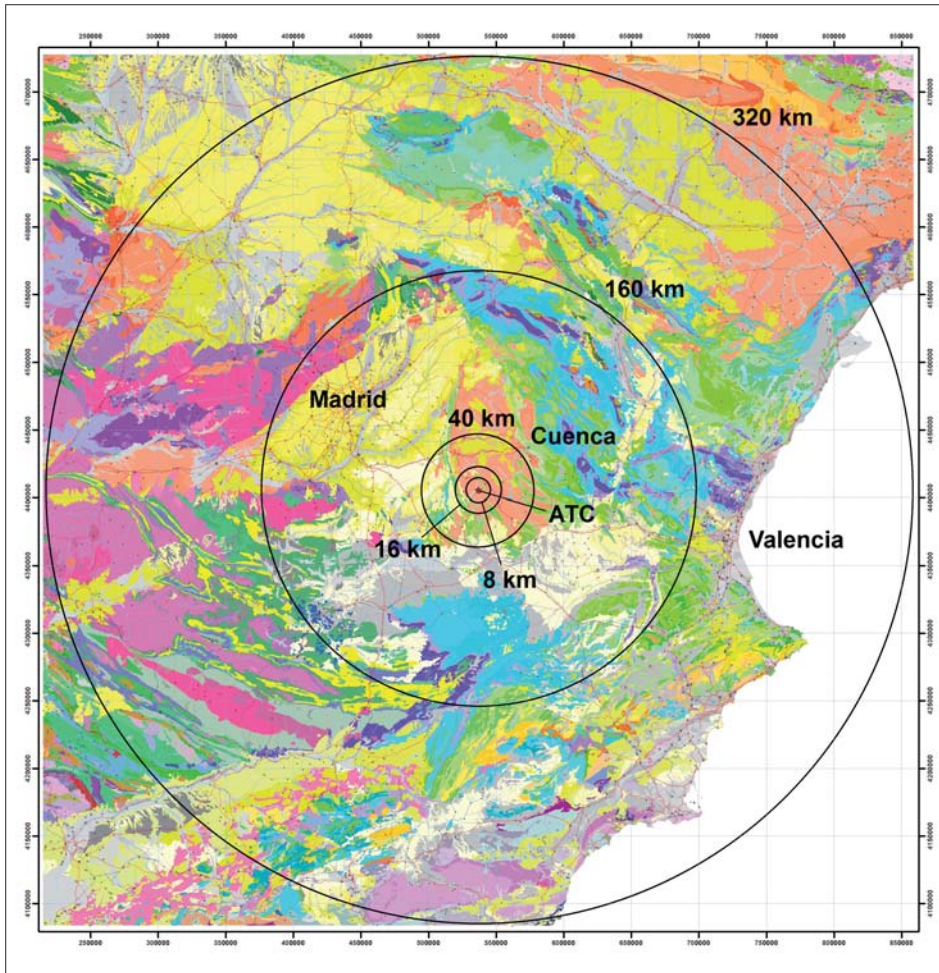
- Estudios temáticos y específicos.
- Determinación de los criterios de favorabilidad.
- Aplicación de los criterios para generar los mapas zonales.
- Análisis temático y especial para la obtención de resultados.
- Proceso de superposición de mapas zonales.
- Selección de zonas de estudio para la fase siguiente.

Como resultado de este proceso de evaluación, además de considerar otros parámetros del análisis de resultados de los estudios de cada área –modelo geológico-estructural, geoquímica, complejidad del modelo hidrogeológico, etc.–, se determinaron las zonas que se analizarán en la fase siguiente, cuya área de estudio es sensiblemente menor que la de esta fase del proyecto.

Finalmente, se utilizaron las herramientas SIG para el registro de cartografías del medio







Ámbitos de análisis para el estudio de caracterización del ATC. / ENRESA

ponía destinada al análisis del territorio. En consecuencia, se recopiló y preparó la información cartográfica y estadística necesaria para la evaluación del suelo, tanto a nivel nacional como para cada término municipal candidato (emplazamiento), almacenándola en un SIG que sirvió de base para los estudios de los posibles terrenos de emplazamiento.

Además, en el plan de caracterización del emplazamiento para el ATC de Villar de Cañas, actualmente se está utilizando la base de datos SIG de los trabajos del terreno, con vistas a optimizar la gestión de toda la información cartográfica que se produzca, tanto del suelo y el subsuelo como de la propia instalación.

### Ventajas de la tecnología SIG

La principal experiencia específica sobre los beneficios y la rentabilidad de la aplicación de los SIG en la gestión de los residuos radiactivos puede resumirse en los siguientes puntos:



Enresa está usando la base de datos SIG en el plan de caracterización del ATC de Villar de Cañas para mejorar la gestión de la información cartográfica que se genere.

— Reducción de grandes volúmenes de informes y colecciones de mapas, que deben estar permanentemente disponibles para consulta y mejoras en la conservación de la documentación —los mapas digitales no pierden color ni se rompen—.

— Consulta de la información de forma mucho más rápida, disponiendo siempre de la referencia espacial del elemento consultado, amén de sus características y documentos asociados.

— Permite integrar documentos gráficos —georreferenciados— de diferentes épocas y fases del proyecto, y ser consultados de forma conjunta por superposición o integración —como mapas de cambios: monitorización, fases de construcción, etc.—.

— Edición de documentos gráficos —mapas— mucho más rápida y flexible —cambios de capas, modificación de aspecto, diferentes escalas, distribución en formato digital...—, además de permitir adaptarse de forma rápida a nuevas situaciones que puedan surgir de algún cambio de estrategia.

— La utilización de modelos simples de representación permite un mejor aprovechamiento de la información y, sobre todo, una mejor comprensión del problema, especialmente para aquellas personas no acostumbradas a trabajar en estos medios —dirección de proyecto, autoridades y público en general—.

— Con una buena sistemática de distribución de resultados, dando a cada cual lo que le puede hacer falta, se consigue agilizar mucho la toma de decisiones de la dirección del proyecto.

Finalmente, el uso de las herramientas SIG ha cumplido con las expectativas, obteniendo unos resultados satisfactorios, con una relación calidad-coste muy adecuada, y han demostrado su viabilidad en la mejora de la monitorización de las diferentes etapas de un emplazamiento.



Enresa se adapta con éxito al marco impuesto por la instrucción IS-19 del Consejo de Seguridad Nuclear

La planta de fabricación de contenedores de El Cabril ha protagonizado con éxito uno de los programas de adaptación a la nueva normativa. / ALFREDO CÁLIZ

## *Comprometidos con la seguridad*

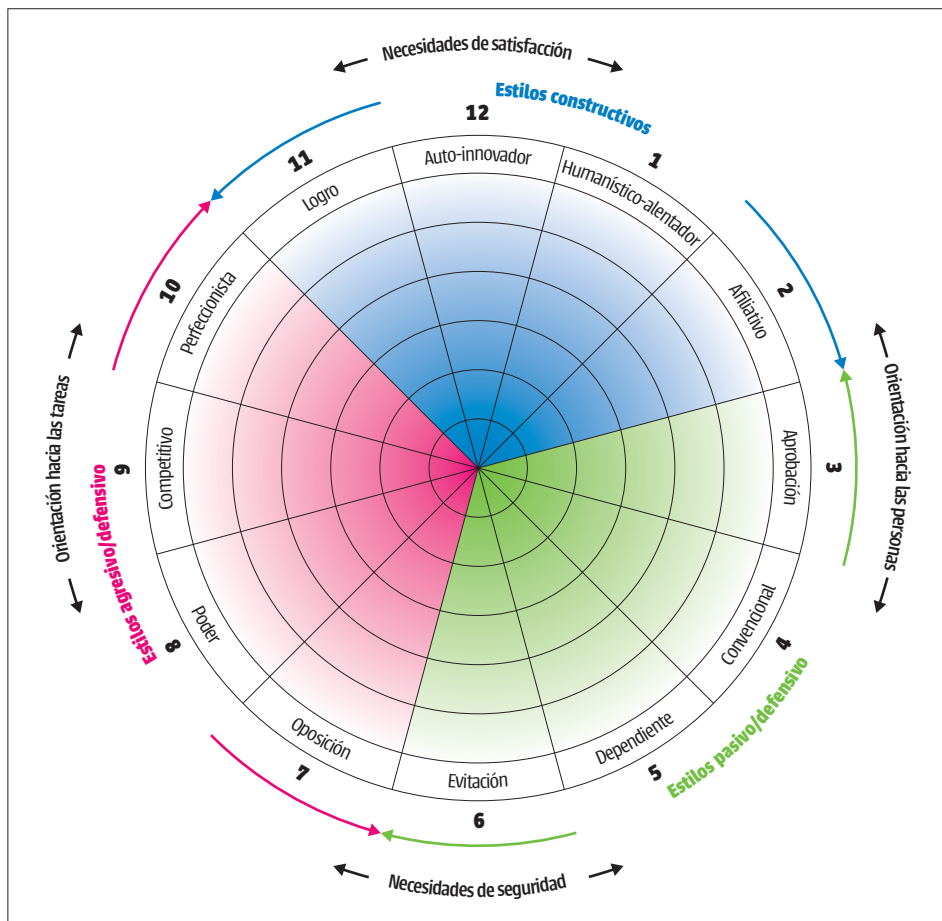
En 2008, el Consejo de Seguridad Nuclear publicó una instrucción, la IS-19, que buscaba promover aún más la cultura de seguridad en la organización de las compañías nucleares. Enresa, como empresa gestora de los residuos radiactivos en nuestro país y responsable del desmantelamiento de diferentes centrales, lleva casi cuatro años trabajando para implantar esta nueva norma a través de publicaciones, grupos de trabajo y procedimientos que ya han demostrado que, en materia de protección, aún es posible mejorar lo que ya es bueno. POR *Pedro Carboneras*, ENRESA

LA INSTRUCCIÓN de Seguridad n° 19 (IS-19) del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), publicada en el Boletín Oficial del Estado el 8 de octubre de 2008, establece diversos requisitos que deben observar las organizaciones responsables de instalaciones nucleares. Uno de ellos se refiere al fomento y promoción de una fuerte cultura de seguridad, basada tanto en la realización de evaluaciones periódicas para determinar su estado como en la acometida de los planes de mejora pertinentes.

La cultura de seguridad forma parte de la cultura organizativa de una empresa, de manera que para facilitar la primera es preciso disponer del componente constructivo de la segunda. A lo largo de las próximas líneas se describirá el trabajo que Enresa ha llevado a cabo en ambas áreas a lo largo de los últimos años.

El planteamiento inicial se orientó a definir y acotar con precisión el nuevo escenario que se demandaba; a conocer el “estado del arte” –nacional e internacional– en la materia, y a saber qué estaban haciendo otras agencias de gestión de residuos radiactivos de nuestro entorno. Desde muy temprano se entendió que se trataba de una actividad de largo recorrido, la cual requeriría acciones relevantes y progresivas de aplicación en un plazo dilatado de tiempo.

Para conducir el proceso interno se estableció un equipo de cultura de seguridad (ECS) multidisciplinar, que actualmente sigue activo y de cuyos planes, avances y propuestas concretas está plenamente informado el Comité de Dirección de la empresa, toda vez que se trata de una materia sen-



Modelo sobre el que se representan las actitudes de trabajadores y colaboradores dentro del plan de evaluación de cultura de seguridad. / ENRESA

sible que afecta a la esencia misma de cómo se hacen las cosas en la compañía.

Uno de los primeros objetivos del ECS fue la definición de una estrategia general sobre el alcance de la tarea y el establecimiento de un programa de actividades básicas que resultara aceptable para el Con-

— Necesidad de disponer de plazos suficientes para definir los requisitos concretos y adaptarlos a la realidad de cada instalación.

A partir de estas dos definiciones se contrataron los asesoramiento especializados de Tecnatom y del Centro de Investigación Socio-Técnica (CI-SOT), perteneciente al Departamento de Medio Ambiente del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). Ambas instituciones ya habían participado de forma activa en desarrollos específicos previos para las centrales españolas y que, asimismo, contaban con una valoración positiva del CSN.

Desde principios de 2010 se han llevado a cabo diversas actividades cuyas metas generales han sido, por un lado, la formación y capacitación de

Enresa ha creado un equipo de cultura de seguridad para conducir el proceso interno de aplicación de la IS-19.

sejo de Seguridad Nuclear. El planteamiento contenía dos elementos diferenciales básicos respecto del aplicado en las centrales nucleares:

— Gradación de los requisitos en función del menor potencial de riesgo de las instalaciones de Enresa.

personas, y por otro, la información y divulgación entre el personal.

Una acción prioritaria, que contó con la participación de todos los trabajadores de la empresa, fue la definición de ocho principios que constituyen el corazón de los objetivos ideales que debe lograr Enresa en esta materia.

Igualmente, y de nuevo con la colaboración del personal, se realizó una evaluación de la cultura organizativa existente en la empresa –muy orientada a la búsqueda de elementos de interés para la cultura de seguridad–, cuyos resultados indicaron que existía margen de mejora. Además, estos datos sirvieron para definir y poner en marcha una serie de actuaciones concretas que estaban alineadas con una fuerte cultura de seguridad en la compañía.

Una de estas actuaciones incidió en los líderes de la empresa, trabajando sobre sus actitudes y capacidades para influir en la organización de la forma más positiva y favorable. También se acometieron varios proyectos de trabajo de grupo para analizar tareas habituales y definir en ellas comportamientos bien alineados con los principios y objetivos definidos en la cultura de seguridad. Por otra parte, se ha editado material divulgativo e informativo que, posteriormente, ha sido distribuido y publicitado entre el personal de las instalaciones de la compañía.

**Un caso de éxito**

Como ilustración de un caso concreto de éxito de las actuaciones realizadas, recogemos algunas opiniones significativas que muestran los beneficios que se pueden obtener. Los

participantes eran aquellos trabajadores implicados, de uno u otro modo, en la fabricación de contenedores de hormigón en El Cabril –aunque se podría hablar de experiencias similares en el desmantelamiento de José Cabrera–.

Estos empleados fueron convocados, en primer lugar, a una reunión sobre cultura de seguridad en la que estaban presentes todos sus superior-

▼▼  
**Con estas experiencias se perfecciona la seguridad al aumentar el compromiso de la empresa y sus trabajadores.**

res. Allí se profundizó en el proceso de fabricación de los contenedores CE 2A, donde se almacenan los residuos radiactivos de baja y media actividad que llegan a El Cabril. Dichos depósitos requieren de un hormigón especial y Enresa decidió fabricarlos en la propia instalación para asegurar su calidad.

Esa conversación empezó

Trabajadores de Enresa en una conferencia sobre cultura de seguridad en El Cabril. / ENRESA



recordando la importancia del contenedor, que actúa como última barrera de escape al medio ambiente de los residuos radiactivos y, en consecuencia, debe cumplir unos requisitos muy estrictos y tener una vida útil de unos 300 años. Los participantes ya conocían esta realidad, pero intervenir en la experiencia les permitió recordar la relevancia de un proceso que desarrollan a diario y que siempre, sin excepción, se conduce bajo la premisa de la seguridad.

En esta charla también se analizaron los comportamientos de los implicados, explicitando los principios y atributos de la cultura de seguridad de Enresa y cómo se relacionan con dichas actitudes. Este punto requirió más tiempo y reuniones hasta que fue dando los resultados esperados, que demandaban, entre otros aspectos, una mayor implicación de los puestos de mando.

Finalmente, los resultados de estas discusiones había que ponerlos en práctica y, desde



Control de recepción de bidones nuevos. / ENRESA

entonces, se mantienen reuniones periódicas en las que se han propuesto mejoras de procedimientos y procesos. “Ahora participamos todos, discutimos entre nosotros las incidencias e insistimos en temas de formación”, destacan los participantes, concluyendo que han logrado una mejoría donde creían que no había margen para la misma.

Con estas experiencias se perfecciona la seguridad al aumentar el compromiso de todas las personas: ganan los trabajadores, que se sienten más valorados y respetados en su trabajo, y gana la empresa, puesto que los empleados participan activamente en

la mejora de los procesos de trabajo.

### Un proceso continuo

En estos momentos, Enresa dispone de una hoja de ruta actualizada del proceso en curso. Este documento contiene, básicamente, dos periodos de ac-



A partir de 2013, Enresa implementará un programa de mejora que se extenderá entre tres y cuatro años y que acordará con el CSN.

ciones: uno más detallado hasta mediados de 2013, porque en ese tiempo se debe llevar a cabo la evaluación independiente

de la situación de la empresa en materia de cultura de seguridad; y otro simplemente esbozado que se iniciará a partir de esas fechas, ya que el programa real, que se extenderá por un periodo de entre tres y cuatro años, será el que se refleje en el plan de mejora que Enresa debe confeccionar, presentar y acordar con el CSN basándose en los resultados de la evaluación.

Hay pocas dudas sobre la importancia de la evaluación indicada y de sus resultados, que marcarán el futuro de las actuaciones de la compañía en este campo. En este proceso conviene no olvidar que aún es mínimo el grado de desarrollo de actuaciones similares en la gran mayoría de agencias responsables de la gestión de residuos radiactivos en nuestro entorno, lo que hace mucho más complejo el esfuerzo de Enresa, al carecer de referencias específicas válidas e, incluso, de foros adecuados para plantear debates y buscar consensos.

En todo este trabajo llevado a cabo desde 2010 destacan tres factores que han resultado esenciales:

- El entusiasmo y la dedicación de los miembros del equipo de trabajo, de las direcciones y de muchos trabajadores de las instalaciones.
- La implicación de la alta dirección de Enresa.
- La flexibilidad del organismo regulador para contemplar las singularidades de las instalaciones de Enresa.

Se considera que este es el único modo de seguir progresando adecuadamente en una materia que afecta de forma directa a la manera en que una organización realiza sus actividades.

*José Manuel Perlado,  
director del Instituto de Fusión Nuclear  
de la Universidad Politécnica de Madrid*

“A la fusión nuclear  
le queda un camino largo,  
pero creo que lo  
conseguiremos”

**A** FINALES DE 2009 se anunciaba como inminente la consecución de reacciones de fusión nuclear mediante pulsos de energía láser en la National Ignition Facility (NIF) de Estados Unidos. Tres años después, los experimentos no han alcanzado el objetivo de conseguir una fuente de energía abundante y barata, imitando el proceso que ocurre en las estrellas. Según José Manuel Perlado (Madrid, 1950), director del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), el desafío es complejo, pero el éxito puede llegar en cualquier momento. Perlado ha dedicado su carrera a la fusión inercial, alternativa a la magnética utilizada en el reactor ITER, actualmente en construcción. Catedrático de Física Nuclear en la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid, es autor de un centenar largo de publicaciones, colaborador del NIF y uno de los responsables del proyecto europeo de Investigación sobre Energía con Láseres de Alta Potencia (HiPER). POR *Ignacio F. Bayo*, DIVULGA. FOTOS: *Alfonso Esteban*, STB



—*La fusión nuclear lleva medio siglo de andadura y su dominio no parece posible a corto o medio plazo.*

—Eso no es totalmente cierto. Si mira la curva de potencia de las máquinas, ya sean en magnético o inercial, en treinta o cuarenta años se ha conseguido una subida de potencia de siete órdenes de magnitud o más. Se ha progresado mucho, y aún lo hará más cuando dispongamos del ITER y obtengamos resultados en el NIF.

—*Después de tres años de fracasos, el NIF aún no ha conseguido la ignición.*

—El 20 de febrero, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos entregó a la Administración Nacional de Seguridad Nuclear un informe donde reconoce que no se han cumplido los objetivos, pero



“La Academia de Ciencias de Estados Unidos ha concedido al NIF tres años más para conseguir la ignición”.

considera que podrán hacerlo en los próximos tres años. Es un informe positivo emitido por un grupo de premios Nobel y eminentes científicos que

aseguran que lo van a conseguir, y les han dado un margen de tiempo amplio para ello.

—*¿Qué es lo que ha fallado? ¿No se ha alcanzado la energía necesaria para la reacción?*

—Sí se ha conseguido, incluso se han superado los 1,8 megajulios (MJ) previstos. El láser está operando perfectamente, por encima incluso de las perspectivas de diseño. El problema está en la interacción con la pastilla de combustible y el sistema de blancos indirectos que ellos siguen, donde aparecen inestabilidades que no se habían previsto teóricamente.

—¿Cómo es el blanco donde está el combustible?

—Es una esfera de un milímetro de radio compuesta de deuterio-tritio criogénico, es decir, a temperaturas de pocos grados Kelvin. Está recubierta de una capa exterior de plástico, aunque podría ser de otra cosa, que tiene la responsabilidad de recoger la energía y empujar. En el centro hay un hueco, casi vacío, que es importante porque tiene que haber espacio para que la implosión tenga sitio hacia donde expandirse. Cuando implosiona, el combustible se mueve a velocidades de 100.000 metros por segundo; la energía cinética es brutal y, aunque sea un recorrido tan pequeño, alcanza presiones de cientos de megabares.

—¿Por qué falla?

—En el NIF utilizan un blanco indirecto, es decir, que la esfera de combustible va dentro de un cilindro, lo que garantiza que la iluminación sea homogénea. Los 192 rayos láser calientan el interior del cilindro hasta 300 o 350 electronvoltios y hacen que este emita una intensa radiación X, que es la que se descarga sobre la bola de combustible. Las inestabilidades aparecen en esa parte del proceso. Otros proyectos, como el europeo HiPER, utilizarán blancos directos, los cuales plantean otros problemas, como conseguir una iluminación homogénea y sincronizada.

—¿No se pierde energía en el sistema indirecto?

—Sí, pero poca; los índices de conversión son del 85%. Aunque eso no sería un problema, ya que se puede conseguir más energía con cierta facilidad.

—¿Es suficiente esa energía para alcanzar la ignición?

## Nuevos materiales para reducir los residuos radiactivos

En el interior de la cámara de combustión, las paredes recibirán un bombardeo intenso y continuo de neutrones muy energéticos, rayos X y iones. Según José Manuel Perlado, esas paredes, que tendrán entre 100 micras y un milímetro de espesor, van a sufrir mucho estrés y se activarán, generando residuos de media actividad. “Este es un tema importante y hay dos formas de encararlo. El proyecto LIFE, que será la continuación del NIF en Estados Unidos, ofrecerá un prototipo de 200-300 megavatios de potencia, en lugar de los 1.000 que tendrá el HiPER. Con esa baja potencia, que reducirá el estrés de las paredes, utilizará materiales convencionales, y se calcula que tendrá que cambiar la cámara completa cada año y medio o dos años. La alternativa que nosotros planteamos en el HiPER es no sacar toda la cámara, sino usar materiales avanzados que se sustituirán por partes. Ya veremos cómo y en qué plazos”.

La clave, pues, radica en el desarrollo de nuevos materiales de baja activación. “Se trata de obtener materiales compuestos o dopados con nanopartículas que, cuando los neutrones interaccionen con ellos, no acaben produciendo un radioisótopo, sino que formen elementos estables. Pese a todo, habrá un porcentaje de residuo activado, pero podemos reducirlo mucho”, explica Perlado. Además, desde los años sesenta hay ideas alternativas, como generar reacciones aneutónicas. Por ejemplo, la reacción protón-boro genera partículas cargadas, pero no neutrones, y necesita temperaturas cien veces más elevadas que la de deuterio-tritio.

—Incluso puede ser menor. Hay sistemas que utilizan dos láseres, uno que ilumina la bola para comprimirla y otro que calienta el centro de la cápsula con un láser muy rápido, ultracorto, de picosegundos. Es lo que se conoce como ignición rápida. Eso hace que el primer láser pueda reducir su energía de 1,8 MJ a unos 700 kilojulios (kJ), y el segundo, el que calienta, a 50-100 kJ en pulso ultracorto.



“España tiene dos proyectos de internacionalización que permiten mantener los equipos que trabajan en tecnología de fusión”.

—Si el NIF no consigue la ignición, ¿la fusión inercial está abocada a la desaparición?

—La situación sería muy complicada para todos, para ellos y también para nosotros.

—¿Qué van a cambiar para conseguirlo?

—Muchas cosas de los diseños. Tienen localizados los problemas de inestabilidad en

el cilindro y en la propia cápsula. Primero intentaron soluciones tecnológicas, como un cambio en la envoltura de la esfera. Ahora han identificado los problemas y están recalculando todo para llegar a una solución factible y completa.

—Con este panorama, imagino que el proyecto HiPER se enfrenta a oscuros nubarrones.

—Sí, muchos. La primera fase se acaba ahora, porque deja de ser un proyecto del Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación (ESFRI, en sus siglas en inglés) y para seguir tendría que poner una piedra en 2015. Eso, en el HiPER, es imposible. Su principal valor es el de haber unido grupos de investigación de países muy distintos, pero no se ha construido nada, excepto un inyector de pastillas. Se han hecho experimentos de física y se ha diseñado la instalación de ingeniería, así que sobre el papel está hecho, pero está claro que es la primera versión y, si finalmente continúa, vendrán muchos cambios.



—¿Y desaparece el proyecto?

—No, pasa a otra fase. El informe final por parte de la Unión Europea es muy favorable desde el punto de vista científico y se apoya que siga adelante pero sin financiación comunitaria, por lo que la responsabilidad pasa ahora a las naciones implicadas. Francia ya ha dicho que no va a poner dinero, pero va a dejar abiertas sus instalaciones para que se hagan todo tipo de experimentos. Es posible que Reino Unido ponga dinero, al igual que la República Checa; incluso Grecia, a pesar de todo.

—¿Y España?

—Nosotros tenemos dos proyectos de internacionalización que nos permiten mantener la gente que trabaja en aspectos teóricos y experimentales en tecnología de fusión, materiales, deposición de energía, gestión de tritio, estudios de partes críticas... Hemos conseguido dinero en mecanismos competitivos, como el Plan Nacional de I+D, lo que nos permite una continuidad

para los dos próximos años. Luego, ya veremos, porque si el NIF no consigue la ignición, tampoco habrá una instalación para el HiPER.

—¿Qué características tendrá el HiPER según el proyecto que han elaborado?

—Será un reactor de 1.000 megavatios en el que deberá haber entre 5 y 10 igniciones por segundo. Para que la fusión sea competitiva como



“La construcción de un reactor europeo de fusión nuclear por láser de carácter comercial no será posible antes de 2040”.

fuente de energía comercial, tiene que ser repetitivo y disponer de láseres que iluminen el combustible a esa velocidad, además de que el sistema inyecte las bolas de combustible a ese mismo ritmo. Por otro lado, también debe disponer de materiales que aguanten tantas explosiones. Es un proceso largo, porque antes hay que de-

mostrar una serie de tecnologías y tiene que ser eficiente y económico.

—¿Cómo se podrá demostrar antes de construirlo?

—La filosofía del HiPER es demostrar las tecnologías, pieza a pieza, para acabar montando el reactor con un alto grado de seguridad en su funcionamiento.

—¿Qué parte del proyecto hacen ustedes?

—El proyecto conjunto lo ha coordinado el laboratorio británico Rutherford, con presencia de italianos y checos y una amplia participación francesa por parte de la Escuela Politécnica y del Comisariado de la Energía Atómica. Nosotros hemos sido coordinadores de tecnologías de fusión del HiPER, que incluye materiales, cómo recuperar el calor para generar energía, la gestión del tritio...

—¿Cuándo se podría empezar a construir el reactor?

—Teóricamente, las tecnologías de los componentes deberían estar demostradas hacia 2030 o 2040. Los pasos a seguir, según el cronograma, son: ignición del NIF en 2013 o 2014; en 2016 debería estar disponible la instalación francesa MegaJoule, que es semejante al NIF, y la ignición se podría conseguir hacia 2022. Paralelamente se debe desarrollar la tecnología de láseres directos, producción en masa de blancos —para ir a un reactor que utiliza 5-10 por segundo— y otras tecnologías. Con cálculos y experimentos, esta fase podría estar terminada hacia 2025. El desarrollo del resto de la tecnología llegaría hasta el 2030. Para entonces debería tomarse la decisión de su construcción, que podría extenderse durante los años 2030-2040. Pero esto es



solo sobre el papel, ya que estas cosas suelen tener retrasos.

—*Para entonces, el ITER habrá dado resultados y quizás resulte fácil pasar a construir un reactor magnético.*

—Bueno, les quedan cosas fundamentales, como terminar la envoltura, el reprocesado del tritio y que el ITER realmente funcione en periodos mucho más largos. En principio se mantendrá 1.500 segundos y se parará. También tienen que trabajar la forma de capturar la energía y los materiales. Ojalá lo consigan, pero si la palabra clave es “ignición”, está mucho más próximo el inercial que el magnético, porque el NIF lo puede conseguir ya, mientras que el ITER aún tardará muchos años en poder intentarlo.

—*¿Cuál es el principal problema a la hora de construir un reactor comercial?*

—La necesidad de conseguir repetición a un ritmo de

entre 5 y 10 veces por segundo. Hacer eso a los niveles de energía necesarios supone utilizar diodos en lugar de lámparas de destello al bombear el láser. Ya existen láseres de repetición, pero solo de 1 kJ, y necesitamos uno de 700 kJ más otro de pulso ultracorto de 50 a 100 kJ; y



**“El principal problema es conseguir entre 5 y 10 disparos cada segundo, con blancos criogénicos y un margen de error de 10 micras”.**

eso reduciendo el coste en un factor 100. Luego hay que inyectar la cápsula entre 5 y 10 veces por segundo, colocándola con una precisión que no exceda las 10 micras y manteniendo su carácter criogénico mientras se desplazan unos 5 metros, sin fricciones, volando hasta su posición.

—*¿Cómo se consigue capturar la energía?*

—Mediante la deposición de la energía de los neutrones, que colisionan con las paredes de unos tubos situados tras la pared de la cámara de ignición. Se trata de neutrones muy rápidos, de 14 megaelectronvoltios. Serán tubos de acero ferrítico-martensíticos, con cromo, o de acero con nanopartículas, para aguantar temperaturas más altas y disminuir el daño. Por el interior de los tubos circula un refrigerante líquido que tiene que tener litio, puro o compuesto, para generar tritio para el combustible.

—*¿Es un circuito primario que transfiere calor a otro circuito?*

—Exactamente.

—*¿Y cómo se extrae el tritio?*

—Ese es otro problema muy serio, porque tenemos que inventarlo; habrá unos puntos de purga del refrigerante donde se pueda recuperar el tritio mediante separación química.

—*¿A qué temperatura estará el refrigerante?*

—Deberá estar en torno a 300-400 °C. El salto de temperatura entre la entrada y la salida debería ser de unos 200 grados, que es lo que se cede al circuito secundario, y todo eso será con tecnología convencional.

—*¿Mantiene su fe en el futuro de la fusión?*

—No soy pesimista, sino realista. Soy muy consciente de los problemas existentes, que no son triviales, pero tenemos una oportunidad seria para conseguir una tecnología con una densidad energética muchos órdenes de magnitud mayor que cualquier otra, con un combustible abundante y barato. Aún le queda un camino largo, pero creo que lo conseguiremos. ◀

España es el segundo país de la Unión Europea con mayor superficie forestal y no para de crecer

# *Nuestros bosques están sanos*



El bosque de Muniellos (Asturias) es el robledal más grande de España y en 2000 fue declarado Reserva de la Biosfera por la Unesco. / 123RF

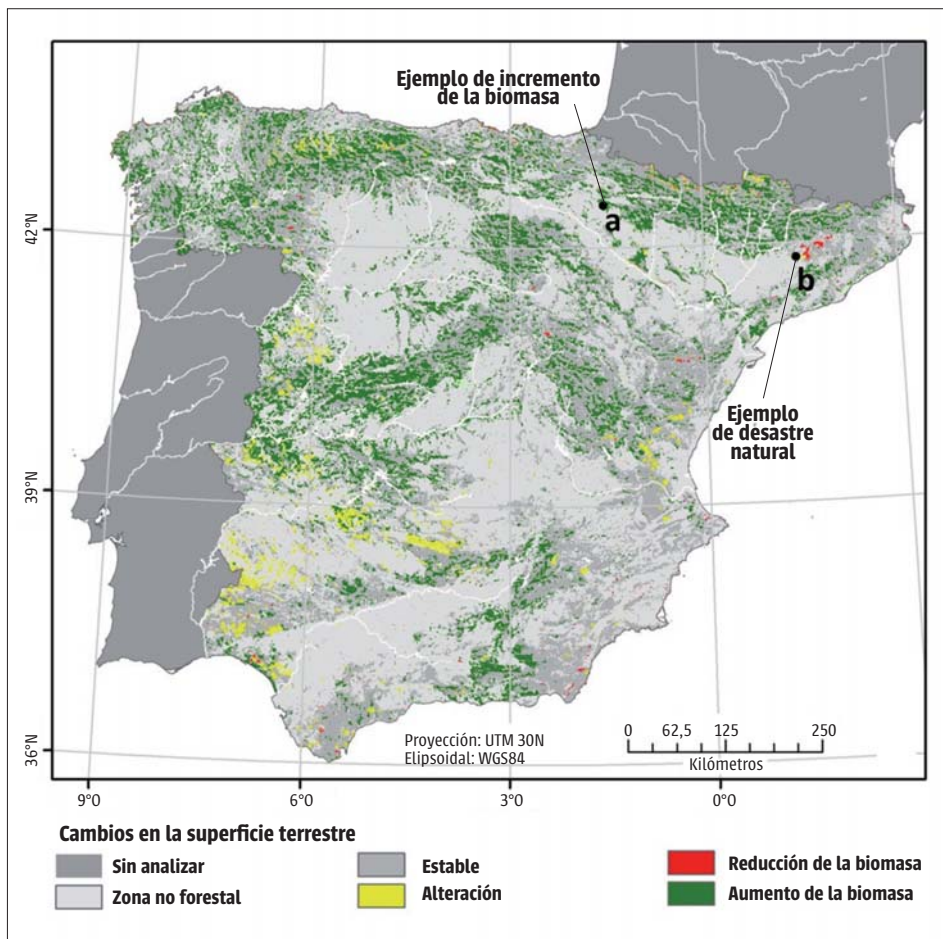
Contra lo que pudiera parecer, y por alarmistas que resulten las noticias que nos llegan desde los medios de comunicación, los bosques españoles gozan en la actualidad de una salud envidiable. Sin embargo, conviene no dormirse en los laureles, pues todavía son muchas las medidas e iniciativas que pueden adoptarse para garantizar la sostenibilidad de nuestro patrimonio forestal. POR *Pablo Francescutti*

**HAGAMOS UNA PRUEBA:** preguntemos a un español cualquiera por el estado de los bosques patrios y, a buen seguro, entonará una letanía sobre su imparable decadencia. En realidad, el experimento ya lo llevaron a cabo los autores del informe *Comunicación sobre el estado de los bosques en la Unión Europea: percepciones públicas de los bosques y el sector*

*forestal*, donde se entrevistaba a más de 11.000 ciudadanos de los 27 países miembros de la Unión Europea (UE). En España, el 70% de los encuestados afirmó que la superficie forestal disminuye.

Nada más lejos de la realidad. Otro estudio, publicado en enero en la revista *Land Use Policy* por investigadores de la universidad alemana de Trier,

confirmó el continuo crecimiento de nuestros bosques. Valiéndose de imágenes obtenidas vía satélite, se analizaron los cambios en la cubierta vegetal a lo largo de los últimos 25 años, constatándose la expansión protagonizada en este tiempo por bosques y arbustos. Los incendios han dejado su huella –especialmente en Cataluña–, al igual que el urba-



**Los árboles quemados no dejan ver el bosque**

Entonces, ¿por qué prima una percepción tan negativa de nuestros bosques? Sin duda, a la misma ha contribuido el bombardeo mediático, que ha amplificado la alarma social por los incendios forestales. Un análisis de la Universidad Rey Juan Carlos I verificó que los fuegos lideran las noticias ambientales en los noticieros televisivos, a costa, como señalan los expertos, de desviar la atención pública de otros enemigos de los árboles, como tormentas, especies invasoras o plagas.

Lo cierto es que, a pesar de los pesares, los bosques no dejan de crecer. Entre las causas directas destacan las políticas de reforestación y las medidas de protección –el 47,6% de los bosques ibérico-baleáricos y el 87,3% de los canarios ya están incluidos en espacios protegidos, como la red Natura 2000–; entre los motivos indirectos, a su vez, figuran el abandono de las tierras de cultivo menos productivas y la expansión espontánea del monte en las montañas.

El patrimonio forestal constituye un gran activo económico y biológico. Su valor, teniendo en cuenta los servicios que nos brinda, ha sido tasado por el Colegio de Ingenieros de Montes en 16.500 millones de euros. Gracias a ese capital natural, España es el segundo productor mundial de corcho y, además de abastecer casi el 90% de la demanda nacional de celulosa, ofrece beneficios palpables en apicultura, fruticultura y ganadería de dehesa. Con su biomasa se ha comenzado a producir energía, aunque de los 6,5 millones de to-

nismo –notoriamente en el Levante–, pero el balance general refleja que España es el segundo país de la UE con la mayor superficie forestal, en concreto el 50% del territorio nacional, por detrás de Suecia y delante de Finlandia.

Los datos refuerzan las conclusiones del informe *Situación de los bosques en España*, presentado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO, en sus siglas en inglés). Eduardo Rojas, subdirector general de este organismo, indica que cada año se recuperan más de 170.000 hectáreas. España es la nación europea que más terreno boscoso gana, a un ritmo de más del 1% anual. También existe una novedosa forma de conocer el estado de nuestros bosques –y los de cualquier país–, con el ali-

ciente de obtener datos actualizados de forma constante. La iniciativa IFL (Paisajes Forestales Intactos, en sus siglas en inglés) es una aplicación disponible en el navegador por satélite Google Earth que han desarrollado las ONG Greenpeace, WRI (Instituto de Recursos Mundiales) y

▼▼  
**España recupera cada año unas 170.000 hectáreas de terreno boscoso.**

Mundo Transparente ([http://servicios.google.com/earth/kmz/disappearing\\_forests.kmz](http://servicios.google.com/earth/kmz/disappearing_forests.kmz)). Así, en lo que va de año, la superficie de bosques en España ha crecido en más de 52.000 hectáreas, según esta herramienta, que también desvela que, entre 1990 y 2005, la masa forestal aumentó más de un 33%.

Evolución de la superficie vegetal en España entre 1989 y 2004. / UNIVERSIDAD DE TRIER

neladas de residuos forestales solo se aprovecha una ínfima parte. “Y tampoco podemos olvidar que los bosques influyen en la regulación hidrológica”, explica Rafael Serrada, vicepresidente de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. Al amortiguar el impacto de la lluvia en las laderas, las masas forestales reducen la pérdida de sedimentos de los lechos fluviales, ayudando a producir agua limpia en ríos y arroyos, promoviendo la infiltración de agua en el terreno, estabilizando el flujo de los cauces y minimizando el riesgo de inundación. “Son el sustrato de la biodiversidad animal y vegetal”, apunta Serrada.

A todo esto se añade la contribución que los bosques realizan a la lucha contra el cambio climático. Los árboles absorben el 15% del dióxido de carbono emitido en el país, según afirman investigadores del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales



Los incendios no han impedido el aumento de la masa forestal. / ANP

Aplicación de Google que permite seguir el avance de los bosques españoles. / GOOGLE

(Barcelona), mientras que otras estimaciones elevan ese porcentaje al 23,4% de las emisiones. De media, un bosque en buenas condiciones engulle ese gas contaminante a un ritmo anual de cinco toneladas por hectárea y genera mil toneladas de oxígeno por kilómetro cuadrado. Un árbol de unos veinte años de vida neutraliza anualmente el CO<sub>2</sub> que emite un ve-

hículo tras recorrer 10.000 kilómetros. De acuerdo con un estudio de la Universidad de Sevilla, los más de veinte millones de hectáreas forestales que existen en España son capaces de asimilar cada año unos 785 billones de toneladas de CO<sub>2</sub>. En definitiva, los números acreditan que el pulmón del ecosistema funciona a pleno rendimiento.



## Un variopinto tesoro botánico

En España hay unos 17.804 millones de árboles y cada año se suma una media de 284 millones adicionales, según informa el censo de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. Estos especímenes se distribuyen en dos grandes zonas: la eurosiberiana y la mediterránea. La primera abarca Galicia, la cornisa cantábrica y los Pirineos occidentales y centrales; la segunda comprende el resto de la Península y las islas Baleares. En la primera, más húmeda y de mayor altitud, reinan robledales, hayedos, abetos y abedules; en la segunda, encinares, alcornocales, pinares, sabinas, matorrales y, en menor medida, pinsapares.

Los expertos distinguen hasta sesenta clases de bosques, si bien solo unos pequeños reductos en el Pirineo o la cordillera Cantábrica pueden ser considerados primarios –no alterados por el hombre–. Por especies, las coníferas, lideradas por el pino resinero, ocupan la mayor extensión –39,1% de la superficie forestal–, seguidas por encinas y otros tipos de *Quercus* –11,9%– y, en un distante tercer puesto, las hayas –2,9%–. El País Vasco cuenta con la mayor superficie forestal arbolada –55%– y Canarias con la menor –por debajo del 20%–.



Pintura del siglo XVI de la Armada Invencible. / ROYAL MUSEUMS GREENWICH

## Breve historia del bosque

Al término de la última glaciación, hace unos 11.000 años, en la Península se alternaban las estepas centrales con las frondosas forestas montañosas y el bosque mediterráneo. La difusión de la agricultura, a partir del VI milenio a. C., inició el retroceso de los montes. El ecosistema forestal en torno a los núcleos urbanos se degradó bajo los embates de la tala sistemática y el pastoreo, compensados en parte por el estímulo romano a las dehesas, los castañares y los olivares.

En la Edad Media, el aumento demográfico disparó la necesidad de leña y madera en perjuicio del bosque primario. El descubrimiento de América y la construcción del imperio devoraron ingentes cantidades de maderas destinadas a los astilleros, y solo la construcción de la Armada Invencible de Felipe II consumió más de cinco millones de árboles. El siguiente gran golpe a los bosques lo infligió la desamortización del siglo XIX: siete millones de hectáreas forestales fueron a dar a manos privadas. Su consiguiente tala y transformación en cultivos propició desastres como el desbordamiento de los ríos Júcar, Guadalentín, Ebro, Jiloca y Ter.

A la vista del daño causado, el rey Alfonso XII promulgó en 1877 la Ley General de Repoblación, Fomento y Mejora de los montes públicos; pero no fue hasta 1940, coincidiendo con el inicio de la dictadura franquista, cuando se comenzó a reforestar de manera continuada. Justamente criticadas por las especies elegidas y los métodos aplicados, lo cierto es que estas repoblaciones invirtieron la tendencia decreciente del bosque español, que, a partir de ese momento, entra en la fase expansiva que, con altibajos, continúa hasta la actualidad. ◀

### Margen de mejora

Pero este panorama de franca expansión presenta luces y sombras. “La calidad de los bosques no ha mejorado”, asegura Luis Gil Sánchez, biólogo e ingeniero de la Universidad Politécnica de Madrid, que ma-

tiza: “Sí lo han hecho, en cambio, las áreas de gestión pública y, en particular, los pinares naturales; por el contrario, los bosques de las especies de *Quercus* que proceden del rebrote han empeorado, debido a la degradación de cepas cen-

tenarias que llevan siglos dando aprovechamiento de leñas”. El deterioro se palpa, por un lado, en el rejuvenecimiento posterior a los incendios, “cuando las estructuras biológicas resultantes de hasta 200 años de evolución son reemplazadas por plantas jóvenes que no pueden proteger el suelo como lo hacían las copas de árboles maduros; por otro lado, el desgaste también se aprecia en la abundancia de chaparros, montes fosilizados sin capacidad para continuar creciendo ni para regenerarse mediante semillas”, añade Gil Sánchez.

Un indicador de calidad lo pone la biodiversidad que alberga un bosque. Para Serrada, se trata de un concepto difícil de valorar: “¿Cómo cuantificarlo? Depende de la escala: en un metro cuadrado hay menos especies vivas que en un kilómetro cuadrado”. Los ecólogos no dejan de denunciar la pérdida de ecosistemas forestales, causada por la tala de bosques centenarios, pero no todos los expertos comparten esa valoración. A Jesús González Capitán, director técnico del Colegio de Ingenieros de Montes, le resulta lógico que “la biodiversidad sea pobre en terrenos que hasta hace poco estaban sembrados de cereales; hay que dar tiempo a su colonización por hierbas y leñosas”. Por su parte, Serrada matiza: “El suelo de una hectárea de dehesa, un entorno muy modificado por el hombre, posee una biodiversidad tremenda”.

Otro parámetro es la salud vegetal. De acuerdo al *Inventario de daños forestales de 2011*, elaborado por el entonces Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, el 85% de los árboles estudiados pre-

sentaba un aspecto saludable. “Hemos superado el problema de la lluvia ácida”, confirma Serrada, si bien subsiste el reto de las plagas y enfermedades. El muérdago se ensaña con los pinos; el picudo rojo asola los palmerales; la roya castiga los enebros y la grafiosis diezma los olmos. Y aunque a ojos de Serrada se trata de episodios ocasionales, Gil Sánchez prevé que estos irán en aumento “a consecuencia de la globalización y la falta de control”.

Las plantaciones promovidas por las administraciones y la sociedad civil se multiplican por doquier, pero hace falta una gestión integral que articule las acciones puntuales. “Nos falta la tradición de los países escandinavos, que desde hace siglos explotan de forma sostenible sus bosques, base de una industria maderera de primer nivel”, apunta Gil Sánchez.

La gestión ordenada es clave para evitar que las ganancias queden anuladas por los incendios, ya que, con la eliminación de hojas, ramas y troncos secos, el riesgo de fuegos disminuiría en un 70%. Solo un 12,3% de nuestra superficie forestal se halla bajo algún tipo de ordenamiento, sostiene el informe de la FAO. Gil Sánchez es rotundo: “La gestión de bosques es inexistente”. Y Serrada coincide en el diagnóstico: “La despoblación rural continúa y, como los árboles no votan, los políticos no les prestan atención”.

Cuidar del monte no es sencillo: “Una aplicación forestal sostenible requiere de muchos recursos y necesita un amplio plazo para obtener beneficios, ya que su regeneración es larga”, advierte Eduardo Rojas. Sin embargo, los dividendos se perfilan cuantiosos: “Aprovechamos



La explotación sostenible y la conservación son compatibles. / JAMES NAVA

apenas el 41% del crecimiento anual del bosque; si subiéramos esa cifra, se podrían reducir las importaciones de madera, resinas y energía”, declara González Capitán. Además, para este experto del Colegio de Ingenieros de Montes hay “yacimientos de empleo en los bosques”. Su institución calcula que, de invertirse

se combina la explotación con la preservación del ecosistema local. Otra vía pasa por la certificación forestal: en 2011 ya había 1.441.091 hectáreas con el certificado PEFC, siglas en inglés del Programa de Reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal, un marchio que garantiza que la materia prima proviene de un bosque explotado de modo sostenible.

Los expertos consultados son unánimes en el pronóstico: gracias al abandono de la agricultura y el pastoreo, el crecimiento de los bosques españoles seguirá en aumento. Sobre su expansión se cernirá la amenaza de los incendios, haciendo más acuciante la necesidad de intervención. “Ecologistas e ingenieros de montes estamos de acuerdo en el mismo objetivo: la gestión sostenible del bosque”, concluye González Capitán. A tenor de estas palabras, parece que el llamamiento de Ramón y Cajal –“Replombemos nuestros bosques y nuestras mentes”– por fin ha comenzado a surtir efecto.



“Nos falta la tradición de los países escandinavos, que desde hace siglos explotan de forma sostenible sus bosques, base de una industria maderera de primer nivel”.

Luis Gil Sánchez, biólogo e ingeniero de la UPM.

11.000 millones de euros en la repoblación o mantenimiento de 4.565.000 hectáreas, se generarían más de 300.000 puestos de trabajo estables.

El desafío es compatibilizar la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad. Un ejemplo a seguir lo brinda el Bosque Modelo Urbión, una vasta masa boscosa, a caballo entre Soria y Burgos, en la que

A photograph of water falling from the top, creating a spray of droplets, over a dense field of green grass. The background is dark, making the water and grass stand out.

Según las previsiones de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y del nuevo Plan Estatal de I+D+i

# *El gasto en I+D+i debe alcanzar el 1,48% del PIB*

El pasado 1 de febrero el Gobierno aprobó la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación, así como el séptimo Plan Estatal de I+D+i, documentos considerados literalmente como “los pilares de la ciencia y la investigación”, tanto en su vertiente de conocimiento básico, como de aplicación a la industria. En medio de una de las mayores crisis que se recuerdan, ambas herramientas tratarán de impulsar la inversión en un campo en el que no acabamos de converger lo suficiente con nuestros principales socios europeos. **POR Jesús Vicenti, PERIODISTA Y ASESOR TECNOLÓGICO**

Las medidas del Gobierno buscan abonar un futuro fértil para la I+D+i. / 123RF

**IMPULSAR LA COMPETITIVIDAD**, estimular el crecimiento y crear empleo. Son los objetivos asociados a Estrategia y Plan, junto a la ganancia de eficiencia en el sistema de I+D+i y la mejora social y económica, actuando

en todas las fases del proceso: desde la generación de la idea hasta su comercialización en el mercado.

La Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación contiene los objetivos,

reformas y medidas de carácter general, mientras que el Plan Estatal de I+D+i –ahora llamado “de Investigación Científica y Técnica y de Innovación”– se ocupará de administrar las convocatorias y disponer los recur-

tos económicos necesarios. La Estrategia coincide en su cronograma (2013-2020) con el nuevo programa marco de la Unión Europea, Horizonte 2020, por lo que tratará de ceñirse a las pautas que esta guía comunitaria de la ciencia y la tecnología ha diseñado para los próximos siete años. Sin embargo, el Plan mantiene su habitual cadencia de cuatro años, como ha venido sucediendo desde que se puso en marcha este instrumento tras la aprobación, en 1986, de la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica, más conocida como Ley de la Ciencia.

El primer plan se hizo esperar hasta 1988, pero, a partir de ese momento, no faltó nunca a su cita cuatrienal, con la excepción precisamente del año 2012, en el que debería de haber entrado en vigor el nuevo, séptimo en su género. La transición entre gobiernos y, por supuesto, la inestabilidad económica derivada de la crisis, hicieron aconsejable prorrogar un año más el plan anterior, previsto en principio para el periodo 2008-2011.

### Asignaturas pendientes

La aprobación de la Ley de la Ciencia de 1986, año coincidente con la entrada de nuestro país en la Comunidad Europea, dio un gran impulso al profundo subdesarrollo científico y tecnológico en el que se encontraba España, que no solo no hizo a tiempo sus revoluciones ilustrada e industrial, sino que además llegó casi treinta años tarde a la nueva Europa surgida de los tratados de Roma y, aún con más retraso, a la irrupción generalizada de las democracias en el mun-

### Evolución de la inversión en I+D sobre el PIB al inicio y al final de cada Plan Estatal

Plan de I+D+i 2013-2016*	1,33	1,48
Plan de I+D+i 2008-2011	1,27	1,33
Plan de I+D+i 2004-2007	1,07	1,20
Plan de I+D+i 2000-2003	0,94	1,05
Plan de I+D 1996-1999	0,83	0,88
Plan de I+D 1992-1995	0,91	0,81
Plan de I+D 1988-1991	0,72	0,87

\* Estimaciones

Fuente: Ministerio de Economía y Competitividad

### Evolución del marco de financiación y del gasto en I+D prevista para el Plan Estatal

	2013	2014	2015	2016
Gasto total en I+D/PIB (%)	1,33%	1,37%	1,41%	1,48%
Gasto total en I+D de las administraciones públicas/PIB (%)	0,61%	0,61%	0,61%	0,61%
Gasto total en I+D del sector privado/PIB (%)	0,62%	0,64%	0,67%	0,73%
Gasto total en I+D del extranjero/PIB (%)	0,10%	0,12%	0,13%	0,14%
Porcentaje del gasto total en I+D financiado por las administraciones públicas	45,50%	44,30%	42,70%	41,40%
Porcentaje del gasto total en I+D financiado por el sector privado	46,40%	47,10%	48,10%	49,00%
Porcentaje del gasto total en I+D financiado desde el extranjero	8,10%	8,60%	9,20%	9,60%

Fuente: Ministerio de Economía y Competitividad

do occidental. Todo ello repercutió negativamente en el convencimiento de que ciencia y tecnología, y no el turismo o la construcción –valga por caso–, deberían ser los pilares en los que asentar cualquier Estado moderno.

Aquella ley –reemplazada por la aprobada el 1 de junio de 2011– ayudó a converger con Europa, especialmente en

cisiva para aportar recursos al sistema y potenciar las inversiones en este sentido. En 1986, apenas un 0,6% del Producto Interior Bruto (PIB) procedía de inversiones en I+D+i, porcentaje propio de países subdesarrollados. Hoy en día se sobrepasa el 1,3% y el objetivo para 2016 es llegar al 1,48%, si bien la media europea está próxima al 2% y alcanza el 3% en los casos de países líderes en este ámbito. De hecho, entre los retos de Horizonte 2020 destaca la consecución del 3% en I+D sobre el PIB al término de la actual década. Cosa ya prevista, por cierto, una década atrás en la famosa Agenda de Lisboa para el año 2010, y que se incumplió absolutamente porque Europa también lleva años sin avanzar de manera significativa en este indicador. La crisis económica y los recortes



### Estrategia y Plan buscan converger en I+D+i con nuestros socios europeos.

ciencia y conocimiento, hasta el punto de que el 3,5% de las publicaciones científicas internacionales son hoy de autoría española, cuando en 1986 eran casi testimoniales. Por su parte, la puesta en marcha de los planes nacionales de I+D+i fue de-

Previsiones del Plan Estatal de Investigación Científica	2010	2016
Doctores graduados con edades comprendidas en el grupo de referencia (25-34 años) respecto a la población total de dicho grupo <sup>1</sup>	0,9‰	1,2‰
Estudiantes internacionales matriculados en programas de doctorado/número total de estudiantes matriculados <sup>1</sup> (%)	10,8%	14%
Personal empleado en actividades de I+D/total de la población ocupada <sup>1</sup> (%)	11,8‰	13,0‰
Población ocupada en actividades de I+D con estudios de doctorado sobre el total de la población ocupada <sup>2</sup>	21,4%	23,0%
Incremento en el % de publicaciones en revistas que se encuentran entre el primer decil más citado de su área a nivel mundial <sup>3</sup>	–	25%
Incremento en el nº de proyectos financiados por el Consejo Europeo de Investigación (stg) <sup>4</sup> –	–	50%
Incremento en el retorno de la participación de grupos de investigación (universidades y centros públicos) españoles en H2020 que han contado con financiación, en el periodo de referencia, del Plan Estatal <sup>4</sup>	–	30%
Incremento del nº de proyectos ejecutados en colaboración y prestaciones al sector privado de las Infraestructuras científico-técnicas singulares <sup>4</sup>	–	50%
Incremento en el nº de patentes solicitadas en tecnologías emergentes generadas <sup>5</sup>	–	25%
Incremento del nº de solicitudes de patentes (nacionales e internacionales) con informe del estado de la técnica favorable en tecnologías emergentes <sup>5</sup>	–	25%
Incremento en el retorno de la participación empresarial en H2020 <sup>4</sup>	–	40%
Empresas que realizan innovaciones tecnológicas sobre el total de empresas activas de 10 o más asalariados (%) <sup>7</sup>	18,6%	20,0%
Porcentaje de pymes que realizan innovaciones tecnológicas (productos y procesos) sobre el total de pymes <sup>7</sup>	14,6%	16,0%
Porcentaje de exportaciones de alta y media tecnología sobre el total de exportaciones de productos <sup>7</sup>	4,7%	6,0%
Incremento en el número de patentes solicitadas en diferentes tecnologías facilitadoras y esenciales <sup>5</sup>	–	25%
Número de empresas que han realizado innovaciones tecnológicas (productos y procesos) en colaboración con centros públicos y universidades <sup>7</sup>	23%	30%
Incremento en el nº de patentes solicitadas y su distribución sectorial vinculadas a los retos de la sociedad <sup>5</sup>	–	25%
Incremento en el % de las publicaciones generadas por proyectos financiados con recursos públicos dentro de los retos de la sociedad que se encuentran en el primer decil más citado de su área a nivel mundial <sup>8</sup>	–	25%
Retorno de la participación de grupos de investigación, empresas y otros agentes en H2020 y resto de las iniciativas europeas <sup>9</sup>	8,6%	11%
Incremento en el volumen de fondos de capital riesgo invertidos (públicos y privados, nacionales y extranjeros) durante el periodo <sup>2</sup>	–	20%
Evolución de la valoración social a favor de la ciencia y la tecnología <sup>10</sup>	53%	59%

Fuentes: <sup>1</sup>OCDE, <sup>2</sup>Eurostat, <sup>3</sup>Thomson Reuters / JRC, <sup>4</sup>Ministerio de Economía y Competitividad, <sup>5</sup>World Intellectual Property Organization (WIPO), <sup>6</sup>EPA; WIPO, <sup>7</sup>INE, <sup>8</sup>Elsevier; Thomson Reuters, <sup>9</sup>FECYT; CDTI, <sup>10</sup>FECYT.

pesan, sin duda, en todo el continente, así que los 80.000 millones de euros previstos inicialmente para Horizonte 2020 se quedarán en tan solo 70.000.

Que se ha hecho mucho en España es obvio, pero que queda tanto o más camino por recorrer no es menos cierto. Así lo reconoce expresamente la nueva Estrategia de Ciencia, al admitir que España necesita

“incrementar la relevancia de la investigación científica y técnica, de la más fundamental a la más orientada; conseguir un verdadero liderazgo internacional del sistema de I+D+i; promover la participación empresarial en su ejecución y financiación; crear un marco flexible y eficiente para su desarrollo, y potenciar nuevas fuentes de financiación mejorando

la inserción laboral y la movilidad del capital humano y del talento, para que se genere conocimiento y se transfiera al tejido productivo”.

En la última década el número de doctores, investigadores y personal técnico dedicado a actividades de I+D+i se ha incrementado en un 65%, aunque, en relación con la población total, sigue siendo un porcentaje inferior al de otros países del entorno, debido, sobre todo, a la baja tasa de contratación de investigadores en las empresas. En 2010, un 11,8 por 1.000 de los españoles estaban empleados en estos menesteres, pero la nueva estrategia nacional de la ciencia quiere alcanzar el 16 por 1.000 en el año 2020. En 2011 –el último año con estadísticas cerradas– había 215.079 personas trabajando en investigación y desarrollo, de ellas 130.235 como investigadores. En 2009 se alcanzaron los máximos históricos de este indicador, con 220.777 y 133.893, respectivamente.

### El Plan 2013-2016

Los planes estatales de I+D se encargan de fijar plazos y dinero a las líneas generales estratégicas de la ciencia marcadas por cada gobierno. Desde el primero de ellos, aprobado para el periodo 1988-1991, han tratado de neutralizar dos grandes problemas históricos en esta cuestión: el poco interés de la sociedad por la investigación y los escasos recursos públicos y privados disponibles para la causa. Desde la Ley de la Ciencia de 1986, el impulso ha sido grande, sobre todo a lo largo de la actual década, si bien la crisis ha frenado en seco, tal vez inevitablemen-



La vicepresidenta Soraya Sáenz de Santamaría y los ministros José Manuel Soria y Luis de Guindos, durante el anuncio de la aprobación de la Estrategia de Ciencia y Tecnología y el Plan Estatal de Investigación. / POOL MONCLOA

te, el acelerón de los últimos años. De hecho, las últimas cifras del Instituto Nacional de Estadística reflejan una caída del 1,39% en 2010 al 1,33% en 2011 en términos de I+D sobre el PIB. No parece mucho mejor la suerte de 2012, aunque la encuesta que mide su evolución no estará disponible hasta bien avanzado 2013.

El nuevo Plan Estatal prevé cuatro grandes áreas o programas: promoción del talento y su empleabilidad; fomento de la investigación científica y técnica de excelencia; liderazgo empresarial en I+D+i, e I+D+i orientada a los retos de la sociedad. Cada uno de ellos se divide en una serie de subprogramas, que totalizan 18 capítulos, y se les añaden, como ya ocurrió en el plan anterior, dos acciones estratégicas, en este caso enfocadas a salud y a sociedad digital. La mayoría de ellos estarán gestionados por las dos grandes agencias de financiación de la

I+D+i establecidas en la Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación de 1 de junio de 2011: el bien conocido Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y la Agencia Estatal de la Investigación, de próxima creación.

Como ya es habitual en estas partituras cuatrienales de la ciencia y la tecnología, el ca-



## La escasa inversión privada lastra el crecimiento de la I+D española.

ballo de batalla son los recursos humanos dedicados a la investigación –ahora bajo la sugestiva rúbrica de “talento”– y la apuesta empresarial por la innovación. Las empresas españolas financian apenas un 50% de la inversión total en I+D, dejando al Estado la mitad restante –y aún mucho más en algunas comunidades autónomas industrialmente deprimi-

das–. Así, el sector privado sigue a rebufo de la iniciativa del sector público, lo que lastra considerablemente el crecimiento global de tan preciada inversión.

Peor aún va la cosa en patentes, ya que cada año solo se solicitan 1.400 patentes europeas en todo el territorio nacional, de las cuales más de la mitad está en manos de las universidades, no de las empresas. Y en sectores de alto crecimiento, como las tecnologías de la información, la biotecnología y otros, España sigue siendo un actor secundario en cuanto a invención, limitándose frecuentemente al mero papel de usuario.

Así pues, retos no le faltan al nuevo Plan de I+D+i, que despliega toda una suerte de instrumentos financieros, en forma habitual de préstamo para el desarrollo tecnológico y de subvención para la investigación básica o aplicada, al tiempo que se plantea objetivos específicos para acabar con tan señalados atrasos históricos. He aquí algunos ejemplos de tales metas: incrementar un 50% los proyectos de tecnologías de la información; un 25% las solicitudes de patentes; un 40% los retornos del nuevo Horizonte 2020; un 6% las exportaciones de alta y media tecnología; un 30% las colaboraciones universidad-empresa, o un 20% los fondos invertidos en capital riesgo. Y todo ello al término de los cuatro años de duración del Plan 2013-2016, que nace en plena crisis, pero con la ambición de asentar, de manera sólida y junto a la estrategia nacional 2013-2020, los pilares de nuestra futura ciencia básica y aplicada. ◀

Investigadores españoles analizan en la cueva asturiana de El Sidrón material genético de esta especie extinguida del género *Homo*

# La tumba que encierra el ADN de los neandertales

La cueva de El Sidrón, en Asturias, se ha convertido en un referente mundial para el estudio del ADN de los neandertales. Allí, en un agujero que aprovecharon los maquis para esconderse tras la Guerra Civil, se han encontrado los restos de trece individuos que murieron hace 49.000 años. Los fósiles, muy bien conservados, han permitido recuperar material genético que nos revela el aspecto de esta especie extinta, así como su biología o sus vínculos familiares. TEXTO Y FOTOS: *Rosa M. Tristán*



El paleontólogo Antonio Rosas, en la entrada de la cueva de El Sidrón.

UN PEQUEÑO AGUJERO en el suelo, de no más de setenta centímetros, da entrada a un mundo desconocido: varios kilómetros de galerías subterráneas que escondían un tesoro de fósiles y ADN. La cueva de El Sidrón, en el municipio asturiano de Piloña, es el lugar que ha permitido saber que los neandertales europeos eran pelirrojos, que tenían capacidad de comunicarse mediante el habla o que, llegado el caso, podrían habernos cedido su sangre para una transfusión. Estos descubrimientos se deben al esfuerzo de unos científicos españoles que, desde hace varios años, estudian los restos de una familia de trece individuos que fue canibalizada y que acabó enterrada en una estrecha galería de la mencionada caverna.

Para adentrarse en El Sidrón hay que pasar por delante de la cruz que recuerda el fusilamiento, en 1938, de la joven Olvido Otero. Allí iba a llevar alimentos a sus hermanos republicanos, escondidos en la cueva durante la Guerra Civil. El entramado de galerías subterráneas, que fue excavado por un río durante millones de años, era utilizado por los maquis para pasar de un valle a otro, como evidenciaban las

balas y los cartuchos que se encontraron en la zona.

Así que, cuando en 1994 un grupo de espeleólogos halló dos fragmentos de mandíbulas, en un primer momento se pensó que pertenecían a muertos del enfrentamiento fratricida, por lo que se enviaron al Instituto Anatómico Forense de Madrid. Tuviron que pasar cinco largos años para que los paleontólogos Emiliano Aguirre y Antonio Rosas confirmaran que aquellos restos no eran de guerrilleros antifranquistas, sino de *Homo neanderthalensis*, y que las extrañas piedras encontradas cerca eran herramientas talladas



Los investigadores han encontrado más de 2.400 restos humanos y 400 herramientas, así como restos de caballos, osos y ciervos.

Espectacular panorámica de los investigadores trabajando en las profundidades de El Sidrón.

por aquellos prehistóricos individuos. Un año más tarde, en 2000, y ya bajo la dirección del fallecido arqueólogo Javier For-tea, comenzaron las labores de excavación.



“Es impresionante. Durante décadas, mucha gente pasó por aquí sin sospechar lo que había. Recuerdo con emoción el día en el que Emiliano Aguirre me enseñó los huesos”, afirma Rosas, ahora investigador del Museo Nacional de Ciencias Naturales, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), mientras pasea por la galería central de la cueva como si lo hiciera por el salón de su casa. Como codirector de esta investigación, lleva doce campañas haciendo el mismo camino junto al arqueólogo Marco de la Rasilla, de la Universidad de Oviedo.

### Tesoros bajo el lodo

El estrecho pozo en el suelo da paso a un insospechado mundo subterráneo. Hay que caminar casi 500 metros a lo largo de un cauce, que en otoño está seco, para llegar hasta el ensanchamiento donde se ha instalado la sala de trabajo. A la derecha, la Galería del Osario, donde fueron a caer los huesos hace decenas de



Marco de la Rasilla y Antonio Rosas analizan el cráneo de uno de los especímenes hallados en la cueva.

miles de años desde una entrada exterior que todavía no se ha localizado. Durante las semanas de campaña, siempre escasas para examinar todo el material que se va encontrando, los fósiles se limpian, clasifican y se les da una primera interpretación. Y se acumula el trabajo, pues los investigadores ya han encontrado más de 2.400 restos humanos y 400 herramientas, además de restos de caballos, osos y ciervos.

Cuando Rosas llegó al lugar para la última campaña de septiembre de 2012, De la Rasilla ya le esperaba con unos cuantos fragmentos de cráneo de neandertal y otras piezas del puzzle. El arqueólogo recuerda que, al principio, pensaron que podía tratarse de un enterramiento colectivo, hipótesis que posteriormente fue descartada. “Era extraño y nos costó descubrir lo sucedido, porque el material estaba demasiado lejos del exterior. Hicimos tomogra-

fías eléctricas y gravimetrías; definimos la planta de la cueva y, al final, concluimos que hace unos 50.000 años existía un abrigo –zona resguardada de las inclemencias meteorológicas– en la ladera exterior. Allí estaban los huesos. Por delante pasaba un pequeño río y, en una subida de nivel, una tromba de agua y barro introdujo los restos por los conductos de la cueva, dejándolos sellados para siempre. Con el tiempo, el abrigo se derrumbó, se cubrió de sedimentos y aún no lo hemos localizado”, admite el experto. A su lado, en una postura inverosímil y con un pequeño buril, la joven Aurora Rodríguez García va recuperando lentamente los fósiles.

Todo indica que los trece individuos, entre los que hay hombres, mujeres y niños, acabaron allí antes de ser fosiliza-



Los neandertales eran pelirrojos, tenían capacidad de comunicarse mediante el habla y podrían habernos cedido su sangre para una transfusión.

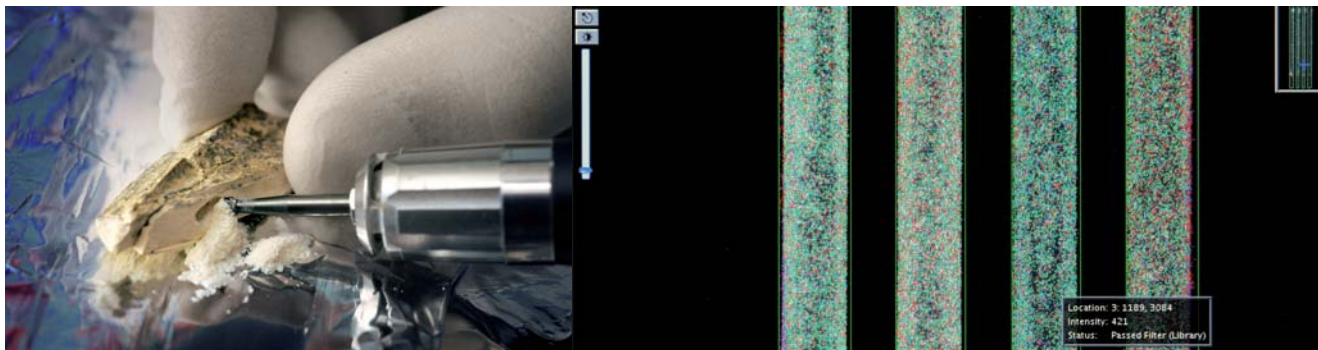
## Dataciones ultrafiltradas

Se calcula que en el mundo, fundamentalmente en la zona de Eurasia, se han encontrado restos de unos 600 neandertales, una especie que vivió hace entre 400.000 y 30.000 años, si bien esta última fecha se encuentra ahora en pleno retroceso. La datación de los fósiles está sufriendo una revolución y no hay más que recordar que las primeras fechas de El Sidrón hablaban de unos 34.000 años, mientras que en la actualidad esa cifra llega a 49.000.

Para establecer la antigüedad, los investigadores han utilizado hasta cinco técnicas diferentes. Entre otras, el carbono 14; la radiación uranio-torio –método basado en series de desintegración radiactiva de estos elementos–, y, finalmente, la ultrafiltración de radiocarbono, que determinó que los neandertales de El Sidrón murieron miles de años antes de la llegada de los *sapiens* a Europa. Este último procedimiento, que elimina contaminaciones con mayor exactitud, ha permitido retrasar la edad de varios de los fósiles de neandertales encontrados en la península Ibérica.

dos. Y que, al menos algunos de ellos, habían sido canibalizados. ¿Por quién? “No lo sabemos. Pudieron ser comidos por enemigos, pero también pudo ser una forma de honrar a los muertos, de adquirir su fuerza. Ni siquiera sabemos si se los comieron de una sentada o si el abrigo era un lugar al que venían para darse banquetes. Desde luego, no era el sitio donde vivían, pero nos falta información sobre el escenario real”, reconoce Rosas mientras busca señales de descarnamiento en un hueso.

Lo que sí se sabe es que la antropofagia ha existido en cul-



Perforación de un hueso de neandertal para su estudio. A la derecha, grupos de ADN en el analizador de genoma. / MAX PLANCK INSTITUTE

turas humanas modernas y también ha sido documentada en el *Homo antecessor* del yacimiento de la Gran Dolina, en Atapuerca (Burgos), cuya antigüedad asciende a los 800.000 años. Además, todos los neandertales de El Sidrón estaban sanos y junto a ellos no hay restos de otros animales devorados.

En 2003, Rosas llamó a Carles Lalueza-Fox, un biólogo especializado en recuperación de ADN antiguo que regresaba a España tras una estancia en las universidades inglesas de Oxford y Cambridge. Un equipo del Instituto Max Planck de Alemania, liderado por Svante Pääbo, trabajaba por entonces en el genoma del neandertal y Rosas sabía que sus ejemplares asturianos representaban una magnífica oportunidad para conseguir material genético. “El Max Planck, en un estudio previo, había dicho que en El Sidrón no había esta clase de material, pero yo encontré ADN mitocondrial mientras analizaba la muestra de un diente; al año siguiente comenzamos un programa pionero para su recuperación”, recuerda Lalueza-Fox, que acaba de publicar un libro, *Palabras en el tiempo* (Editorial Crítica), sobre el genoma de este antepasado del *Homo sapiens*.



Cada vez que asoma un hueso susceptible de tener ADN, aparecen las batas blancas, las máscaras, los guantes y las neveras especiales.

### Un laboratorio entre rocas

Desde ese momento, la gruta del Principado se convirtió en un referente mundial. Los in-

vestigadores de El Sidrón apostaron fuerte por la genética, que hasta entonces solo se analizaba en otra caverna, la de Vindija

(Croacia). Hasta un lugar embarrado como es una excavación, el equipo logró trasladar la asepsia de un laboratorio mediante un protocolo especial: cada vez que asoma un hueso susceptible de tener ADN, aparecen las batas blancas, las máscaras, los guantes y las neveras especiales. “Tienen que ser dientes o restos con mucha densidad, donde el ADN pueda estar encapsulado y menos contaminado”, apunta Rosas.

A continuación, esas muestras se congelan y quedan a la



Toma de muestras de restos con ADN.

## Arte sin artistas en El Sidrón

Recientemente, el arqueólogo alemán Nick Conard, descubridor de la Venus de Hohle Fels, negó en Madrid que los neandertales tuvieran la capacidad artística figurativa de nuestra especie. No obstante, en el interior de El Sidrón se han encontrado unas misteriosas representaciones en una de las zonas más inaccesibles de la cueva. Se trata de la Galería de las Pinturas, donde se han identificado cinco figuras en ocre y una serie de grabados. “No sabemos quién las hizo, aunque es poco probable que fueran los neandertales”, reconocen los investigadores, que en las últimas campañas están realizando un inventario de estas manifestaciones pictóricas. ◀



Manifestaciones pictóricas en el interior de la cueva.

espera de que Lalueza-Fox, en el Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-UPF), las secuencie en su laboratorio. El investigador reconoce que “es un proceso complejo, en el que es preciso aplicar la técnica conocida como reacción en cadena de la polimerasa (PCR, en sus siglas en inglés), que imita la división celular en nuestro organismo para generar millones de copias idénticas de ADN neandertal”. Los resultados han sido asombrosos: no solo han confirmado datos del genoma obtenido en Alemania con fósiles de Vindija, sino que también han posibilitado dar con el gen que indica que estos neandertales eran pelirrojos y de tez

clara, que poseían el gen FOXP2 –relacionado con el lenguaje–, que su grupo sanguíneo también era O –el cual se vincula en los *sapiens* con la resistencia a la malaria– o



“Buscamos rasgos que tengan un interés evolutivo y que nos permitan darles una imagen personalizada”.

Carles Lalueza-Fox, biólogo especializado en recuperación de ADN antiguo.

que podían distinguir el sabor amargo. “Buscamos aquellos rasgos que tengan un interés evolutivo y que, a la vez, nos permitan darles una imagen personalizada”, señala el biólogo catalán.

Gracias al ADN mitocondrial, que se hereda por línea materna, también se pudieron descubrir los lazos existentes entre aquellos individuos; y resulta que, de los doce estudiados hasta ahora, siete lo comparten: cuatro hombres entre sí y tres niños con dos mujeres –posiblemente, las madres de los pequeños–. “Esto nos indicaría que eran un grupo familiar y que las mujeres venían de otros clanes, como en muchas culturas *sapiens*, aunque hay que tener en cuenta que la diversidad genética entre los neandertales era mucho menor que la nuestra y eso puede influir en el resultado. De momento, su genoma nos ha servido para saber más de nosotros que de ellos, a través de las mutaciones que hubo después de que nuestras ramas se separaran hace unos 650.000 años; ahora habría que hacer experimentos funcionales, trabajar con genes neandertales y tejidos animales, para saber realmente cómo era su biología y cómo se comportaban”, concluye Lalueza-Fox.

Poco a poco, la humedad de la cueva va calando en los huesos de los vivos. Dentro de El Sidrón se trabaja a marchas forzadas. Un descanso para comer y vuelta a las profundidades de la tierra. Marco de la Rasilla va de un lado para otro, controlando lo que saca Javier Fernández de la Vega, que lleva horas tirado en el barrizal, revisando los hallazgos de Aurora o recogiendo los nuevos datos que traen los geólogos Sergio Sánchez-Moral y Carlos Cañaveras. Por su parte, Antonio Rosas y sus ayudantes siguen juntando piezas del rompecabezas, a la caza de pistas que nos acerquen a esos lejanos parientes que un día enterró el tiempo. ▶

# Asesinos de enfermedades

Tras la victoria contra la viruela en 1977, un ejército médico se ha propuesto erradicar de la faz de la Tierra otras tres temibles enfermedades: el virus de la polio, la bacteria del pian y el gusano de Guinea. *POR Manuel Ansede*

**ROBERT SCOTT**, un hombre de imponente figura al que todo el mundo llama Bob, recuerda el día de 1957 en el que se graduó como médico. Durante más de cuatro décadas ejerció en Reino Unido, primero, y en Canadá, después, sin ver jamás a un enfermo de poliomielitis. Pero en 1999, en Egipto, Scott se topó por primera vez cara a cara con un afectado por este terrible virus, que entra por la boca o la nariz, se extiende por la sangre y puede dañar el cerebro y la médula espinal, provocando parálisis o, incluso, la muerte. “La experiencia de ver a aquel niño egipcio con un brazo recién pa-



El médico Bob Scott, presidente del Comité PolioPlus de Rotary International. / ROTARY INTERNATIONAL

Vacunación de niños en la estación de tren de Darbhanga (India), durante la campaña nacional contra la polio de 2010. / FUNDACIÓN GATES

ralizado me determinó más todavía a participar en el esfuerzo de erradicar el maldito poliovirus”, recuerda el doctor, presidente del Comité PolioPlus de Rotary International, una organización sin ánimo de lucro con 1,2 millones de miembros en todo el mundo.

Rotary International lanzó este programa contra la polio en 1985 y desde entonces ha recolectado, según sus cifras, más de 1.000 millones de dólares para inmunizar a más de 2.000 millones de niños en 122 países. La organización también es, desde 1988, uno de los cuatro actores protagonistas en la

Iniciativa Global para la Erradicación de la Polio, junto a la Organización Mundial de la Salud (OMS), UNICEF y los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos. Entre todos han conseguido acorralar al virus: en 2012 solo se notificaron 250 contagios en todo el mundo, cuando en 1988 se registraron unos 350.000. “Eran mil casos al día”, remarca Scott.

Este médico es un asesino de enfermedades, una persona empeñada en eliminar de la faz de la Tierra algunos de los más fieros enemigos del ser humano. Son males como la polio, la dra-



## El hombre que convenció a los gobiernos

A sus 73 años, Ciro de Quadros suele decir que sigue trabajando gracias a la energía que le dio contribuir a la erradicación de la viruela. Tras combatir al virus en África con la Organización Mundial de la Salud, el epidemiólogo brasileño se mudó a la Organización Panamericana de la Salud, donde fue responsable de la eliminación del sarampión y la polio en América. Hoy sigue peleando contra enfermedades curables desde la vicepresidencia del Instituto de Vacunas Sabin, una organización sin ánimo de lucro con sede en Washington (EE.UU.).

De Quadros es, según muchos asesinos de enfermedades, uno de los modelos a seguir. Entre sus grandes éxitos se encuentra el haber cambiado el terreno de batalla. Consiguió que los propios gobiernos se hicieran responsables de las campañas de vacunación, pero solo tras insistir machaconamente en que el coste económico de una de estas campañas enseguida se compensa con creces. “Varios estudios demuestran que los niños vacunados tienen un rendimiento escolar mucho mayor que los no vacunados y, en conjunto, la contribución de la población vacunada a la riqueza del país es mayor”, declaró el año pasado tras recibir el Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento de Cooperación al Desarrollo.



Ciro de Quadros, figura clave de la lucha contra la viruela. / FBBVA

cunculiasis y el pian, culpables durante siglos de millones de vidas destrozadas, pero ahora arrinconados y a punto de seguir los pasos de la viruela, la única enfermedad a la que la humanidad ha conseguido derrotar. Al igual que Scott, muchos de sus colegas sueñan con repetir una fotografía mítica de aquella descomunal victoria: la del joven somalí Ali Maow Maalin. En 1977, con apenas 23 años, se contagió por el virus de la viruela, pero poco después se curó completamente. Fue la última persona que contrajo esta enfermedad que, antes de desaparecer, era capaz de matar hasta 600.000 personas al año y de acabar con cinco reyes europeos solo en el siglo XVIII.

Hoy en día, gracias a una masiva campaña de vacunación, la viruela, responsable de multitud de pestes durante milenios, sobrevive únicamente en las cámaras frigoríficas de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Atlanta (EE.UU.) y en el Centro Estatal de Investigación en Virología y Biotecnología VECTOR, en Koltsovo (Rusia), una pequeña ciudad le-

vantada en Siberia para albergar a miles de científicos. Ambas instalaciones son fortines donde las últimas muestras del virus se custodian como si fueran cabezas nucleares.



**En 1988 se registraron 350.000 casos de polio en todo el mundo; el año pasado esa cifra había descendido hasta apenas 250.**

Scott es optimista y cree que la polio tendrá el mismo final que la viruela. No existe una cura, pero es una enfermedad completamente evitable con una serie de vacunas. “Tenemos las herramientas técnicas para acabar con la polio y tenemos los medios para llegar a todos los niños. Es uno de los logros más concretos que podríamos conseguir en salud global y un paso crítico para mostrar el camino hacia la protección de todos los niños frente a enfermedades prevenibles por vacunas”, argumenta. No obstante, el galeno sabe que dar la puntilla a la enfermedad no será fácil y todavía puede requerir varios años. El virus

se ha refugiado en tres países sin ley –Nigeria, Pakistán y Afganistán– y allí ha encontrado aliados inesperados: los fusiles kaláshnikov. El 2 de enero, grupos talibanes asesinaron a tiros a siete trabajadores de la campaña de vacunación en Pakistán. Antes, en unos pocos días de diciembre, fueron asesinados otros nueve compañeros. Y el 8 de febrero la situación se contagió a Nigeria, donde nueve vacunadoras perecieron tiroteadas.

En ambos territorios ha cuajado entre los círculos extremistas la idea, obviamente falsa, de que las campañas de vacunación contra la polio son parte de un maléfico plan para esterilizar a todos los niños musulmanes. “Solo hay tres países en los que el poliovirus salvaje nunca se ha detenido: Afganistán, Nigeria y Pakistán. Hasta que se consiga frenar a la polio allí, los niños de todo el mundo estarán en riesgo”, advierte Scott.

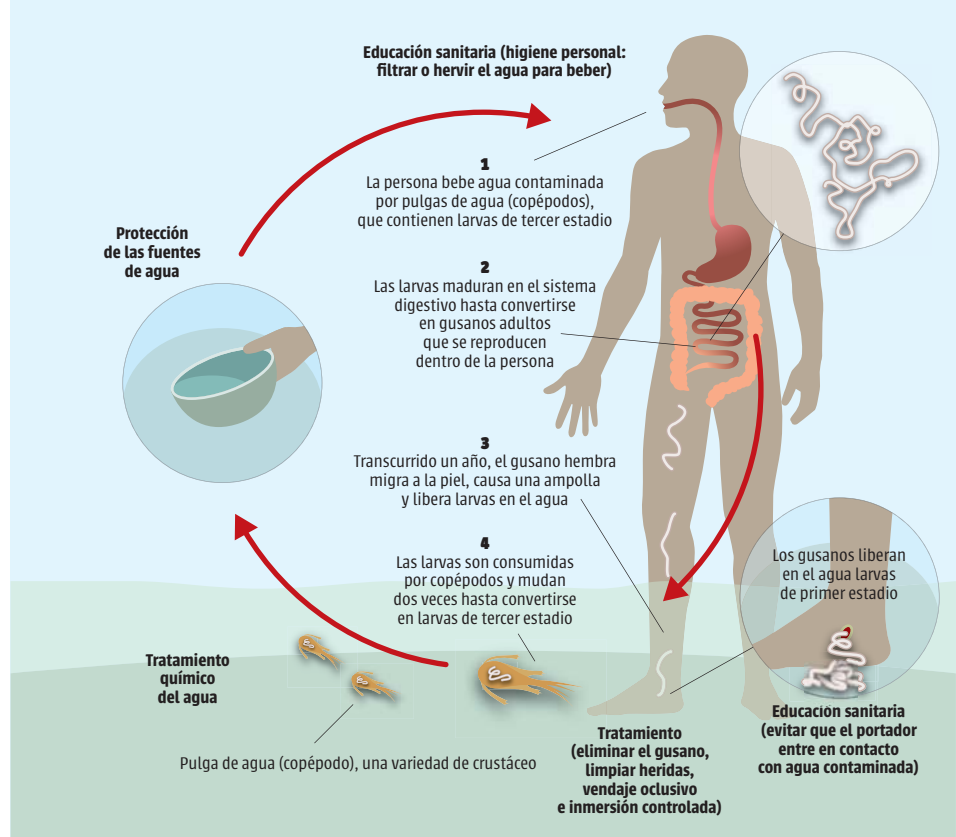
### Próximo objetivo, la dracunculiasis

En caso de que no sea la polio, y siempre que el calendario de la OMS no se equivoque, la se-

gunda enfermedad erradicada tras la viruela será la dracunculiasis, una dolencia provocada por un parásito que algunos expertos identifican con las “serpientes ardientes” que en la Biblia atacan al pueblo guiado por Moisés. Este gusano se introduce en el cuerpo humano al beber agua contaminada. Un año después, el parásito, entonces con un metro de longitud y el grosor de un espagueti, abre un agujero en la piel de la persona infectada, normalmente en una pierna, y asoma la cabeza. El dolor y las infecciones asociadas a la herida pueden incapacitar a la víctima e impedir que vaya a la escuela o a trabajar. En definitiva, destroran su vida.

El epidemiólogo puertorriqueño Ernesto Ruiz-Tiben lleva más de treinta años enfrentándose al gusano de Guinea, causante de la dracunculiasis. Es el director del programa de erradicación del parásito en el Centro Carter, la organización sin ánimo de lucro fundada en 1982 por el expresidente de Estados Unidos Jimmy Carter y su esposa Rosalynn Smith.

### El ciclo de la dracunculiasis y formas de prevenir la enfermedad



El Centro Carter, apoyado por la OMS, ha puesto contra las cuerdas al gusano. En 1986 se estimaron unos 3,5 millones de casos de dracunculiasis en 21 países de África y Asia,

mientras que hoy la incidencia se ha reducido en un 99,99%. En 2012 solo se registraron 542, la gran mayoría en Sudán del Sur y el resto repartidos entre Chad, Mali y Etiopía. En los



El epidemiólogo puertorriqueño Ernesto Ruiz-Tiben (izquierda), durante una campaña en Ghana. A la derecha, el gusano de Guinea, parecido a un espagueti, asoma por el pie de un afectado en Savelugu (Ghana). / CENTRO CARTER / E. STAUB / L. GUBB



primeros 45 días de 2013, por primera vez desde que comenzó la campaña de erradicación en 1986, no se ha detectado ni un solo caso.

Como explica Ruiz-Tiben, el ataque contra el gusano se ha producido sin armas, ya que estas no existen. “Si hubiésemos tenido medicamentos para tratar la enfermedad, habría sido más fácil”, lamenta el epidemiólogo. Ni las farmacéuticas buscaron un fármaco que jamás iban a rentabilizar económicamente ni los organismos públicos de investigación lograron encontrar un remedio contra la dracunculiasis. El propio Ruiz-Tiben, cuando trabajaba en los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos, participó en la búsqueda

de un fármaco eficaz contra el gusano de Guinea. “Probamos varios antiparasitarios y ninguno de ellos tuvo efecto contra este gusano”, recuerda.

A falta de espada, Ruiz-Tiben y su equipo sacaron el escudo. Miles de trabajadores sanitarios han enseñando a la población de las aldeas más



**En 1986 se estimaron unos 3,5 millones de casos de dracunculiasis en 21 países de África y Asia, mientras que hoy la incidencia se ha reducido en un 99,99%.**

afectadas a colar el agua antes de beberla y, para ello, les han repartido sencillos filtros de nailon. El Centro para el Desarrollo Global, un laboratorio de ideas contra la pobreza con

Gracias a unos sencillos filtros de agua, la incidencia de la dracunculiasis ha descendido a niveles mínimos. / CENTRO CARTER / L. GUBB

sede en Washington, calcula que esta campaña ha evitado ochenta millones de infecciones de dracunculiasis desde 1986.

“En cualquier esfuerzo de erradicación, los pocos casos finales son siempre los más difíciles y costosos de eliminar, pero no podemos parar hasta que el trabajo esté acabado. Si dejamos tan solo un caso, esta terrible enfermedad puede volver a infligir un sufrimiento inmenso en algunas de las personas y comunidades más desatendidas del mundo”, alertó en enero el médico estadounidense Donald R. Hopkins, vicepresidente de los programas de salud del Centro Carter y colega de Ruiz-Tiben en la lucha contra el gusano. Hopkins también sabe de lo que habla, pues dirigió con éxito el programa de erradicación de la viruela en Sierra Leona.

### Espanoles contra el pian

Tanto Hopkins como Ruiz-Tiben tienen muy presente el caso del pian, una enfermedad causada por una bacteria que primero forma en la piel úlceras redondas como monedas, pero que puede llegar a deformar los huesos o a borrar la cara de una persona. En 1952, la OMS y UNICEF declararon la guerra al pian, que por entonces afectaba a unos cincuenta millones de personas. Los dos organismos comenzaron una campaña de tratamiento masivo con pinchazos de penicilina a la población de 46 países. En 1964, el número de casos había caído un 95% y el sistema de vigilancia y control se relajó. En consecuencia, la bacteria volvió a campar a sus anchas. “Es más difícil que resurja el gusano de Guinea, pero es cierto que podría ocu-



El médico español Oriol Mitjà posa con un niño en la isla de Lihir (Papúa Nueva Guinea). A la derecha, úlcera roja con forma de moneda, característica del pian. / ORIOL MITJÀ



“La primera vez que vi un caso de pian fue en 2008, cuando fui a la isla de Lihir, en Papúa



Los médicos españoles Oriol Mitjà y Quique Bassat demostraron en 2012 que una simple pastilla de azitromizina basta para curar el pian.

Nueva Guinea, por un proyecto contra la malaria”, rememora Bassat. “No lo entendí como un problema de salud pública grave”, admite. Pero su compañero Oriol Mitjà, que todos los días pasaba consulta en el Hospital de Lihir, se percató enseñada de que uno de cada diez niños que llegaba a las instalaciones presentaba las úlceras

rojas del pian. “Me dijo que había que hacer algo”, recuerda Bassat. Y vaya si lo hicieron.

El 10 de enero de 2012, Mitjà y Bassat presentaron los resultados de un ensayo clínico que demostraba que una simple pastilla de azitromizina –un antibiótico que en España se emplea contra la bronquitis e infecciones de garganta– bastaba para curar la enfermedad. En la investigación participaron 250 niños de hasta quince años, todos aquejados por el pian. A los seis meses de tragarse la píldora, el 96% se había curado plenamente. Los resultados de las pruebas se publicaron en la revista médica *The Lancet*, una de las más prestigiosas del mundo, y espolearon a los expertos de la OMS. Con la pastilla en la mano, ya no había excusas para mantener al medio millón de enfermos que existe en la Tierra, en su mayoría menores de quince años, retorcidos de dolor por los estragos de la bacteria en su piel y en sus huesos. La organización se ha puesto como objetivo erradicar el pian en 2020 con un tratamiento masivo de azitromizina. Los pocos chavales que sigan presentando síntomas tras ingerir el fármaco recibirán un segundo tratamiento. Y así hasta que no quede ningún enfermo.

Bassat reconoce que es escéptico con la fecha: “Estas enfermedades se ponen de moda, pero solo duran seis meses en el candilero”. Frente al olvido queda la lucha de estos asesinos de enfermedades, que no pararán hasta que los últimos afectados de la historia, ya curados, posen sonrientes para una fotografía, como hizo Ali Maow Maalin tras superar la viruela.

rrir algo similar a lo que sucedió con el pian”, advierte Ruiz-Tiben, que no parará su lucha hasta que haya exterminado al último gusano.

El epidemiólogo belga André Meheus participó en la ofensiva contra el pian de los años cincuenta y sesenta del pasado siglo, cuando el enemigo quedó prácticamente acorralado. “El mundo debería haber asestado entonces un golpe definitivo al pian”, afirmó medio siglo después Meheus, que el pasado mes de marzo, junto a los responsables de los departamentos de control de enfermedades de Papúa Nueva Guinea, Islas Salomón, Indonesia, Ghana, Congo y otros países afectados, acudió a una reunión convocada por la OMS en Ginebra para definir la estrategia de erradicación del pian. En ella tienen mucho que decir dos españoles: Oriol Mitjà y Quique Bassat, médicos del Centro de Investigación en Salud Internacional de Barcelona.



La supervivencia de las tortugas marinas africanas y americanas se decide en las costas andaluzas

## *Un viaje sin retorno*

Surcan miles de kilómetros, uniendo continentes desde Norteamérica y África hasta las costas españolas del Mediterráneo. Aquí llegan, desovan y alumbran una nueva generación, llamada a regresar al punto de partida para repetir el ciclo biológico. Pero las tortugas boba, laúd y lora no lo tienen fácil en este trepidante viaje por la continuidad de sus especies. Deben superar obstáculos tan complicados como la pesca indiscriminada, la caza para consumo humano, el vertido de residuos al mar o el cambio climático. Por ello, el trabajo de organismos como el CSIC resulta clave para que las tortugas marinas esquiven esta globalización del impacto ambiental y consigan volver a Florida y Cabo Verde. POR *José María Montero*, PERIODISTA AMBIENTAL

Ejemplar juvenil de tortuga boba, fotografiado por el equipo de la Estación Biológica de Doñana. / HÉCTOR GARRIDO (CSIC)



tumbra a anidar en las costas del Caribe, en el litoral africano atlántico y en contados enclaves del Mediterráneo oriental. En algunos casos, como ocurre en las playas de Florida (EE.UU.), las zonas donde las tortugas ponen sus nidos están estrictamente protegidas. Aun así, los expertos norteamericanos han certificado que, en los últimos años, el número de hembras anidantes ha sufrido un brusco descenso que llega al 50%, lo que supone el práctico colapso de estas poblaciones.



Entre el 75 y el 80% de las tortugas bobas muertas o varadas en Andalucía proceden de América.

La causa del problema no se encuentra en aguas americanas, sino que curiosamente se localiza al otro lado del Atlántico. Gracias al empleo de marcadores genéticos, investigadores de la Estación Biológica de Doñana (EBD), centro dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), demostraron que miles de ejemplares juveniles de tortuga boba nacidos en Florida migran hacia

las costas españolas, donde permanecen hasta alcanzar la madurez sexual. Es entonces cuando emprenden el camino de regreso a sus lugares de origen para volver a reproducirse. Idéntico fenómeno se produce con las tortugas concebidas en Cabo Verde o con las que provienen de las costas de Grecia, Turquía o Libia.

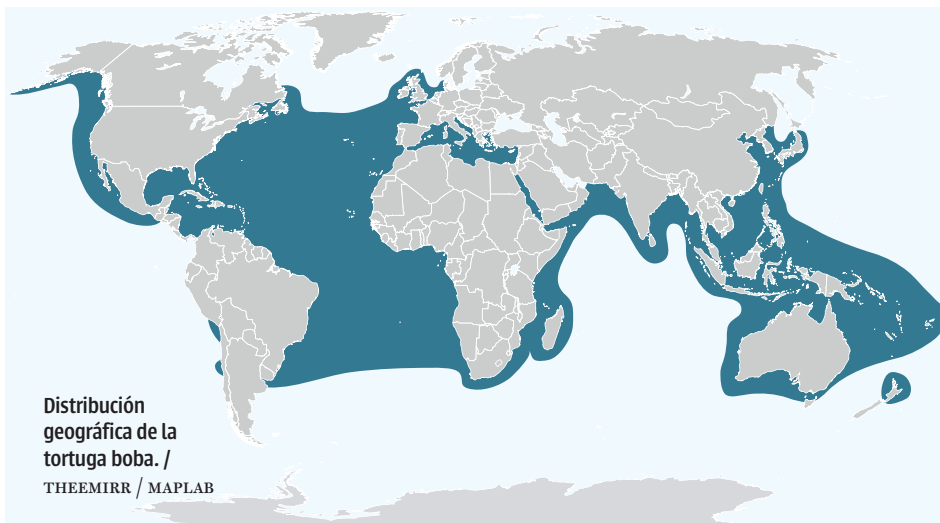
Las que llegan desde el Atlántico logran cruzar el estrecho de Gibraltar, aprovechando las corrientes marinas dominantes. Así pueblan, en grandes cantidades y junto a sus congéneres del Mediterráneo oriental, un sector delimitado por las costas de Andalucía, Levante, Baleares, Italia, Argelia y Marruecos. También en este caso hay evidencias científicas de dicha concentración: entre el 75 y el 80% de las tortugas bobas muertas o varadas en las costas andaluzas proceden del continente americano, tal como han concluido los investigadores de la EBD, en colaboración con especialistas de la Universidad Autónoma de Barcelona.

### La presión pesquera

Los cuidados que se le prestan a la especie en sus remotos lu-

NO ES SENCILLO sensibilizar a una persona hablándole de animales a los que nunca ha visto de cerca, o describiéndole lugares que jamás ha pisado. Sin embargo, los documentales de naturaleza cumplen esta función y han conseguido, por ejemplo, instalar en el imaginario colectivo escenas tan poderosas como las protagonizadas por grandes tortugas marinas desovando en una playa tropical desierta; o por sus pequeñas crías arrastrándose por la arena, sorteando todo tipo de peligros, hasta zambullirse en una ola.

La tortuga boba (*Caretta caretta*) es uno de estos curiosos reptiles con caparazón que acos-



## TORTUGAS

gares de cría y la tranquilidad de la que disponen en playas aún vírgenes son factores que no garantizan su supervivencia. La mortalidad por causa no natural de los jóvenes ejemplares que arriban al Mediterráneo es elevadísima. Los cálculos más fiables, elaborados por el Instituto Español de Oceanografía, cifran en torno a 20.000 los juveniles de tortuga boba que cada año mueren en el Mediterráneo. Esto explicaría el colapso de las zonas de anidación de Florida, adonde cada vez retornan menos hembras maduras, algo que también está ocurriendo en Cabo Verde.

Los motivos de esta sangría son múltiples, pero, entre todos, destaca la pesca accidental provocada por el uso de artes no selectivas, como el palangre o las redes de deriva. “Desgraciadamente –lamenta Adolfo Marco, uno de los miembros de la EBD que lideró las investigaciones en esta parcela–, nos enfrentamos a una fuente de mortalidad que no tiene visos de resolverse a corto plazo, ya que, como consecuencia de la crisis en el sector pesquero, se busca un mayor rendimiento de estas artes, multiplicando el número de anzuelos o aumentando la longitud de las redes”. De hecho, un solo barco palangrero puede llegar a usar en un solo lance entre 2.000 y 5.000 anzuelos, cuando la tasa de captura accidental en aguas españolas, considerada entre las más elevadas del mundo, registra picos que superan las tres tortugas marinas por cada 1.000 anzuelos.

Las redes de deriva, también conocidas como “muros de la muerte”, están diseñadas para interceptar en alta mar los grandes bancos de especies

pelágicas, como peces espada o bonitos, durante sus movimientos migratorios. Por razones de rentabilidad económica y facilidad de operación, a veces se fabrican con un tamaño descomunal –algunas superan los 50 kilómetros de longitud y los 30 metros de profundidad–. Estas redes, simplemente suspendidas en el agua, provocan una captura indiscriminada de animales no siempre buscados por los pescadores. Miles de mamíferos marinos, tortugas, tiburones y hasta aves quedan atrapadas en este tipo de mallas, cuya prohibición en todo el mundo vienen reclamando desde hace años distintas entidades conservacionistas.

A comienzos de la década de los ochenta del siglo pasado, pescadores italianos introdujeron en Europa las redes de deriva y, en poco tiempo, aparecieron en España. Una contundente campaña de Greenpeace persiguió con sus buques a estos pesqueros en aguas an-



Puesta de huevos de una tortuga boba en las playas de Boavista (Cabo Verde). / ADOLFO MARCO (CSIC)

Las redes de deriva adaptadas para tortugas permiten escapar a los ejemplares atrapados. / NOAA

daluzas. La iniciativa ecologista sirvió para que, en 1987, el Gobierno español prohibiera el uso de estos artefactos y se convirtiera, además, en uno de los países más activos a la hora de convencer a las autoridades de la Unión Europea, que, finalmente, declaró ilegal esta técnica. Por desgracia, estas artes siguen utilizándose en aguas que escapan a la jurisdicción de Bruselas.





### Plásticos 'asesinos'

Pero no todos los problemas se concentran en la pesca insostenible. Las tortugas marinas, al igual que sucede con los delfines, deambulan por la delgada frontera que separa el mar del cielo. La interfase agua-aire, su territorio natural, es la que padece mayores alteraciones debidas a la contaminación: numerosas sustancias poco densas se acumulan en las capas superficiales y terminan por afectarlas.

La proliferación de basuras, que aparentemente solo ocasionan daños estéticos, también incide en la supervivencia de estas especies protegidas por la ley. Las tortugas, por ejem-

Tortuga boba preparando el nido tras la puesta de huevos. Abajo, un ejemplar se adentra en el océano Atlántico, en la isla de Boavista (Cabo Verde). / ADOLFO MARCO (CSIC)

plo, suelen confundir las bolsas de plástico con las medusas de las que se alimentan, error que les provoca la muerte al obstruir su sistema digestivo. La gravedad de esta forma de contaminación no debe menospreciarse, como señala un informe de Greenpeace: "El 30% de los peces del Mediterráneo que se



Las tortugas suelen confundir las bolsas de plástico con las medusas de las que se alimentan.

han examinado para detallar el impacto de los residuos urbanos tenía restos de plástico en los intestinos".

Otros tipos de tortuga, como la laúd –la más grande del mundo con 2 metros de longitud y hasta 800 kilos de peso– o la lora –la más amenazada por riesgo de extinción–, se ven afectadas por los mismos peligros, puesto que también visitan en sus migraciones las costas andaluzas y mediterráneas. En palabras de Adolfo Marco, "nos encontramos ante un claro ejemplo de cómo los impactos ambientales se han globalizado y, para neutralizarlos, solo cabe fortalecer la cooperación internacional".

### Tortugas andaluzas

Mientras desde algunas instituciones se esfuerzan en aplicar



Pesaje de tortugas recién nacidas en la Estación Biológica de Doñana. A la derecha, eclosión controlada de huevos para evaluar el efecto de la temperatura de incubación en el sexo y la salud de las crías. / HÉCTOR GARRIDO (CSIC)



Traslación de nidos de tortuga boba de Cabo Verde en la playa del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería). / HÉCTOR GARRIDO (CSIC)

estrategias que reduzcan el impacto de las pesquerías, otros especialistas, como los de la EBD, tratan de mejorar el éxito reproductor de estas especies. Para ello trabajan incluso en acciones que ayuden a restaurar la anidación de tortugas marinas en algunas playas de Andalucía.

En julio de 2001 se documentó, por primera vez en España, la puesta de forma natural de una tortuga boba. Fue en una playa del municipio almeriense de Vera y, gracias a un plan para la protección del nido coordinado por la Conse-

jería de Medio Ambiente (CMA) de la Junta de Andalucía, los huevos que el animal enterró en la arena eclosionaron tres meses después: 42 crías nacieron y volvieron al mar. El suceso fue una llamada a la esperanza que tanto científicos como políticos se decidieron a aprovechar.

Desde 2007, la CMA, en colaboración con el CSIC y las autoridades de Cabo Verde, desarrolla un ambicioso programa de reintroducción de la tortuga boba en el litoral andaluz. Huevos de esta especie recolectados en Cabo Verde son

enterrados en playas escogidas del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Almería), para que se abran de manera natural o bien se incuben de modo artificial. Hasta el otoño de 2010, y gracias a este plan, habían sido liberadas en aguas almerienses cerca de 900 crías de tortuga boba y el éxito de eclosión se situaba en el 88%. Tal como aseguran los técnicos de la CMA, “el balance del proyecto de reintroducción resulta muy prometedor hasta el momento, aunque sus resultados se verán a largo plazo, ya que las previsiones apuntan a que las tortugas tardarán entre quince y veinte años en volver a las playas donde nacieron para depositar sus propios huevos”.



El plan de anidación logró liberar en aguas almerienses cerca de 900 crías.

A pesar del respaldo científico prestado por la EBD y el optimismo manifestado por la Administración ambiental andaluza, esta compleja operación ha desencadenado se-



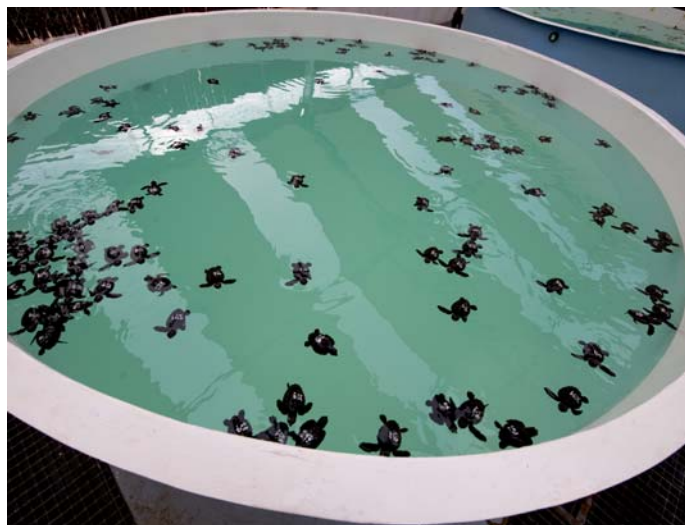
veras críticas por parte de algunos sectores conservacionistas. En opinión de colectivos como Ecologistas en Acción, hay una gran diferencia genética entre las tortugas de Cabo Verde y las que habitan en aguas españolas, de manera que estas actividades de reintroducción podrían estar suponiendo la entrada de especies alóctonas potencialmente responsables de una contaminación genética. Al mismo tiempo –denuncian estos grupos–, esta técnica exige la manipulación de especies amparadas por el Convenio sobre

El Centro de Gestión del Medio Marino Andaluz acoge crías en cautividad para evitar la mortalidad por depredación en el primer año de vida. A la derecha, tortugas recién nacidas abandonan la playa para adentrarse en mar abierto. / HÉCTOR GARRIDO (CSIC) / JUNTA DE ANDALUCÍA

el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, por sus siglas en inglés). Según dicho tratado, está prohibida la exportación-importación de ciertos animales en riesgo de extinción.

Lo cierto es que, al margen de este proyecto y de lo que ocurre en el litoral andaluz, en determinados enclaves del Mediterráneo oriental la tortuga boba sigue nidificando de forma estable, sin necesidad alguna de intervención humana, aunque no goza del amparo de una política de

conservación decidida. Pero hay otro factor en juego, como advierte Adolfo Marco, de la EBD: “El cambio climático también le está jugando una mala pasada a esta especie en sus zonas de reproducción de Grecia o Turquía, ya que la incubación de los nidos se está realizando a más de 31 grados, cuando la temperatura idónea es de 29”. En definitiva, y medido en términos de biodiversidad, el mundo es mucho más pequeño de lo que parece; y algunas especies no saben ni de distancias ni de fronteras.



Las impresoras en 3D, listas para diseñar y preparar 'delicatessen' en cualquier cocina

## Comida de impresión

Lo acaba de decir Barack Obama, presidente de Estados Unidos: "Las impresoras 3D tienen el potencial de revolucionar la forma en la que se hace casi todo". Gracias a ellas ya se reproducen complejas moléculas a partir de imágenes microscópicas y hasta fusiles de asalto desde una mera foto, algo que inquieta, y mucho, a la CIA. De momento, parece que su realidad más próxima las sitúa en las encimeras de las cocinas, listas para copiar creaciones como las que firman algunos de los mejores chefs españoles.  
POR *Concha Barrigós*

Postre de chocolate realizado por el chef Paco Morales con una impresora 3D. / GGLAB



COMO A MUCHOS aún les sonará a chino, conviene que este reportaje empiece por lo más elemental: ¿qué es una impresora 3D? Este ingenio no imprime fotos ni papel con texto, sino que realiza objetos tridimensionales de vidrio, metal o plástico a partir de diseños que antes solamente se podían ver de forma bidimensional en la pantalla del ordenador. Es decir, que el usuario puede convertir en realidad sus propias creaciones.

Los modelos comerciales son actualmente de dos tipos: de compactación, en los que una masa de polvo se va concentrando por estratos; y de adición o de inyección de polímeros, en donde el propio material se añade por capas.

Hasta la fecha, estas impresoras se habían empleado en sectores como la arquitectura o en industrias como la fabricación de prótesis médicas, pero en los últimos años han empezado a conquistar un ámbito que a todos nos resulta mucho más familiar: la cocina. Su elevado coste aún no las ha hecho accesibles para todos los bolsillos, pero es una mera cuestión de tiempo; baste como ejemplo el de los microondas, que en un primer momento solo se veían en restaurantes y cocinas industriales, mientras que hoy son un electrodoméstico habitual en la mayoría de hogares.

En un futuro no muy lejano, las impresoras 3D podrían costar entre 300 y 400 euros y sus fabricantes no serían otros que gigantes multinacionales como HP, Epson o Canon, que acabarán absorbiendo a las pequeñas empresas americanas y europeas que, desde hace unos años, han ve-

nido desarrollando los primeros prototipos de estos fabulosos artilugios.

### Replicar formatos de comida

En 2010, un equipo del Laboratorio de Síntesis Computacional de la universidad estadounidense de Cornell (CCSL, en sus siglas en inglés) dio el pistoletazo de salida al proyecto Fab@Home, cuyo objetivo consiste en desarrollar una impresora que pueda replicar comida. Sin embargo, esta curiosa idea ya la había sugerido en 2003 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, en sus siglas en inglés).

Mientras que los investigadores del MIT han trabajado básicamente en el concepto y el *software* de la impresión de comida, los expertos del Fab@Home trabajan en la creación de jeringas con las que reproducir un gran rango de alimentos. El material crudo –las *tintas* o los *tóneres*, por así decirlo– que

puede usarse para imprimir la comida se encuentra ahora limitado a lo que pueda introducirse dentro de la máquina, casi siempre versiones líquidas o derretidas de ingredientes como el chocolate, la masa de tarta, el queso o la mantequilla, pero ya se está experimentado con hidrocoloides, sustancias que forman geles



Para los chefs, la cocina con impresoras 3D es más sostenible, pues no requiere ingentes cantidades de ingredientes frescos y no genera basura.

La impresora 3D estampa los componentes por medio de una jeringa (izquierda) y luego el chef da a mano los últimos retoques (derecha). / GGLAB

cuando se mezclan con agua y que se emplean para espesar los alimentos.

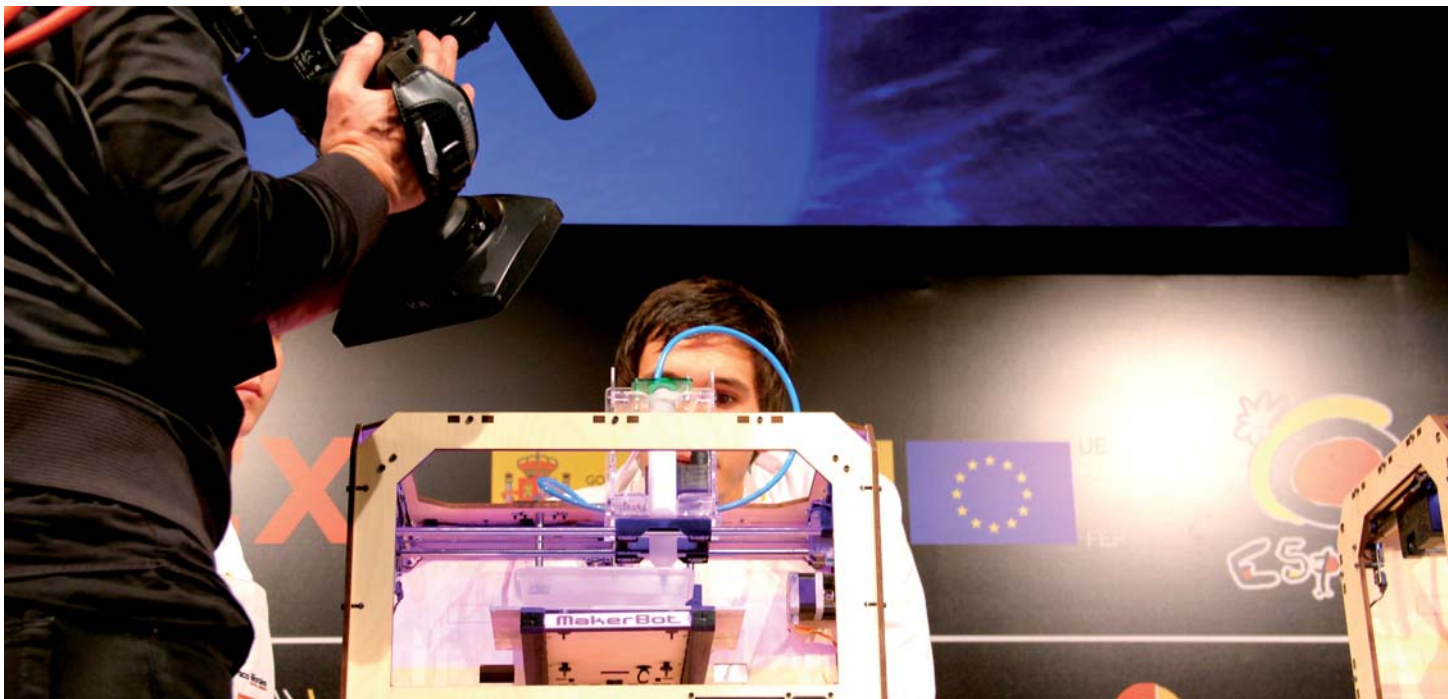
Además de las *tintas* con las que elaborar los diseños, las impresoras de comida requieren los esquemas de los alimentos deseados. Es decir, Fab-Apps. La máquina genera el producto, línea por línea y capa por capa, con un plan electró-

nico que especifica exactamente los materiales esenciales para el proyecto, creados con *software* de la ingeniería tradicional: el CAD, siglas en inglés de diseño asistido por ordenador.

Según defienden quienes ya las utilizan, estas impresoras son mucho más sostenibles, pues no requieren ingentes cantidades de ingredientes frescos y, además, no generan basura. El CCSL pronostica que, en el futuro, habrá chefs-CAD que ayudarán a la gente a diseñar sus propias exquisiteces: “Una vez inventado el plato, le darás a imprimir y la máquina te preguntará cuántas copias quieres de eso que es un diseño exclusivo”, aseguran desde el centro académico.

La clave, afirman, radica en cambiar el paradigma de lo que hoy entendemos por cocinar y, asimismo, del futuro de la producción alimenticia. Pensemos, por ejemplo, en un pastel de manzana casero para cuya elaboración no sea necesario





transportar la fruta, refrigerarla, envasarla y cocinarla, con el consiguiente ahorro que todo ello implica en transporte, envasado, mantenimiento o almacenaje.

### Los fogones españoles bullen

El ganador en 2011 del Campeonato de España de Jóvenes Cocineros, Paco Morales, además de alumno de Ferrán Adrià y Andoni Luis Aduriz,

Las impresoras 3D, nuevas estrellas de la cocina moderna. / GUÍA REPSOL

es el mago de los fogones del Hotel Ferrero de Bocairente (Valencia). Morales también es asesor culinario de la Hostería Palacete Rural la Seda de Murcia y, por si fuera poco,

## ¿Una cadena alimentaria sin eslabones?

El genio *techie* que nos invade amenaza con cambiar para siempre no solo la forma de preparar alimentos en nuestros hogares, sino toda la cadena alimentaria.

Grasa y músculo de vaca obtenidos del crecimiento de células madre en un cultivo de calcio fetal. Producir carne de este modo supone reducir un 96% las emisiones de gases invernadero en comparación con la ganadería tradicional, amén de usar un 45% menos de energía y solo un 1% de tierras y un 4% de agua que las empleadas en la producción convencional.

Tecnológicamente será posible reemplazar estos métodos clásicos, pero hay aspectos políticos y normativos que establecer antes de emprender la producción cultivada de alimentos. Los ganaderos y agricultores no se muestran a favor porque amenaza sus trabajos, pero la demanda global de comida está creciendo y esa forma de obtención podría satisfacerla.

El avance más importante en el desarrollo sostenible parece ser la nanotecnología. En Alemania, la empresa Aquanova ha desarrollado un sistema llamado NovaSOL para introducir nutrientes en alimentos y bebidas, a fin de hacerlos más absorbibles. A su vez, la compañía química BASF está haciendo lo mismo con el licopeno del tomate, empleado para combatir el cáncer. En Australia, la microencapsulación es usada para disimular el

sabor y el olor del aceite de atún en los alimentos que incorporan Omega-3.

Pero donde la nanotecnología tiene su mayor potencial no es en los beneficios nutricionales, sino en lo que se denomina *smart packaging* —envasado inteligente—, que podría acabar con la basura derivada de la comida. El envoltorio del alimento incluye un “chivato”, es decir, una etiqueta con una “X” invisible grabada en una partícula de plata. Cuando la comida, especialmente la carne, comienza a deteriorarse debido a la actividad de los microbios, se libera sulfuro de hidrógeno —ácido sulfhídrico— y este reacciona con la plata, con lo que la “X” se vuelve visible. Igualmente prometedores son los pesticidas y fertilizantes nanofórmulados. Comparadas con el peso, las partículas nano tienen mucha más superficie que los materiales convencionales, por lo que son más reactivas y se necesitan menos para cubrir una gran área.

Un inconveniente es la seguridad, ya que aún se sabe relativamente poco sobre la ingestión de nanomateriales, y otro es la oposición del público. Sin embargo, la gente parece más proclive a aceptar las nanocomidas si estas tienen un efecto beneficioso sobre su salud, por más que el sabor se resienta y apenas guarde un remoto parecido con los alimentos que acostumbramos a comer.



Paco Morales y José Ramón Tramoyeres (primero y segundo por la derecha), con su impresora 3D. / MADRID FUSIÓN

un inventor amante de la tecnología.

Desde su empresa Gastronomía y Arquitectura, este cordobés se ha asociado con el estudio Green Geometry Lab (GGLAB), donde trabaja otro curioso tecnólogo, el arquitecto José Ramón Tramoyeres. Juntos han ideado una impresora de comida y vajilla que ha fabricado el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (IAAC), a través de Luis Fraguada.

La máquina funciona como cualquier otro aparato que pueda depositar material y, de hecho, hay varias impresoras que se pueden comprar por unos 1.000 o 2.000 euros, preparadas para verter –por medio de un extrusor– plásticos ABS o PLA y capaces de construir de la nada un modelo por capas. “Usamos la misma tecnología, pero en vez de depositar plástico, depositamos comida”, resume Fraguada, cuyo ingenio es la adaptación de una máquina norteamericana de diseño abierto –MakerBot–, formada por componentes que se po-

dían comprar por separado y modificar al gusto del chef. Para cocinar, su impresora, en lugar del extrusor, lleva una jeringa por la que salen los distintos productos grasos y gelificados, además de un compresor de aire y una guía.

En su proyecto, Morales y los técnicos trabajan sin moldes y es el propio aparato el que diseña lo que precisan en el momento en que lo de-

goza de una estrella Michelin.

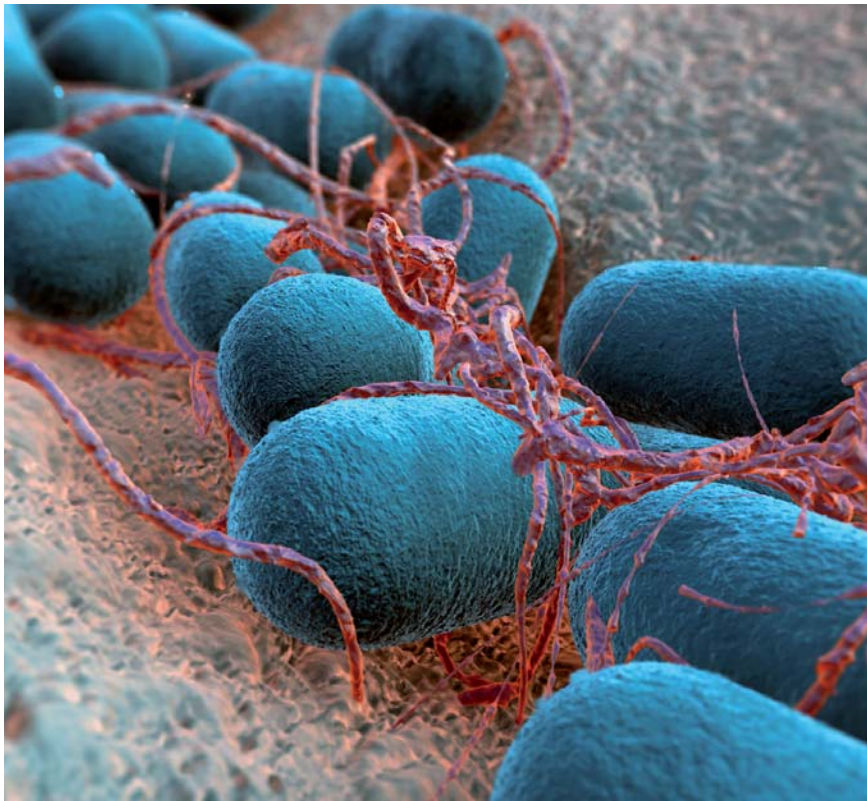
El cocinero y Tramoyeres presentaron su invento en la última edición de Madrid Fusión. Según sostienen, se trata de un objeto propio de la tercera revolución industrial, toda vez que “diseñador, cliente y fabricante son la misma persona”.

Figuras de chocolate, de queso, de purés dulces y salados, de confitura... Todo sale de la máquina directamente al plato, ya se encuentre este en la cocina o en la mesa a la vista de los comensales. Y así lo demostraron sus creadores en la pasada Bienal de Estambul, en la que su propuesta de un carrito de postres impresionantes –en los dos sentidos– obtuvo uno de los premios en liza.

Además, esperan comercializar en breve los cartuchos cargados con alimentos en forma de puré denso, como *foie gras*, calabaza o queso. Con ellos se pueden crear diseños comestibles y con volumen, caso de los *noodles* que presentaron en la feria de la ciudad turca. ◀

▼▼  
El cocinero Paco Morales y el arquitecto José Ramón Tramoyeres diseñaron una impresora capaz de hacer figuras de chocolate, de queso o de purés.

sean. En el esquema se incluyen datos de formas espontáneas y perfiles escaneados de figuras preexistentes, ya sea una fuente –la máquina tarda en hacer una pieza entre una y catorce horas– o su contenido. Así se *fabrica*, por ejemplo, la leche ahumada con cacao especiado que ofrece en su menú el Hotel Ferrero, que



Colonia de *Escherichia coli*, bacteria que ha protagonizado el estudio. / DEPOSITPHOTOS

## Bacterias que se suicidan para beneficiar a su colonia microbiana

**LOS ORGANISMOS MÁS SENCILLOS QUE SE CONOCEN**, las bacterias, muestran un comportamiento altruista en determinadas situaciones: son capaces de poner en marcha un mecanismo interno de muerte programada de la célula cuando se encuentran en condiciones ambientales que amenazan al conjunto de su comunidad bacteriana. Así lo ha demostrado un experimento llevado a cabo por científicos de la Universidad de Duke (EE. UU.), publicado en la revista científica digital *Molecular Systems Biology*.

Desde hace tiempo se había observado que situaciones estresantes, como la escasez de nutrientes y aminoácidos o la presencia de moléculas competidoras, desataban una respuesta de muerte programada en algunas bacterias, sin que se supiera si existía alguna razón que justificase dicho comportamiento. En las células de los organismos

pluricelulares, como las de los humanos, existe también un mecanismo de suicidio celular, conocido como apoptosis, que se pone en marcha cuando la célula no funciona adecuadamente, con el fin de no perjudicar al organismo.

Lo que el experimento ha puesto de manifiesto es que el objetivo de las bacterias suicidas es también ayudar al resto de sus congéneres a sobrevivir en condiciones de riesgo. Los científicos, liderados por Yu Tanouchi, del Departamento de Ingeniería Biomédica de la citada universidad, generaron por ingeniería genética unas bacterias *Escherichia coli* programadas para producir una enzima protectora contra un determinado antibiótico. En presencia del fármaco, las bacterias rompían su pared celular para emitir dicha sustancia y proteger a sus compañeras, aunque ello suponía su muerte.

### ► FRONTERAS

## Vigilando el ciclo del agua desde el espacio

Grandes zonas de agua fría salpican la cálida corriente del Golfo, mientras que otras de agua caliente lo hacen en la corriente gélida del Labrador. Datos como estos, obtenidos por el satélite europeo *SMOS*, están ayudando a conocer mejor la compleja dinámica de las ma-



El satélite *SMOS* orbitando la Tierra. / ESA

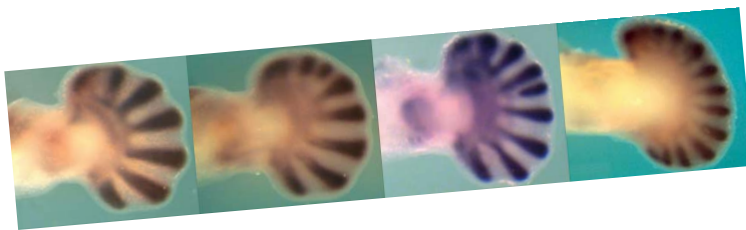
sas de agua de los mares, de crucial importancia en el clima de nuestro planeta. Tras cumplir los tres años de actividad previstos en su diseño, la Agencia Espacial Europea ha decidido prorrogar la vida útil del *SMOS*, en atención a la importancia de los datos que suministra y del perfecto estado del satélite y su equipamiento técnico.

Lanzado en 2009, el *SMOS* estudia la humedad de los suelos terrestres y la salinidad de los océanos. Mediante esos parámetros es capaz de mostrar la evolución del ciclo del agua. La salinidad, por ejemplo, permite diferenciar masas de agua de distinta procedencia y su interacción. La corriente del Golfo, que nace en el Caribe y lleva calor a la costa europea, converge con la del Labrador, que desciende desde las zonas polares y forma gradientes con influencia en ambas orillas del Atlántico norte.

## ► TOMA NOTA

## Descrito el mecanismo de formación de los dedos

Uno de los científicos más destacados del siglo XX, el matemático británico Alan Turing, propuso en 1952 un modelo que permitía explicar la formación de ciertas estructuras biológicas repetitivas. Seis décadas después, científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y del Centro de Regulación Genómica de Barcelona han utilizado con éxito ese modelo para descri-



frar, en la revista *Science*, el patrón molecular implicado en la formación de los dedos de los tetrápodos, los vertebrados de cuatro extremidades.

Según este modelo, denominado de reacción-difusión o tipo Turing, dos moléculas –una activadora y otra inhibidora– interaccionan entre sí a la vez que se difunden y acababan generando patrones periódicos de forma espontánea.

Con este mecanismo matemático se han explicado estructuras comunes en la naturaleza, como las rayas de las cebras, los dibujos de las caracolas o la pigmentación en los peces.

“Los dedos pueden considerarse como estructuras repetitivas, cuya formación podría responder a este modelo, que predice que, alterando el parámetro correcto, se obtienen patrones de dedos que varían en

número y grosor”, señala Marian Ros, del Instituto de Biomedicina y Biotecnología de Cantabria. Para comprobar la hipótesis, los investigadores realizaron análisis genéticos de ratones con una mutación del gen *Gli3*, que causa polidactilia –exceso de dedos–, y trabajaron con ratones mutantes modulando diferentes genes *Hox* –que dirigen el desarrollo de las partes del organismo–, lo que causó un incremento progresivo del número de dedos, con ejemplares de hasta 14 apéndices.



## ► AL DÍA

## La música y su impacto en el cuerpo y la mente

La música es una de las manifestaciones culturales más sorprendentes y misteriosas. Su origen se pierde en el tiempo, ya que ha estado presente en todas las civilizaciones y las flautas más antiguas que se conocen tienen 40.000 años. Alrededor de este arte surgen numerosas preguntas, como el origen y aprendizaje de las habilidades musicales, los mecanismos emocionales que despierta, su papel como medio de comunicación, sus efectos sobre el desarrollo neuronal y su relación con los movimientos del cuerpo a través del baile. Para responder a muchas de las preguntas que suscita, en ámbitos tan diferentes como la

neurociencia, la antropología o las matemáticas, el museo Cosmocaixa de Barcelona está desarrollando un ciclo de conferencias impartidas por especialistas de todo el mundo.

► Próximas citas:

► Jueves 9 de mayo - 19.00 h

**La fascinación del ritmo: cómo el sonido y el cuerpo se combinan para crear la música**  
Virginia Penhune, *de la Universidad de Concordia, Montreal (Canadá)*.

► Martes 14 de mayo - 19.00 h

**Evolución del habla y la música: de los monos a los humanos**

Josef Rauschecker, *del Centro Médico de la Universidad de Georgetown (EE. UU.)*.

► Martes 4 de junio - 19.00 h

**¿A dónde se dirige la investigación en música?**  
Mesa redonda.

## ► IMPRESCINDIBLE

## Neurociencia para Julia

Xurxo Mariño

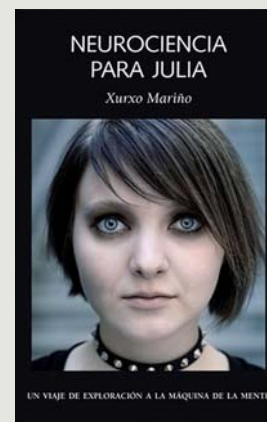
Colección Las dos culturas

Editorial Laetoli

Pamplona, 2012

Pensar, hablar, moverse, coger cosas, leer, sentir, comer, recordar, escuchar música, jugar, amar, odiar... Todo cuanto hacemos, tanto física como mentalmente, está controlado por esa máquina que habita en nuestro cráneo y que apenas pesa 1,4 kilos: el cerebro. Xurxo Mariño (Lugo, 1969), neurofisiólogo del Departamento de Medicina de la Universidad de La Coruña, nos invita a un viaje al interior de este órgano para conocerlo mejor y responder a cuestiones que nos asaltan con frecuencia: los efectos de las drogas, la inteligencia de los animales, la realidad y la percepción, los límites de las máquinas pensantes, la interpretación de los sueños... Respuestas que, muchas veces, son aún incompletas e hipotéticas, porque la neurociencia apenas está dando sus primeros pasos y la comprensión del sistema nervioso es el gran reto de la ciencia del siglo XXI, y no está claro que algún día podamos llegar a entenderlo por completo.

El libro está escrito de forma amena y fácilmente digerible, pues no en vano su autor acumula ya una notable experiencia en actividades de divulgación científica que, en 2011, le hicieron merecedor del I Premio FECYT de Comunicación Científica, concretamente en el apartado del Premio especial del jurado.





► A UN CLIC

## Beautiful planet Earth

Las fotos más espectaculares de nuestro planeta a un clic.

## Ciencia al cubo

Para seguir la actividad del programa de Radio 5 en el que América Valenzuela ofrece las historias más variopintas del mundo de la ciencia.

## Materia

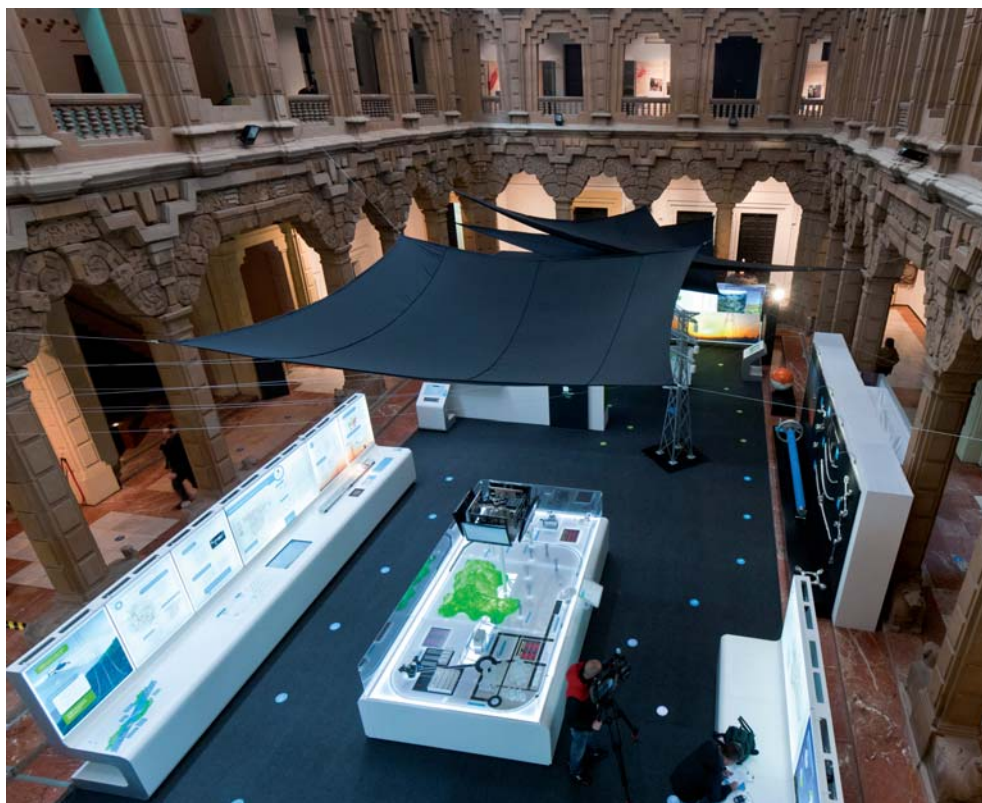
Reportajes sobre ciencia, salud y medio ambiente realizados por un grupo de reconocidos profesionales de la comunicación.

## ► BITS



## ► HACE 100 AÑOS Nacen los isótopos

En 1913 se conocía casi medio centenar de sustancias químicas nuevas, candidatas a ser incorporadas a la tabla periódica, pero solo había una docena de casillas vacías. Entonces, el químico británico Frederick Soddy propuso que algunas casillas podían estar ocupadas por más de una sustancia de distinto peso, pero de semejante comportamiento químico. Para designarlas propuso la palabra isótopo, que en griego significa “en el mismo lugar”.



Este centro sevillano del CSIC ha sido remodelado para continuar su misión divulgativa. / CSIC

## La Casa de la Ciencia de Sevilla reabre sus puertas

**RENOVADA EN ESPACIOS Y CONTENIDOS**, la Casa de la Ciencia de Sevilla vuelve a acercar la naturaleza y la investigación a todos los ciudadanos. Este centro, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), cuenta con la colaboración de la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía y está ubicado en el Pabellón de Perú de la Exposición Iberoamericana de 1929.

La nueva oferta expositiva consta de tres grandes muestras permanentes, con las que se pretende realizar una aproximación a otros tantos aspectos de la naturaleza andaluza. La primera de ellas se denomina *La mar de cetáceos* y está dedicada a los grandes pobladores del mar, los delfines y las ballenas, diez de cuyas especies habitan las aguas andaluzas gracias a la confluencia de la corriente cálida del Mediterráneo con las aguas más frescas del Atlántico. La muestra incluye esqueletos y reproducciones de estos animales.

*Invertebrados de Andalucía*, la segunda exposición permanente, descubre las especies más minúsculas de la comunidad autó-

noma, incluidas en el repertorio de los invertebrados. Aquí se exhiben ejemplares de esponjas, corales, arañas, cangrejos, escarabajos, lombrices, gusanos, libélulas y otros insectos, así como 19 esculturas de bronce.

Por último, *GEO Sevilla: explora 540 millones de años* es una exposición que rescata las peculiaridades de la geología de la zona. Además, el centro también contará en breve con un planetario que permitirá a los visitantes adentrarse en los confines del Universo. Junto a todo ello hay un espacio reservado a las exhibiciones temporales que inaugura *Una autopista detrás del enchufe*, organizada por Red Eléctrica de España. Mediante módulos interactivos, la exposición permite conocer cómo funciona el sistema que lleva la electricidad desde las centrales donde se genera hasta los hogares donde se consume, un proceso cuya complejidad seguramente sorprenderá a muchos curiosos. En su conjunto, la oferta de la Casa de la Ciencia intenta seducir a un público amplio, incluidas las personas que no se sienten atraídas por el conocimiento científico.

► EUREKA!

**2013, Año de las Matemáticas del Planeta Tierra**

Las matemáticas, clave para prevenir catástrofes naturales.

**PREDECIR LA EVOLUCIÓN** del cambio climático y de los fenómenos atmosféricos, optimizar el uso de los recursos naturales o conocer la evolución de procesos biológicos como la dispersión de enfermedades y la propagación de especies invasoras

son retos cruciales de nuestro tiempo, imposibles de afrontar sin la ayuda de las matemáticas. Por ello, la comunidad matemática internacional ha declarado el 2013 como el Año de las Matemáticas del Planeta Tierra (MPE2013, por sus siglas en in-

glés), inaugurado oficialmente el pasado 5 de marzo en París.

El objetivo de este programa es fomentar la investigación interdisciplinar entre matemáticos y expertos de las ciencias de la Tierra y de la vida y, por otro lado, dar a conocer al gran público el papel esencial que juegan las matemáticas en la resolución de los grandes desafíos globales.

La iniciativa ha recibido el apoyo de la Unesco, la Unión Matemática Internacional y el Consejo Internacional de la Ciencia, y se han sumado a ella un centenar de universidades y centros de investigación de todo el mundo. En España, el Instituto de Ciencias Matemáticas ha organizado un congreso científico sobre matemáticas y geociencias y un gran número de actividades divulgativas.

► EN RED

**Un viaje por el Universo**

De la distancia de Planck a los confines del Cosmos. Un viaje espectacular para vislumbrar las dimensiones del Universo, por los divulgadores del CERN.  
<http://htwins.net/scale2/?bordercolor=white>

**Todos los pájaros**

La web de la Sociedad Española de Ornitología, un sitio para conocer y apoyar la conservación de todas las aves que habitan España.  
<http://www.seo.org/>



Recreación del robot *Curiosity*, de misión en Marte. / NASA

**El robot *Curiosity***

La web que permite estar al día de las actividades del robot *Curiosity*, que desde agosto está recorriendo la superficie de Marte y aportando información sobre el planeta rojo.

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/msl/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html)



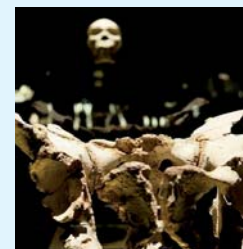
► CONECTA

**@divulgameteo**

Información y comentarios sobre la actualidad meteorológica de la mano de José Miguel Viñas, físico y comunicador científico.

**@madrimasd**

El servicio de la Comunidad de Madrid para acceder a las noticias y reportajes sobre ciencia aparecidas en diferentes medios, además de otros textos de opinión, documentación y blogs.

**@MiguelonMEH**

Un *Homo heidelbergensis* de Atapuerca, de hace 500.000 años, nos cuenta la vida que lleva en el Museo de la Evolución Humana de Burgos.

# Corazón positivo



Campo en Conesa (Tarragona). / ROBERTO BUENO

EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS, la pesadumbre, la tristeza y la desazón abaten con frecuencia el palpitar de nuestra sociedad. Noticias o realidades descorazonadoras llenan nuestras vidas. Pero siempre hay personas, como el autor de este lienzo rural, que tienen la energía para vivir de manera positiva y, además, el don de hacerlo con arte. Por amor a la Tierra, a la vida, a otra persona o vaya usted a saber por qué, un agricultor dibujó esta delectable obra con su tractor. Me siento agradecido al artista, pues hizo que me sorprendiera y encendió en mí una sonrisa amable que siempre vuelve cuando contemplo la imagen. *Roberto Bueno* ◀

ONE SMALL WESTINGHOUSE REACTOR

# Another giant step by the true leader in commercial nuclear energy



WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC

Westinghouse, the world leader in the development, licensing and deployment of commercial nuclear energy plants, is again leading the industry, this time with a 225 MWe integrated pressurized water reactor that can generate electricity for a residential community of 180,000 homes without emitting any greenhouse gases.

And unlike other designs, the Westinghouse Small Modular Reactor (SMR) is an outgrowth of proven, land-based nuclear reactor technology that takes safety, reliability and constructability to unsurpassed levels.

To make this exciting new reactor a reality, Westinghouse, with the full support and backing of its majority owner Toshiba Corporation, is working with a distinguished group of partners, notably Ameren Missouri, the Association of Missouri Electric Cooperatives, Associated Electric Cooperative, Inc., The Empire District Electric Company, Kansas City Power & Light Company and the Missouri Public Utility Alliance.

Proud of our track record of success, but always looking to the future, Westinghouse nuclear technology will help provide future generations with safe, clean and reliable electricity.

Check us out at [www.westinghousenuclear.com](http://www.westinghousenuclear.com)



A Toshiba Group Company

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



# EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

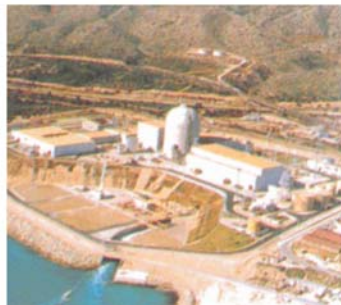
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

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

■ **Tecnología**

■ **Experiencia**

■ **Dedicación** ■



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

EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. es una Agrupación de Interés Económico (Ley 12/1991 de 29 de Abril) constituida por GHESA, TRSA, IBERINCO, SOLUZIONA INGENIERÍA y TRPI.

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