

ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

El suelo, el gran recurso natural

Hubble:
Una nueva mirada al
Universo

Francis Mojica, biólogo y
descubridor de CRISPR: “Es
posible escribir en nuestro
genoma como se hace con
un editor de textos”

Finaliza la retirada del blindaje biológico del reactor de Zorita.
El proyecto de desmantelamiento alcanza un avance del 80%

WESTINGHOUSE DECOMMISSIONING
AND REMEDIATION SERVICES

GLOBAL PROJECT EXPERIENCE
ADVANCED TECHNOLOGY



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

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

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



LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LAS INSTALACIONES RADIATIVAS

Enresa celebró la primera semana de octubre las XVIII Jornadas de Residuos de Instalaciones Radiactivas, un foro de debate y encuentro de profesionales de instalaciones radiactivas de hospitales, centros de investigación e industrias.

El empleo de radioisótopos en la vida cotidiana es un hecho poco conocido socialmente. Su empleo está presente en las instalaciones de Medicina Nuclear, donde se utilizan para el tratamiento de tumores o para radiodiagnóstico, pero también tienen un papel especial en disciplinas tan diversas, y tan próximas al público, como la agricultura, la industria, la conservación y esterilización de alimentos o la restauración de obras de arte. En España son más de 1.300 las empresas o entidades autorizadas reglamentariamente para trabajar con material radiactivo y, de ellas, 915 tienen actualmente contrato con Enresa ya que no todas estas instalaciones requieren los servicios de retirada por no generar residuos o porque sólo los generan en un momento determinado y no de forma continua.

El volumen de residuos radiactivos que generan estas instalaciones es más bien escaso, 17 m³ de media en los últimos diez años, frente a los 1.100 m³ que generan anualmente de media las instalaciones nucleares, pero tienen la complejidad añadida de la gran cantidad de instalaciones radiactivas que hay y la diversidad de residuos que generan, tanto en tipos como en formas, lo que hace que su gestión sea detallada y meticulosa.

Enresa trabaja estrecha y continuamente con estas instalaciones gestionando estos residuos de manera segura y eficaz. Gracias a esta labor continuada se ha conseguido diseñar un sistema de gestión que incluye la retirada, transporte, acondicionamiento y almacenamiento final de estos residuos, y en el que están articulados los caminos y procedimiento de su gestión en función de su tipología.

En este sentido, durante los últimos años, y en lo referente a las instalaciones del ámbito médico debido al cambio en las tecnologías aplicables se ha ido

realizando la sustitución de los aparatos de cobaltoterapia por aceleradores lineales, más precisos y eficaces. Estos últimos, ya en desuso, han venido siendo retirados por Enresa en operaciones de cierta espectacularidad por el tamaño, peso y relevancia de la fuente radiactiva que albergan.

Además, hay que destacar la importancia de otras iniciativas como es la disposición y esfuerzos que algunos sectores industriales muy determinados, relacionados con la industria de la recuperación y siderurgia de metales, vienen realizando desde que en 1999 suscribieron el "Protocolo sobre colaboración en la vigilancia radiológica de los materiales metálicos" o la formalización por parte de las autoridades del *Protocolo Megaport* para la prevención del tráfico ilícito de materiales radiactivos. Ambas iniciativas, en las que participa Enresa, están dando frutos relevantes evitando, entre otros aspectos, que productos finales de consumo, fabricados con materiales contaminados, lleguen a usuarios finales. ■

REVISTA ESTRATOS

Edita: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (Enresa)
Redacción: Emilio Vargas, 7.
 28043 Madrid
 Tel. 91 566 81 00
Suscripciones: registro@enresa.es
Correo electrónico: prensa@enresa.es
Página web: www.enresa.es

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

Consejero delegado Wolters Kluwer:
 Vicente Sánchez

Jefe de Publicaciones Wolters Kluwer: Fernando Cameo

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

Coordinadores Wolters Kluwer:
 Salomé González y Sergio Gavilán

Redactores y colaboradores:
 Paz Alegría García, Pablo Almera, Ana Ayala, José Roldán Cañas, Ignacio Cienfuegos, Bruno Díaz, César de Echagüe, Rosa M. Tristán, María Fátima Moreno, Germán Hesles, Esmeralda Mardomingo, Javier Palazón,

Rafael Pérez Arellano, Nuria Prieto Serrano, Silvia Rueda y Ricardo Tapia.

Crédito de portada:
 Wolters Kluwer España

Diseño, maquetación, producción e impresión:
 Wolters Kluwer España

Depósito legal: M-7 411- 1986

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





PÁGINA 5



PÁGINA 24



PÁGINA 44



PÁGINA 58

SUMARIO

EDITORIAL

La gestión de los residuos de las instalaciones radiactivas 3

ACTUALIDAD ESTRATOS

Finaliza la retirada del blindaje biológico del reactor de Zorita 5

Periodistas coreanos se informan en Enresa sobre la gestión de residuos radiactivos en España. 6

Responsables de instalaciones radiactivas de toda España participan en una jornada de intercambio de experiencias en Córdoba 7

Vandellós I recibe la visita de más de dos centenares de antiguos trabajadores de Hifrensa. 8

Enresa interviene en la 42 Reunión de la Sociedad Nuclear Española celebrada en Santander 9

I+D

El papel de la vegetación en la redistribución de la lluvia en la cuenca de El Cabril 10

INTERNACIONAL

Euratom III, las directivas de Seguridad Nuclear y Gestión de Residuos Radiactivos, y la consolidación de los peer-review en el marco internacional nuclear 16

ENTREVISTA

Francis Mojica, biólogo y descubridor de CRISPR: “Es posible escribir en nuestro genoma como se hace con un editor de textos”. 24

EDAFOLOGÍA

El papel del suelo como recurso natural 28

ANTROPOLOGÍA

Yacimiento Qesem: ¿La cuna de la humanidad? 32

SIERRA ALBARRANA

Ganadería, agricultura y paisaje, la riqueza del Alto Guadiato 38

Sendero del Águila: una ‘isla’ de naturaleza. 40

Actualidad de Sierra Albarrana 42

ASTRONOMÍA

Telescopio Hubble: otra forma de mirar al Universo. 44

DENDROLOGÍA

Gigantes bien ‘plantados’: árboles singulares en España 50

FÍSICA

Laboratorio subterráneo de Canfranc: En busca del ‘silencio cósmico’ 54

ENERGÍA

Viaductos y energía eólica: el viento y su fuerza bajo los puentes. 58

INNOVACIÓN

Hyperloop, un tren supersónico 62

NOTICIAS CIENCIA. 66

actualidadestratos

Finaliza la retirada del blindaje biológico del reactor de Zorita

Después de tres meses de trabajos, el pasado mes de septiembre finalizaba la retirada del blindaje biológico del reactor de la central nuclear José Cabrera (Guadalajara), el hormigón que rodeaba la vasija. El blindaje se ha segmentado en ocho bloques. Cada una de estas estructuras, de 30 toneladas de peso, tenía una altura de 7 metros y una anchura aproximada que oscilaba entre los 1,20 y 1,60 metros. Estas piezas han sido, a su vez, troceadas en fragmentos para su gestión, acondicionamiento y envío al centro de almacenamiento de El Cabril.

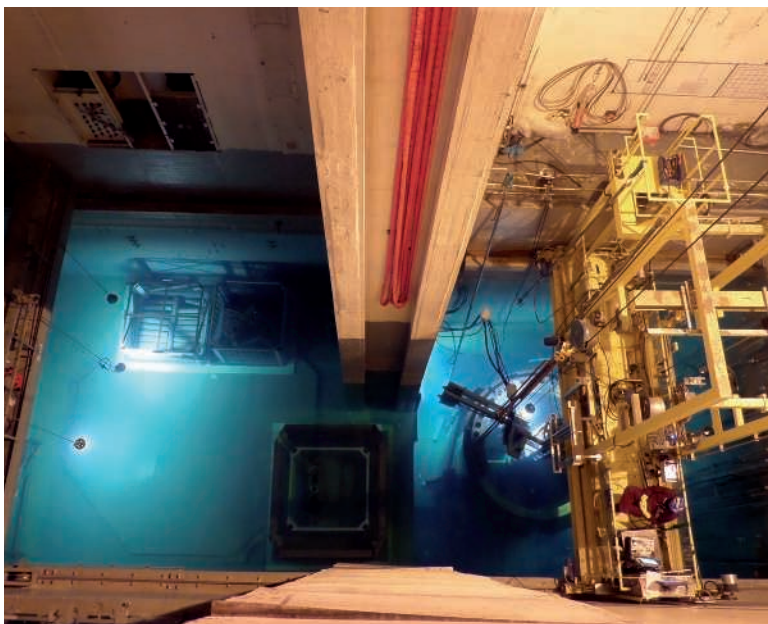
Para la ejecución de este trabajo, se ha utilizado la técnica de corte mediante hilo de diamante. Previamente, se realizaron perforaciones en la estructura de hormigón para permitir el paso de las poleas y poder ejecutar el corte con hilo en profundidad.

Para el director de la instalación, Manuel Ondaro del Pino, la retirada del hormigón del blindaje biológico, así como de las estructuras y componentes metálicos embebidos, han sido operaciones “necesarias para descontaminar los edificios de contención y auxiliar, de manera que queden lo más limpios posible con objeto de poder aplicar la metodología de desclasificación de superficies y grandes piezas y realizar en un futuro su demolición convencional”.

Enresa, que ya ha ejecutado cerca del 80 por ciento del desmantelamiento, ha aprovecha-

do estos trabajos de retirada del blindaje biológico del reactor para tomar muestras de hor-

migón y realizar estudios que tendrán una gran importancia para futuros proyectos. ■



© Enresa



© Enresa

Estado de la cavidad del reactor y del Foso de Combustible Gastado durante la segmentación de la vasija (arriba). Y estado actual de ambas cavidades tras la retirada del blindaje biológico del reactor de Zorita (abajo).

Lituania autoriza la puesta en marcha de su instalación de almacenamiento de combustible gastado en seco



Planta nuclear de Ignalina, en Lituania.

El organismo regulador lituano, VATESI, ha dado la autorización de operación para la nueva instalación de almacenamiento en seco de combustible gastado en la central nuclear de Ignalina. El inventario de este tipo de residuos totaliza 16.000 elementos combustibles resultantes de la operación de las unidades Ignalina 1 y 2, que se pararon en diciembre de 2004 y diciembre de 2009

respectivamente en el marco del condicionado de adhesión de Lituania a la Unión Europea por razón de su similitud con la unidad accidentada de Chernóbil. El operador iniciará ahora los test de pruebas con los diez primeros contenedores tipo Constor RBMK 1500/2. VATESI ha informado que si los test son exitosos, otorgará el permiso de operación definitivo estando previsto por el operador completar la transferencia del combustible gastado de las piscinas a la nueva instalación a finales de 2022. La entrada en operación de esta instalación supone un hito de gran relevancia para el proyecto de desmantelamiento de esta instalación, que ha sufrido severos retrasos ante la imposibilidad de evacuar el combustible de las piscinas. ■

Periodistas coreanos conocen en Enresa el modelo de gestión de residuos radiactivos de España



Los periodistas coreanos ante la Sede Social de Enresa en Madrid.

Una delegación de diez periodistas de Corea del Sur, acompañados por representantes de la Agencia Nuclear Coreana, el organismo responsable de la gestión de los residuos radiactivos y del ministerio de Industria de este país asiático, visitaron Enresa el pasado día 23

de septiembre, para informarse sobre el modelo de gestión de residuos español y las acciones de comunicación que se desarrollan en esta empresa pública.

Representantes del departamento de Relaciones Internacionales y

de la unidad de Comunicación de Enresa presentaron distintas ponencias en las que profundizaron tanto en las soluciones técnicas desarrolladas en España como en las relaciones con el entorno, y en las distintas acciones de comunicación necesarias para dar a conocer la gestión de estos materiales.

La jornada terminó con una visita al Centro de Información de Enresa en Madrid, donde los integrantes de la delegación se interesaron por las distintas fases de almacenamiento de combustible gastado, así como por la experiencia operativa, tanto desde el punto de vista técnico como social, del Centro de Almacenamiento de El Cabril. ■

Responsables de instalaciones radiactivas de toda España participaron en una jornada de intercambio de experiencias en Córdoba



Víctor Álvarez, jefe de la Unidad de Gestión de Residuos de Instalaciones Radiactivas (a la izquierda), Carlos Enríquez, jefe de Logística de Enresa, y Agustí Muntané, responsable de la instalación radiactiva del Parque Científico de Barcelona.

Más de medio centenar de personas, unas responsables directas de la gestión de residuos radiactivos generados en el ámbito hospitalario, industrial y de investigación, y otras relacionadas con esa gestión en grados distintos, participaron el 5 y 6 de octubre en las *XVIII Jornadas de Instalaciones Radiactivas*, que organiza Enresa en Córdoba. El objetivo de este encuentro era intercambiar experiencias y optimizar los procesos de gestión de los residuos radiactivos que se generan en sus actividades y que, aunque son poco conocidos, tienen una gran importancia en la vida cotidiana.

Al inicio de las jornadas, el jefe del Departamento de Logística de Enresa, Carlos Enríquez, explicó que, en la actualidad, Enresa mantiene contrato con 915 instalaciones radiactivas, de las 1.300 aproximadamente que hay censados en España unos 17 metros cúbicos de residuos radiactivos,

de los que se responsabilizan profesionales cualificados para que estos materiales sean gestionados acorde a sus características radiológicas. Se trata de residuos heterogéneos que incluyen, entre otros elementos, fuentes de radioterapia, y materiales residuales procedentes del empleo de radioisótopos en medicina nuclear y en todo tipo de investigaciones médicas o docentes; fuentes de control de procesos y medidas industriales, o equipos en cuya composición o que para su funcionamiento precisan de componentes radiactivos, explicó

Enríquez. Estos residuos de baja y media actividad siguen un proceso reglamentado hasta que finalmente son gestionados en la Instalación de Almacenamiento de Residuos radiactivos sólidos de El Cabril.

De las 915 instalaciones radiactivas que tienen contrato con Enresa, algo más del 30% son de uso médico, el 50% pertenece a diferentes ámbitos industriales, y en torno al 20% al campo de la investigación y la docencia.

Anualmente, todas estas instalaciones generan una media de 17 metros cúbicos de residuos radiactivos que se almacenan en El Cabril, recinto que protagonizó la última jornada, y en la que los participantes pudieron conocer el proceso que siguen los materiales que se generan en sus instalaciones y comprobar las medidas de seguridad del almacén cordobés. ■



Asistentes a las jornadas durante su visita a El Cabril.

Muchos de ellos desarrollaron su vida profesional en esta instalación nuclear, actualmente en latencia

VANDELLÓS I RECIBE LA VISITA DE MÁS DE DOS CENTENARES DE ANTIGUOS TRABAJADORES DE HIFRENSA



un encuentro “con mucho sentimiento, mucho recuerdo y mucha sabiduría” tal y como explicó a Estratos uno de los organizadores, Braulio Conejo.

“Muchos de los trabajadores que nos hemos reunido llevábamos casi 25 años sin vernos”, explicó Conejo, quien reveló que la idea de organizar un evento así la tenían desde hace mucho tiempo, pero fue en un encuentro casual en la playa con otros extrabajadores cuando decidieron sacarla adelante. En la misma línea se expresaba Javier Muñoz, quien en la época operativa de la central se encontraba al mando del ‘superordenador’ que la controlaba. “Organizar esto no ha sido fácil”, admitía, “hemos tenido que localizar a trabajadores que viven en muchos lugares de España y del extranjero. Sobre las impresiones de la central, reconoce que “está como me esperaba, porque he ido siguiendo el proceso de desmantelamiento”.



Extrabajadores de la compañía Hifrensa y familiares posando ante la central nuclear y escuchando las explicaciones de la situación actual de la instalación.

Divididos en cinco grupos, los participantes en la jornada hicieron un recorrido por diferentes dependencias de la instalación, deteniéndose especialmente en la cava de la nave del reactor, donde se les explicó cómo se almacena el grafito en este lugar, además de recordar cómo era la sala de control de la central a través de la sección de la mesa de mando original que allí se conserva. La losa del reactor y la terraza del edificio del reactor

fueron otras de las paradas que se realizaron durante el recorrido.

Unos 250 extrabajadores de Hifrensa visitaron el pasado 1 de octubre la central nuclear de Vandellòs I para conocer la situación de la instalación que, en muchos casos, fue durante años su lugar de trabajo. Acompañados de sus familiares, estos antiguos empleados de Hispano-Francesa de Energía Nuclear S.A. (Hifrensa) fueron informados del proceso de desmantelamiento a Nivel 2 que Enresa realizó en la central tarraconense. La jornada se convirtió en

Durante su visita, pudieron contemplar también la exposición *La obra que cambió al municipio*, una muestra en la que, a través de fotografías y planos, se recoge la historia de la construcción de la central y su influencia en el municipio de Vandellòs i l’Hospitalet de l’Infant.

Tras el recorrido por la antigua central nuclear, los extrabajadores de Hifrensa y sus familiares se dirigieron a L'Hospitalét de L'Infant para terminar esta jornada con una comida que reunió a más de 650 personas.

La central nuclear Vandellós I, propiedad de Hispano- Francesa de Energía Nuclear S.A. (Hifrensa), entró en operación en 1972 y fue la única central española de uranio natural-grafito-gas, una tecnología desarrollada principalmente en el Reino Unido y Francia. La central quedó fuera de servicio en octubre de 1989, tras el incendio

de un turbogenerador que no tuvo implicaciones radiológicas.

En febrero de 1998, Enresa asumió la titularidad de la central para proceder a su desmantelamiento a Nivel 2, una tarea que concluyó en 2003 con la liberación de la mayor parte del emplazamiento y el sellado del cajón del reactor. Desde entonces, y durante un periodo de veinticinco años, la antigua central se mantiene en un periodo de latencia a la espera de que la radiactividad de las estructuras internas del cajón del reactor decaiga hasta niveles que faciliten su desmantelamiento total. ■

ENRESA PARTICIPA EN LA 42 REUNIÓN DE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA, CELEBRADA EN SANTANDER



La presidenta del Parlamento de Cantabria participó en la inauguración del encuentro.

Técnicos de Enresa participaron con distintas ponencias en la 42 Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española que tuvo lugar del 28 al 30 de septiembre en Santander. El congreso tuvo una participación de más de 600 personas, entre sesiones plenarias, sesiones monográficas y talleres en los que se actualizó el conocimiento de aspectos relevantes para los profesionales, no sólo del sector nuclear sino también de otras áreas de interés relacionadas.

Enresa estuvo presente en distintas sesiones técnicas y monográficas, además de en las sesiones de pósters, con temas como el *Plan de Restauración del Emplazamiento de José Cabrera*, *la instrucción de Seguridad IS-19*, *la optimización de las dosis de radiación*, *el protocolo de autocontrol y gestión de la zona de abastecimiento de agua de consumo humano de El Cabil* o *la detección*

de material radiactivo en pórticos de control de vehículos.

La ponencia elaborada por Sergi Margalef, técnico del departamento de Gestión de Emplazamientos, de Vandellós I, fue reconocida con el premio a la mejor ponencia en el área de Desmantelamiento por su trabajo *Pruebas quinquenales del cajón del reactor de la central Nuclear Vandellós I.*

Además de las intervenciones en el área técnica, Enresa estuvo presente en el centro de información itinerante que la SNE –una de las novedades de la reunión– en el que se proponía al público un recorrido por las instalaciones nucleares españolas. Más de 600 personas realizaron una visita guiada por este centro durante los tres días de la reunión, en la que Enresa se encargó de explicar cómo se gestionan los residuos radiactivos según su tipología. ■

Balance hídrico superficial en las zonas de influencia de las plataformas de almacenamiento de residuos

EL PAPEL DE LA VEGETACIÓN EN LA REDISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN LA CUENCA DE EL CABRIL

La vegetación de una cuenca forestal, como la de El Cabril, influye notablemente en su balance hídrico superficial. Una significativa parte de la lluvia, que puede llegar al 30%, es interceptada y devuelta a la atmósfera sin que llegue a alcanzar la superficie del suelo, lo que provoca la disminución tanto de los caudales de escorrentía como de los que atraviesan la superficie del suelo y dan origen al flujo subterráneo. Este fenómeno ha sido analizado en un estudio realizado en el marco de un Convenio de Colaboración para el desarrollo de proyectos de I+D suscrito entre la Universidad de Córdoba y Enresa, con la participación de investigadores de la Universidad de Córdoba y de técnicos del Departamento de Ingeniería de Suelos de Enresa.

Autor: **MARÍA FÁTIMA MORENO PÉREZ, RAFAEL PÉREZ ARELLANO Y JOSÉ ROLDÁN CAÑAS (UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA)/ SILVIA RUEDA SÁNCHEZ E IGNACIO CIENFUEGOS HEVIA (ENRESA)**

Para medir la trascolación se dispusieron, bajo los pinos, cuatro pluviómetros manuales de 9.3 cm de diámetro situados en el suelo siguiendo las direcciones cardinales.



La vegetación tiene gran importancia en el balance hídrico de las cuencas porque actúa de barrera capaz de interceptar las precipitaciones, variando su flujo y distribución bajo el área de su cobertura. Una parte del agua de lluvia es interceptada por el dosel (interceptación) y otra parte llega al suelo conducido por el tronco (escorrentía cortical) o cayendo directamente desde las ramas o las hojas (trascolación), formando ambas lo que se denomina precipitación neta (Figura 1).

La interceptación es la fracción de la precipitación incidente retenida por la vegetación que se evapora posteriormente, sin alcanzar el terreno. La interceptación se mide comúnmente de forma indirecta como la diferencia entre la precipitación bruta, medida por encima de la cubierta o en un área abierta vecina, y la suma de trascolación y escorrentía cortical medidas de forma simultánea en el suelo del bosque (Gerrits et al., 2010).

La vegetación no solamente afecta la cantidad de agua precipitada que alcanza el nivel del suelo, sino también al contenido de humedad en el suelo y a la escorrentía superficial. Otro de los aspectos que se derivan de la distribución espacial de la humedad es el relacionado con la escorrentía superficial. La saturación más rápida de los sectores que reciben más agua, supone un inicio más rápido de la escorrentía superficial, lo que puede llevar al establecimiento de áreas preferenciales de inicio de procesos de erosión hídrica (Belmonte y Romero, 1999).

La interceptación varía durante el evento de lluvia en función tanto de las características de la cobertura vegetal como de las condiciones meteorológicas. Los modelos de interceptación de lluvia permitirán estudiar este proceso

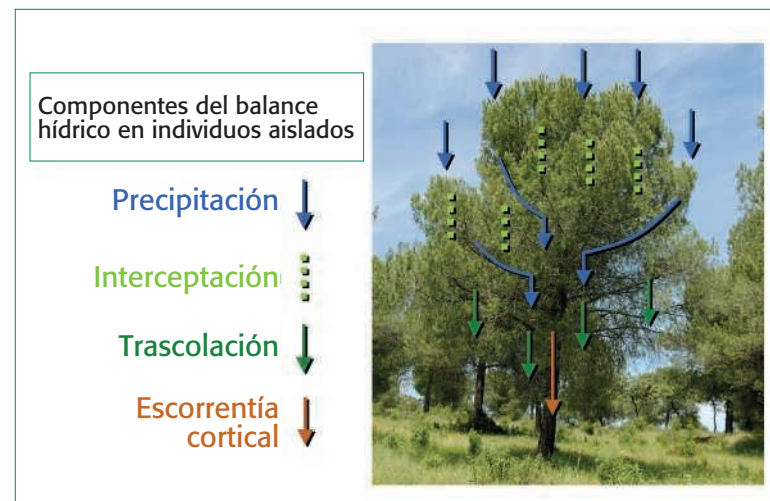


Figura 1. Componentes del balance hídrico en individuos aislados.

integrando las características de la estructura de la planta, y las condiciones meteorológicas de la zona. Los resultados obtenidos del modelo de interceptación podrán ser extrapolados a otras áreas más extensas, contribuyendo al entendimiento de todos los procesos que suceden en la interceptación.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se ha llevado a cabo en la finca donde se sitúa el Centro de Almacenamiento de residuos radiactivos de El Cabril. La finca se encuentra en el sector Occidental de la provincia de Córdoba, en el término municipal de Hornachuelos, sur de España (Figura 2).

Con un clima mediterráneo subcontinental, se caracteriza por presentar veranos e inviernos bien marcados, con temperatura media del mes más frío entre 6 y 10°C, y temperatura media del mes más cálido por encima de 22°C. La precipitación anual media está en torno a los de 480 mm, aunque con acusadas variaciones mensuales e interanuales.

El relieve de la zona de estudio es medianamente abrupto, presentando una pendiente media de 30%. La zona se localiza en la cuenca alta del Río Bembézar, afluente del Guadalquivir por su margen derecha.

Las formaciones vegetales están dominadas por un matorral esclerófilo mediterráneo con extensos jarales de *Cistus ladanifer* acompañados, entre otras, por retama (*Retama sphaerocarpa*) y lentisco (*Pistacea lentiscus*). Las cabeceras de los cursos fluviales están ocupadas por repoblaciones de *Pinus pinea*, realizadas a principios de la década de los 70 del pasado siglo. Los suelos, de textura franco-arenosa, son pocos profundos, con un espesor que no supera los 30 cm en la mayor parte de la cuenca.

BALANCE HÍDRICO

La cantidad de precipitación interceptada por el dosel ha sido determinada indirectamente como la diferencia entre la precipitación incidente y la lluvia que pasa a través del dosel de la vegetación, la cual se divide en el flujo de trascolación y la escorrentía cortical:

$$P = I + T_r + E_c \quad [1]$$

siendo: P la precipitación en mm; I la interceptación en mm; T_r la trascolación en mm; y E_c la escorrentía cortical en mm.

El agua de lluvia que llega al suelo escurre sobre su superficie (escorrentía superficial, Q_{esc}), se evapora (evaporación desde el suelo, E_s) o penetra en él (infiltración, Inf):

$$T_r + E_c = Q_{esc} + Inf + E_s \quad [2]$$

DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

Para el estudio del balance hídrico en especies arbóreas se seleccionaron dos individuos aislados de *Pinus pinea* en la zona del Arroyo Los Morales (P_M) y ocho individuos en la zona antropizada de la cuenca (P_A), mientras que para el estudio de especies arbustivas se eligieron dos ejemplares de *Cistus ladanifer* (J) en el Barranco de Juan Gómez (Figura 3). Los árboles seleccionados para el estudio fueron instrumentalizados para medir los componentes del balance hídrico en el dosel vegetal: trascolación (T_f), escorrentía cortical (S_f) e interceptación (I).

La toma de datos experimentales ha tenido lugar entre octubre de 2010 y diciembre de 2015. En la estación meteorológica de Enresa situada en la cuenca de “El Cabril”, se dispone de datos horarios de precipitación, velocidad del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa. Para obtener una mayor precisión de los datos de lluvia, se instaló en cada una de las zonas experimentales, un pluviómetro automático de ca-

zoleta basculante de 0.2 mm de precisión, que registra los datos de precipitación cada 10 minutos en un datalogger. También se instaló una nueva estación meteorológica próxima a los pinos P_{M1} y P_{M2} , que proporciona datos de velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa en intervalos de 10 minutos, muy útil para aplicar los modelos de interceptación.

Para medir la trascolación (ver figura 4), se dispusieron, bajo los pinos P_{M1} y P_{M2} , ocho pluviómetros manuales de 9.3 cm de diámetro situados en el suelo siguiendo las direcciones cardinales y formando dos anillos concéntricos a una distancia del tronco de 1/3 y 2/3 del radio máximo del dosel, colocándose 4 pluviómetros en cada anillo. Se instalaron además 6 canales metálicas de 2 m de largo y 20 cm de ancho, situadas de forma radial justo por debajo del dosel. Finalmente, se dispusieron bajo cada árbol dos pluviómetros automáticos situados igualmente en altura justo por debajo del dosel y a una distancia del tronco igual a la mitad del radio máximo del dosel (Pérez Arellano et al., 2016). La metodología empleada para la

medida de la trascolación en los ocho árboles de *Pinus pinea* seleccionados en la zona antropizada consiste en 4 colectores de PVC en forma de embudo de 21 cm de diámetro situados en altura justo por debajo del dosel de cada uno de los individuos. Dichos embudos se colocaron en las cuatro direcciones cardinales, a una distancia del tronco igual a la mitad del radio del dosel (Carleton y Kavanagh, 1990).

Para la medida de la trascolación en *Cistus ladanifer* se usó un dispositivo consistente en una superficie cuadrada impermeable, que cubre toda la base del arbusto, rodeada por un perímetro en forma de “L” que asegura que el escurrimiento no se desborde (ver figura 5).

La metodología seguida para la medida de la escorrentía cortical en *Pinus pinea* consiste en una manguera cortada longitudinalmente y sellada alrededor del tronco del árbol, al que previamente se le ha realizado una inserción en forma de espiral. Esta manguera recoge toda el agua que escurre por el tronco y la conduce bien hasta un pluviómetro automático o bien hasta un depósito (Figura 4). La escorrentía cortical en los árboles estudiados en la zona antropizada se comenzó a medir en marzo de 2015 y se realiza en cuatro de los ocho individuos seleccionados.

Para medir la escorrentía cortical en *Cistus ladanifer* se ha colocado un recipiente sellado alrededor del tronco de la planta (figura 5), que recoge el agua que fluye por el mismo, siendo conducida igualmente con una manguera hacia un depósito colector de 12 litros (Moreno-Pérez et al., 2012).

El índice de área foliar se define como el área total de la superficie superior de las hojas del dosel por

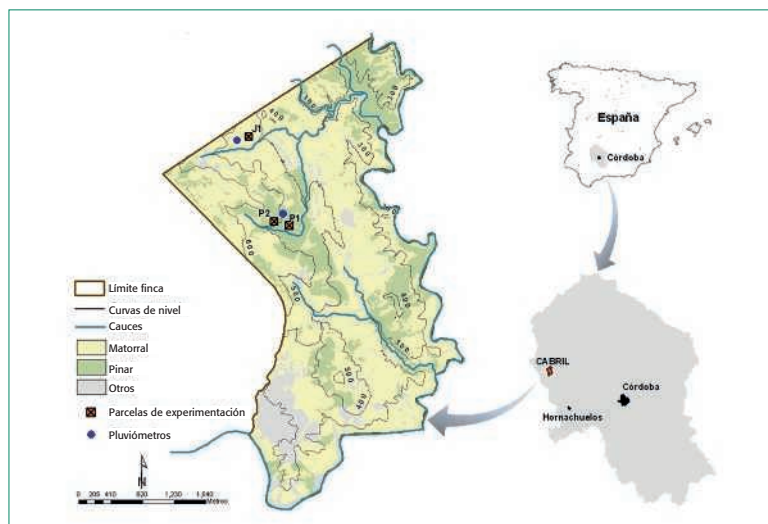


Figura 2. Localización de El Cabril

área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta. Un método menos destructivo para calcular el IAF es el uso de fotografías hemisféricas. Mediante esta técnica se calcula la fracción de luz que penetra el dosel. Las fotografías hemisféricas tomadas en los ejemplares estudiados se han realizado utilizando una cámara digital equipada con una lente angular u ojo de pez.

En el árbol P_{M1} se llevó a cabo la instalación de sensores que permiten la monitorización continua del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) del dosel de las plantas. El objetivo de esta medición es observar la variación del NDVI a lo largo del año, ya que se ha demostrado que se correlaciona bien con el IAF. Los sensores se montaron por encima del dosel del pino P_{M1} mediante la utilización de un poste de 8 metros de altura.

En los árboles situados en la zona del Arroyo Los Morales (P_{M1} y P_{M2}) se ha llevado a cabo la instalación de cuatro sensores de humedad en hoja. Estos sensores se instalaron con el objetivo de determinar el tiempo de secado del dosel (CDT) tras un evento de lluvia. Una vez establecido el tiempo de secado, será posible identificar los diferentes eventos de lluvia, definiendo éste como la cantidad de precipitación que tiene lugar desde que comienza a llover hasta que el dosel se seca completamente.

Se han instalado 4 sondas de humedad distribuidas aleatoriamente bajo el

dosel del pino P_{M2} , que registran el contenido de agua de la capa superficial del suelo cada 15 min. De igual modo, se instalaron dos sondas más junto a este árbol pero fuera de la proyección de su dosel. Otras 4 se instalaron análogamente en el suelo que rodea los individuos de *Cistus ladanifer*.

Los modelos de interceptación utilizados han sido el modelo conceptual de Rutter et al. (1971) y el modelo analítico de Gash (1979), junto con revisiones de ambos modelos realizadas por Valente et al. (1997).

El modelo Rutter representa el proceso de interceptación como un balance de agua que consiste en una entrada de agua de lluvia, el almacenamiento en el dosel y la salida en forma de drenaje o evaporación. El principal problema práctico es el alto requerimiento de datos del modelo.

Gash (1979) propuso un modelo analítico más simple que requiere de una menor cantidad de datos meteorológicos, porque aplica valores constantes de intensidad de lluvia media y evaporación media durante el periodo de simulación. Este modelo considera que las precipitaciones ocurren como una serie de eventos de llu-

via discretos, separados entre sí por un tiempo suficientemente largo como para que la planta quede completamente seca.

Cuando los modelos de Rutter y Gash eran aplicados en vegetación dispersa, se comprobó que sobreestimaban las pérdidas por interceptación. Esto condujo a la revisión de ambos (Valente et al., 1997) teniendo en cuenta el grado de cobertura de la vegetación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparando los resultados de los dos últimos años, la interceptación total en P_{M1} fue de 238.1 mm, lo que representa el 30.8 % de la precipitación bruta. El volumen total de lluvia interceptado por el árbol P_{M2} durante todo el período de estudio fue 719 mm, el 28.6 % de la precipitación bruta, mientras que en *Cistus ladanifer* fue de 259.8 mm, es decir, el 15.7% de la precipitación bruta.

Existe una diferencia en la fracción de pérdida por interceptación de alrededor del 15% entre ambas especies, siendo la interceptación en *Pinus pinea* más elevada, ya que dispone de una mayor capacidad de la biomasa vegetal para almacenar agua. Por otra parte, factores como



Figura 3. Localización de los individuos de *Pinus pinea* y de *Cistus ladanifer* instrumentados.

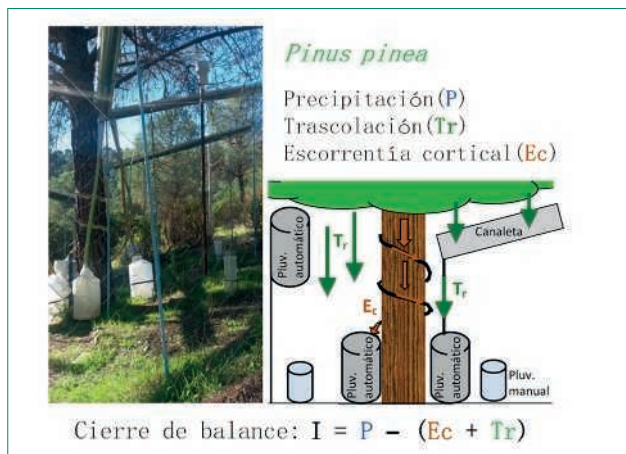


Figura 4. Instrumentación para la medida de la trascolación y de escorrentía cortical en *Pinus pinea* en la zona Arroyo Los Morales

la resina secretada por *Cistus ladanifer*, ládano, y su escasa capacidad de almacenamiento hacen que disminuya la capacidad de interceptación de esta planta. La capacidad de interceptación de los ocho árboles de *Pinus pinea* ubicados en la zona antropizada es inferior a la de los otros dos, debido principalmente a que son árboles de menor tamaño.

La escorrentía cortical es insignificante en *Pinus pinea* (0.25%), mientras que en *Cistus ladanifer* es sustancial (16.7%), lo que se debe principalmente a la diferencia de altura que existe entre estas plantas y a la forma característica de *Cistus ladanifer*, propia de plantas autóctonas plenamente adaptadas a este clima, que dirige hacia el pie del tronco todo el agua recogida.

En los individuos de *Pinus pinea* existe una correlación lineal fuerte y positiva entre trascolación y precipitación bruta, de modo que la trascolación media total en P_{M2} representa el 70,1 % de la precipitación bruta total. En el caso de *Cistus ladanifer*, el porcentaje de trascolación ha sido del 67.5%.

Para estudiar el efecto que ejerce la duración y la intensidad de las precipitaciones sobre los porcentajes de interceptación los episodios de precipitación se clasificaron en dos intervalos de intensidad, entre 0.2-2 mm/h y mayores a 2 mm/h.

En ambas especies, con precipitaciones de intensidad entre 0.2-

aumenta, comienzan a saturarse completamente las plantas y el porcentaje de agua retenida en relación a la cantidad de precipitaciones va decreciendo, llegando a valores inferiores al 40 % cuando la duración supera las 10 horas.

De los 5 años de estudio, dos fueron lluviosos (2010-2011 y 2012-2013) y los otros tres bastante secos, siendo el promedio de las pérdidas de interceptación durante todo el periodo de estudio del 30.5% en los ejemplares de *Pinus pinea* y de 17.7% para *Cistus ladanifer*. Los valores de interceptación de *Pinus pinea* varían de media entre el 24% en años lluviosos y el 37.5% en los años secos. Un comportamiento similar se produce en *Cistus ladanifer*, donde la interceptación tiene un valor medio del 12% en años húmedos y del 22% en los años secos. También se ha observado que la interceptación del dosel no sólo difiere con el tipo de vegetación y la precipitación anual, sino también entre las estaciones del año, siendo mayor en primavera y menor en otoño.

Especial atención se ha dado a la relación entre el IAF y la interceptación dada la posibilidad de utilizar el IAF como medida indirecta de la interceptación. La interceptación aumenta con el IAF, aunque la correlación no es muy alta.

Entre los valores de NDVI y del IAF existe una alta correlación ($R^2 = 0.77$). Sin embargo, se ha

2 mm/h y de poca duración, la interceptación de la lluvia retenida por el dosel alcanza valores superiores al 80%. A medida que la duración de las lluvias

comprobado que cuando tiene lugar un evento de precipitación los valores de NDVI son mucho mayores, mostrando irregularidades en su tendencia, por lo que es aconsejable a la hora de establecer la relación entre NDVI y el IAF desestimar los días en los que tiene lugar eventos de lluvia.

En relación con la humedad del suelo, se ha encontrado que los eventos de precipitación de más de 10 mm en el caso de *Cistus ladanifer* y de más de 5 mm en el caso de *Pinus pinea*, causan un aumento de la humedad por debajo de la superficie del dosel mayor que el que se produce en el exterior.

El modelo de Rutter ha sido el que mejor ajuste ha presentado en ambos ejemplares de *Pinus pinea*. El modelo de Gash en su versión original es que mejor se ha ajustado en el caso de *Cistus ladanifer* (Pérez Arellano et al., 2016).

Para estimar el tiempo de secado del dosel se ha aplicado el modelo de interceptación Rutter (Rutter et al., 1975), identificándose un total de 393 eventos de precipitación con un tiempo medio de secado de 9.2 horas. El tiempo de secado obtenido para el dosel de *Cistus ladanifer* es de 4.4 horas, determinado en este caso a partir de 299 eventos de lluvia.

Comparando con los resultados experimentales obtenidos con los sensores de humedad en hoja se encuentra que el modelo sobreestima los valores de CDT, especialmente cuando la lluvia es pequeña.

Los valores de CDT son mayores en otoño e invierno, cuando se produce más precipitación y la velocidad de evaporación es menor, mientras que en primavera y verano, cuando la cantidad de lluvia disminuye y la tasa de

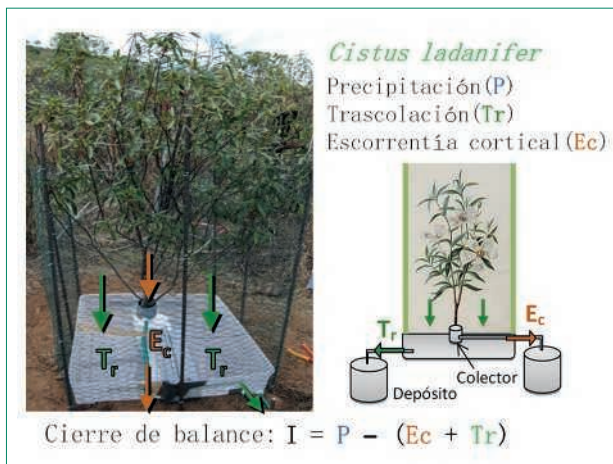


Figura 5. Instrumentación para la medida de trascolación y de escorrentía cortical en *Cistus Ladanifer*.

evaporación aumenta, los valores CDT son más bajos.

Los valores de CDT están ampliamente distribuidos, siendo mayor el tiempo de secado cuando la lluvia finaliza durante la noche y disminuyendo si la lluvia cesa durante el día. Esta variación de los valores de CDT se debe al aumento de la radiación neta y a la demanda por evaporación durante las horas del día.

CONCLUSIONES

La influencia de la vegetación y de las condiciones pluviométricas sobre el proceso de interceptación ha sido estudiada en la cuenca forestal de El Cabril. El balance hídrico superficial es sustancialmente modificado lo que influye, además, en la entrada de agua en el suelo que alimenta al flujo subterráneo.

La interceptación en pino representa el 29.7% de la precipitación bruta o incidente en tanto que en *Cistus ladanifer* solo alcanza el 15.7% dada la mayor biomasa del pino y la escasa capacidad de retención de esta. En cuanto a la trascolación es muy similar en ambas especies, 70.1% y 67.5%, respectivamente, en tanto que la escorrentía cortical es muy superior en *Cistus ladanifer* (16.7%) que en pino (0.25%).

El porcentaje de interceptación en ambas especies alcanza valores

de precipitación. En ambas especies, con precipitaciones de intensidad entre 0.2-2 mm/h y de poca duración, la interceptación de la lluvia retenida por el dosel alcanza valores superiores al 80%. A medida que la duración de las lluvias aumenta el porcentaje de agua retenida en relación a la cantidad de precipitaciones va decreciendo, llegando a valores inferiores al 40 % cuando la duración supera las 10 horas.

Los valores de interceptación son menores en años secos que en años lluviosos tanto en *Cistus ladanifer* como en *Pinus pinea*. También se ha observado que la interceptación del dosel difiere entre las estaciones del año, siendo mayor en primavera y menor en otoño.

El modelo de Rutter ha sido el que mejor ajuste ha presentado en ambos ejemplares de *Pinus pinea*. El modelo de Gash en su versión original es que mejor se ha ajustado en el caso de *Cistus ladanifer*.

Una vez se extrapolen los modelos desarrollados a los individuos instrumentalizados de *Pinus pinea* situados en la zona antropizada de la cuenca, se instrumentalicen nuevos individuos de *Cistus ladanifer*, y se aplique la misma metodología a otras especies también relevantes en la zona, se podrá realizar el mapa de precipitación neta que alcanza el suelo para distintas épocas del año y distintas condiciones climáticas.

muy elevados cuando las precipitaciones son bajas y disminuye a medida que aumenta el volumen

BIBLIOGRAFÍA

- Belmonte, F.; Romero, A. 1998. A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: Interception flow collection box. *Hydrological Processes* 12: 471-481.
- Carleton, T.J.; Kavanagh, T. 1990. Influence of stand age and spatial location on throughfall chemistry beneath black spruce. *Can. J. For. Res.* 20, 1917-1925.
- Gash, J.H.C. 1979. An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105: 43-55.
- Gerrits, A.M.J.; Pfister, L.; Savenije, H.H.G. 2010. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrological Processes* 24: 3011-3025.
- Moreno-Pérez, M.F.; Roldán Cañas, J.; Cienfuegos, I. 2012. Interceptación de la lluvia por la vegetación en una cuenca hidrográfica con clima mediterráneo. XXV Congreso latinoamericano de hidráulica San José, Costa Rica.
- Pérez Arellano, R.; Moreno Pérez, M.F.; Roldán Cañas, J. 2016. Comparación de modelos de interceptación de agua de lluvia en individuos aislados de *Pinus pinea* y *Cistus ladanifer*. *Ingeniería del Agua* 20 (3): 153-168. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/ia.2016.4713>.
- Rutter, A.J.; Kershaw, K.A.; Robiens, P.C.; Morton, A.J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. 1) Derivation of the model form observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology* 9: 367-384.
- Valente, F.; David, J.; Gash, J. 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology* 190, 141-162. ■



Workshop organizado por HERCA y WENRA en Bled, Eslovenia, en junio de 2016

CONSECUENCIAS DE ESTAS NORMATIVAS: LA CONSOLIDACIÓN DE LOS PEER-REVIEW EN EL MARCO INTERNACIONAL NUCLEAR

LAS NUEVAS DIRECTIVAS DE SEGURIDAD NUCLEAR Y GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Este artículo pone fin a la trilogía que hemos publicado en las dos últimas entregas de Estratos dedicada al Derecho Comunitario que afecta a la gestión de residuos radiactivos. En las dos publicaciones anteriores hemos descrito los orígenes y contenidos del Tratado Euratom y en particular los desarrollos del capítulo sobre protección radiológica y seguridad nuclear hasta el momento en que se constituyó ENSREG (2007). Se analizan aquí las nuevas Directivas de Residuos y Seguridad Nuclear y algunas de sus consecuencias, deteniéndonos en particular en la figura del peer-review y sus consecuencias previsibles.

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

Fotos: **ENRESA**

LA DIRECTIVA DE SEGURIDAD NUCLEAR DE 2009. FUKUSHIMA Y LOS STRESS-TESTS

Cuando en el año 2007 se constituyó el Grupo de Alto Nivel de autoridades nacionales en seguridad nuclear

y gestión de residuos, grupo conocido como ENSREG¹, una de las primeras tareas que se le encomendó fue la colaboración con la Comisión Europea en la adopción, al fin, de una Directiva de Seguridad Nuclear. En junio de 2009 se

¹ Grupo constituido por Decisión de la Comisión, de 17 de julio de 2007, sobre el establecimiento de un Grupo Europeo de Alto Nivel en seguridad nuclear y gestión de residuos (2007/530/Euratom), véase www.ensreg.eu

adoptó tal Directiva², culminando así una serie de esfuerzos de la Comisión que se remontaban a finales de 2002 (Paquete Nuclear).

Tal como fue adoptada, la Directiva 2009/71/Euratom de Seguri-

² Directiva 2009/71/Euratom del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares.



© WENRA

dad Nuclear quedaba por debajo de las expectativas iniciales de la Comisión Europea ya que, lejos de introducir nuevos requerimientos de seguridad nuclear en Euratom, se limitaba a reproducir contenidos de la Convención de Seguridad Nuclear, adoptada quince años antes a instancias del OIEA³. En puridad, los únicos aspectos novedosos que se recogían en esta Directiva y no aparecen en dicha Convención eran dos: frente a la Convención, que restringe su aplicación a las centrales nucleares e instalaciones adjuntas, la Directiva de 2009 se aplicaba a un conjunto más amplio de instalaciones nucleares; y en ella se introducía el derecho de información al público del Convenio de Aarhus⁴, que no se contempla en la Convención. La aportación más importante de la Directiva, empero, era precisamente el hecho de que se trataba de una Directiva; es decir, que las obligaciones establecidas por un Convenio internacional se cristalizaban en Derecho comunitario, lo que significa que se iban a dotar de plena fuerza vinculante, con la posibilidad de invocar al Tribunal de Justicia de la UE si no se le daba cumplimiento y con el

papel de la Comisión como “guardiana de los Tratados”. Aunque el contenido de la Directiva de 2009 no fuera nada innovador, la Comisión Europea, pragmática, había preferido adoptar esta Directiva a no tener ninguna, observando que así se instituía un marco de regulación básica en el área de seguridad nuclear en Europa y a la espera de que ocasiones más propicias favorecieran que se profundizara en ese marco.

El accidente nuclear de Fukushima, ocurrido el 11 de marzo de 2011, proporcionó esa ocasión. Apenas tres días después del accidente, la Comisión Europea convocaba una reunión de alto nivel con reguladores y representantes de Gobiernos e industria donde, hasta donde llega el conocimiento de la que suscribe este artículo, se consideró por primera vez la realización de stress-tests a las centrales nucleares de la UE. La iniciativa se consolidaba el día 21 de marzo en una reunión extraordinaria del Consejo de Energía de la Unión Europea. La idea era que debería revisarse la seguridad nuclear de todas las centrales nucleares europeas utilizando una evaluación completa de la seguridad y el riesgo («stress tests»), cuyo alcance y modalidades debería ser fijado por ENSREG y la Comisión Europea a la luz de las lecciones aprendidas

de Fukushima, haciendo uso de la experiencia y las capacidades de WENRA⁵. Las autoridades reguladoras nacionales conducirían estas evaluaciones, cuyos resultados se harían públicos, y se procuraría promover la realización de las mismas no sólo en la Unión Europea, sino en países vecinos. El objetivo era implementar los estándares más elevados de seguridad nuclear y mejorarlos y promoverlos en el marco internacional. También se concluyó que “la Comisión revisaría el marco legal y regulatorio para la seguridad nuclear de las instalaciones y propondría para finales de 2011 las mejoras que considerara necesarias”⁶. A partir de este momento se hizo evidente que la Comisión tendría que proponer y revisar con los Estados miembros una amplia enmienda de la Directiva de Seguridad Nuclear; pero primero tendrían que conducirse esos stress-tests, extraer las conclusiones pertinentes, y concluirse las negociaciones de la Directiva de Residuos, que se venían produciendo desde el año anterior y que se habían visto momentáneamente eclipsadas por Fukushima.

3 Convención de Seguridad Nuclear, hecha en Viena el 5 de julio de 1994 www.iaea.org

4 Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente, hecho en Aarhus (Dinamarca) el 25 de junio de 1998. www.unece.org

5 Western European Nuclear Regulators Association, asociación que reúne a las autoridades reguladoras nacionales europeas, constituida en 1999 y de la que hoy forman parte 18 miembros www.wenra.org.

6 Consejo de la UE, 10722/11, Bruselas 26 de mayo de 2011. <http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%2010722%202011%20INIT>

Como mínimo cada diez años los Estados miembros deber realizar autoevaluaciones de sus marcos nacionales, sus autoridades reguladoras competentes y sus programas nacionales

LA DIRECTIVA DE RESIDUOS RADIATIVOS

En efecto, antes de que ocurriera el accidente de Fukushima la Comisión Europea había comenzado a trabajar en la iniciativa de la Directiva de Gestión de Residuos Radiactivos, texto que vería la luz como Directiva 2011/70/Euratom⁷. La Evaluación de Im-

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

pacto de esta Directiva, publicada en noviembre de 2010⁸, ponía de manifiesto las razones por las que la adopción de esta nueva norma era necesaria según la Co-

8 Impact Assessment: Commission Staff Working Document – Accompanying document to the revised proposal for a Council Directive (Euratom) on the Management of Spent Fuel and Radioactive Waste - Brussels, 3.11.2010, SEC(2010) 1289 final.

9 Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de residuos radiactivos, adoptada en Viena en 1998.

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

misión, destacando que había llegado el momento de poner fin a las políticas de “esperar y ver” y que la iniciativa legislativa defendida era la que mejor perseguía el objetivo de evitar cargas a las generaciones futuras; además, contaba con el apoyo del público y los stakeholders consultados.

Durante la negociación de la Directiva de Residuos, los aspectos más debatidos fueron la intención de la Comisión de establecer una prohibición a las exportaciones de residuos fuera de la Unión Europea, objetivo que la Comisión no alcanzó plenamente –véase el artículo 4.3 del texto– y la necesidad de requerir un “safety case” a los titulares de licencia, lo que conllevaba ponerse de acuerdo en la definición de ese “safety case” –véase la plasmación final de este requisito, recogido como “demostración de seguridad” en



© Ministerio de Medioambiente de Chile

Participantes en la V Reunión de las Partes en el Convenio sobre Acceso a la Información, Participación y Justicia en materia ambiental (Convenio Aarhus) celebrado en Holanda en 2014.



El Comisario Europeo de Acción por el Clima y Energía, Miguel Arias Cañete, interviene en la Tercera Conferencia de Reguladores, celebrada en Bruselas, en junio de 2015.

la versión española en el artículo 7.3 de la Directiva–.

Para satisfacción general de la Comisión, la nueva Directiva de Residuos iba más allá del texto que le sirvió de inspiración, la Convención Conjunta de 1998⁹. No se trataba, entonces, de reproducir y “comunitarizar” los requerimientos de este convenio internacional, dándoles así fuerza vinculante en la UE, sino de trascender ampliamente dichos requerimientos. Por un lado, como se ha indicado, se introducía un régimen de control de exportaciones más estricto del vigente hasta ese momento (el de la Convención Conjunta, que había sido plasmado por la Directiva de Traslados del año 2006)¹⁰. También se introducía el principio de “quien contamina, paga” y dos principios de transparencia, el de información y el de participación

pública, derivados del Convenio de Aarhus. Se introducía la obligación de los titulares de licencia de realizar las evaluaciones de seguridad descritas (safety case/safety demonstration) con el propósito de que fueran las más completas posibles, dentro de un criterio de proporcionalidad, y se introducía el concepto de “sistemas integrados de gestión” que supera el de “garantía de calidad” de la Convención Conjunta –artículo 7.4 de la Directiva–. Pero lo más importante de todo fue la obligación establecida por la Directiva, y que no estaba recogida en ningún otro texto internacional, de que los Estados miembros elaboraran programas nacionales estableciendo sus políticas y estrategias de gestión de residuos. Estos programas, que abarcarían toda la vida del residuo, desde su generación hasta su almacenamiento definitivo,

debían ser adoptados por los Estados miembros a más tardar en agosto de 2015 y debían revisarse y actualizarse periódicamente. De este modo, podía asegurarse que los Estados miembros de la Unión Europea iban a contar no sólo con marcos nacionales adecuados a nivel institucional y normativo, sino que estos marcos se iban a poner en marcha en un “hacer”, emprendiéndose los pasos necesarios para alcanzar el objetivo del almacenamiento definitivo en Europa. Por cierto: el control de exportaciones establecido por la Directiva no obsta para que se puedan acometer almacenamientos compartidos entre Estados miembros si hay voluntad política para ello, teniendo que coordinarse así sus programas nacionales.

Una cuestión diferente de los contenidos de la Directiva son los pro-



Sesión de la Tercera Conferencia de Reguladores sobre Seguridad Nuclear en Europa. Julio 2015

cedimientos previstos para asegurar su cumplimiento. Se establece aquí un doble mecanismo: por un lado, los Estados miembros deberán presentar informes periódicos sobre la aplicación de la Directiva por primera vez en agosto de 2015, y a partir de entonces cada tres años, coincidiendo con los ciclos de revisión de la Convención Conjunta. Cuando la Comisión Europea haya recibido estos informes, deberá presentar a su vez un informe al Parlamento Europeo y al Consejo sobre los progresos realizados en los Estados miembros y sobre inventarios de residuos presentes y futuros. Por otro lado, como mínimo cada diez años los Estados miembros deben realizar autoevaluaciones de sus marcos nacionales, sus autoridades reguladoras competentes y/o sus programas nacionales –sobre la disyuntiva se hablará después–, y deben invitar a una

revisión internacional inter pares acerca de estos aspectos, cuyos resultados serán dados a conocer públicamente.

La cuestión se complica en este punto, ya que estas obligaciones han de combinarse con las resultantes de los Convenios internacionales (Convención Conjunta y Convención de Seguridad Nuclear, para aquellos países que disponen de centrales nucleares) y con las emanadas de la Directiva de Seguridad Nuclear, que, como veremos, sufrió una importante modificación en 2014.

LA NUEVA DIRECTIVA DE SEGURIDAD NUCLEAR DE 2014: PRINCIPALES ENMIENDAS

Como se ha explicado, los acontecimientos de Fukushima y la rea-

lización de stress-tests pusieron de relieve la necesidad de reforzar el marco de seguridad nuclear en Europa, y para ello era ineludible enmendar la Directiva de Seguridad Nuclear de 2009. La nueva Directiva 2014/87/Euratom, de enmienda de la anterior, perseguiría, entre otros objetivos, el de reforzar el papel de los organismos reguladores nacionales. Como indica la Exposición de Motivos de la misma: “Las disposiciones de la Directiva 2009/71/Euratom relativas a la separación funcional de las autoridades reguladoras competentes deben reforzarse para garantizar que estas sean realmente independientes de cualquier influencia indebida en su toma de decisiones reguladoras y que dispongan de los medios y competencias adecuados para realizar convenientemente las responsabilidades que se les hayan asignado”. Si la Directiva de

2009 sólo contenía provisiones mínimas sobre la independencia del regulador nuclear, este debería dotarse con fondos suficientes (presupuesto propio) y personal especializado y con la cualificación necesaria para permitir su funcionamiento eficaz, además de unos requisitos claros para el nombramiento y cese del personal directivo y para la resolución de conflictos de interés.

Los objetivos de seguridad de las instalaciones nucleares fueron ampliados en el artículo 8 bis y siguientes, y así, esta nueva Directiva exige a los Estados que eliminen prácticamente la posibilidad de que un accidente dé lugar a una liberación al exterior importante, o inmediata, de radiactividad. Los titulares de licencia deben reevaluar sistemática y periódicamente, al menos cada diez años, la seguridad de sus instalaciones nucleares bajo la supervisión del organismo regulador; esto afecta en particular a las centrales sometidas a una extensión de vida. Además, las centrales de nueva construcción se diseñarán de tal manera que se garantice que si el núcleo del reactor sufre daños, esto no tenga consecuencias fuera de la instalación.

La Directiva de 2009 no trataba la preparación y respuesta ante emergencias, cuestiones que fueron introducidas en 2014 entre las medidas organizativas que son responsabilidad del titular de licencias. A partir de este momento, entre otras medidas, deberán establecerse guías para la gestión de accidentes y centros de respuesta ante accidentes.

Otro aspecto que se reforzó fue el de la transparencia: la Directiva de 2009 establecía una obligación genérica de información pública,

sin imponer ninguna obligación al titular de la licencia; y a partir de este momento, tanto el regulador como el titular son requeridos para desarrollar una estrategia de transparencia que defina cómo informar al público, no sólo en caso de accidente, sino también durante el funcionamiento normal de la central.

El sistema anterior de peer-reviews o revisiones inter pares fue reforzado, y un nuevo tipo de peer-review centrado en uno o varios aspectos específicos de seguridad nuclear de las instalaciones, que debe organizarse, al menos, cada seis años, fue añadido a los peer-reviews ya establecidos por la Directiva de 2009, los cuales abarcaban la seguridad nuclear del programa completo y debían realizarse cada diez años. Al menos se suavizó el requisito de presentar informes periódicos, y tras la reforma de 2014 sólo se requiere la presentación a la Comisión de dos informes, uno en 2014 y otro en 2020.

La envergadura de los requisitos introducidos por la Directiva de 2014 hizo necesario que se concediera un amplio plazo de transposición para los Estados miembros. Las disposiciones normativas necesarias para dar cumplimiento a la Directiva deben haberse adoptado en agosto de 2017.

¿INFLACIÓN DE INFORMES NACIONALES Y PEER-REVIEWS? ALGUNAS CONSECUENCIAS DEL NUEVO MARCO COMUNITARIO DE SEGURIDAD NUCLEAR Y GESTIÓN DE RESIDUOS

En la práctica internacional, se conoce como “peer-reviews” o

revisiones inter pares a las revisiones realizadas por organismos homólogos para validar las prácticas que se realizan en un determinado aspecto y en un determinado país. La nueva Directiva de seguridad nuclear contiene en su preámbulo esta reflexión sobre el concepto y la utilidad de los peer-reviews:

“21. En el pasado, se han efectuado autoevaluaciones en Estados miembros en estrecha relación con las revisiones internacionales inter pares auspiciadas por el OIEA, como las misiones del Equipo Internacional de Evaluación Reglamentaria o del Servicio Integrado de Examen de la Situación Reguladora. Estas autoevaluaciones fueron efectuadas por los Estados miembros sobre una base voluntaria en un espíritu de apertura y transparencia, de igual manera que las invitaciones que se extendieron a las misiones. Las autoevaluaciones, así como las revisiones inter pares conexas de las infraestructuras legislativa, reguladora y organizativa, deben tener como objetivo reforzar y mejorar el marco nacional de los Estados miembros, al tiempo que reconocen sus competencias en la garantía de la seguridad de las instalaciones nucleares en su territorio. Las autoevaluaciones seguidas de las revisiones internacionales inter pares no son ni una inspección ni una auditoría, sino un mecanismo de aprendizaje mutuo que acepta diferentes enfoques de la organización y práctica de una autoridad reguladora competente, y en las que al mismo tiempo se examinan las cuestiones reglamentarias, técnicas y políticas de los Estados miembros que contribuyen a garantizar un sistema de seguridad nuclear firme. Las revisiones internacionales inter pares de-

ben ser consideradas como una oportunidad de intercambio de experiencias profesionales y de puesta en común de las lecciones aprendidas y buenas prácticas en un espíritu de apertura y cooperación mediante el asesoramiento de los pares, más que como un control o un juicio. Reconociendo la necesidad de flexibilidad y adecuación respecto de los diferentes sistemas existentes en los Estados miembros, un Estado miembro debe tener libertad para determinar las partes de su sistema que se someten a la revisión inter pares invitada, con el objeto de llevar a cabo una mejora continua de la seguridad nuclear”.

Este considerando desacostumbradamente extenso nos da la

idea de la importancia que tienen los peer-reviews en el nuevo marco de regulación comunitario. El peer-review supone un cambio de paradigma en las relaciones entre reguladores y regulados y de los Estados miembros entre sí, ya que tiene un enfoque menos punitivo que la regulación tradicional y pone el foco en el intercambio de conocimientos y la comparación entre países.

Ahora bien, si en teoría la práctica del peer-review es algo comúnmente aceptado, no lo es tanto la inflación de este tipo de procedimientos que se ha venido produciendo y aun está por producirse en los próximos años. Los siguientes peer-reviews son el resultado de la aplicación com-

binada de las dos (tres) nuevas Directivas:

- Cada diez años, a contar desde 2011, revisiones del marco nacional y autoridades reguladoras competentes en virtud de la Directiva de Seguridad Nuclear de 2009 (artículo 9 de la misma).
- Cada diez años, a contar desde 2013, revisiones del marco nacional, autoridades reguladoras competentes y/o programas nacionales (sin que se comprenda el sentido de la disyuntiva, ya que la Comisión rechaza que se excluya el programa nacional), en virtud de la Directiva de Residuos (artículo 14.3).



Sede del OIEA en la ciudad de Viena.

© OIEA

- Cada seis años, a contar desde 2017, peer-review a través de las autoridades reguladoras, “haciendo un uso pertinente del ENSREG y basándose en la experiencia de la WENRA”, sobre un tema técnico específico común en relación con la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares, en virtud de la Directiva de Seguridad Nuclear de 2014 (artículo 8 sexies).

Hay que considerar que estas obligaciones se añaden a una doble carga: por un lado, los peer-reviews van comúnmente precedidos de una autoevaluación en profundidad de las cuestiones que van a tratarse en el peer-review (lo cual a efectos de planificación supone dedicar a la autoevaluación el año anterior a aquel en que se ha planificado el peer-review). Por otro lado, los peer-reviews se superponen a la elaboración de informes nacionales, en virtud de ambas Directivas, para explicar a la Comisión Europea los avances en la aplicación de las mismas. Si bien la Directiva de 2014 aligeró este requisito para los Estados miembros, determinándose, en principio, que bastarían dos informes nacionales en 2014 y 2020 (sólo en lo referente a la Directiva de Seguridad Nuclear), la Directiva de Residuos impone de forma indefinida esta obligación, cuya puesta en marcha da comienzo en agosto de 2015 (artículo 14.1 y 2). Y todo ello se viene a sumar a la propia celebración de ciclos de revisiones en el seno del OIEA para dar cumplimiento a la Convención Conjunta y a la Convención de Seguridad Nuclear, ya que, hasta donde se sabe, ni los informes ni las revisiones en Euratom sirven para suplir los derivados de la normativa internacional. Ha de

considerarse que los expertos que se ven sometidos a peer-review en un determinado país a menudo participan en las evaluaciones que se hagan a otros países, ya que a fin de cuentas el número de expertos en este campo en Europa es limitado; el resultado es una gran movilización de expertos y de recursos en la realización de estas evaluaciones y de la propia elaboración de informes, tanto para Euratom como para el OIEA. Cabe preguntarse, de este modo, si el beneficio que se obtiene de la aplicación de este sistema compensa los esfuerzos realizados.

Esta no es la única cuestión problemática relacionada con la nueva era instaurada de autoevaluaciones y peer-reviews. Un reto adicional es la disponibilidad de este tipo de servicios en la comunidad internacional. Para dar cumplimiento al requisito de organizar peer-reviews en la Directiva de Seguridad Nuclear, se viene aceptando que los países se sometan a una misión de tipo IRRS (Integrated Regulatory Review Service), cuya organización provee el OIEA. Sin embargo, para dar cumplimiento a la obligación similar de la Directiva de Residuos se ha considerado que las misiones tipo IRRS no bastan, ya que en teoría su ámbito de aplicación no está enfocado al análisis de políticas de gestión de residuos. Ante esta nueva demanda, el OIEA está desarrollando un nuevo tipo de misión, llamado ARTEMIS¹⁹, que constituirá un peer-review adecuado para dar cumplimiento a la Directiva de Residuos. El OIEA se encuentra en este momento definiendo los contenidos y procedimientos de ARTEMIS en colaboración con EURATOM, y entre los dos organismos

¹⁹ <https://www.iaea.org/artemis/>

se ha suscrito un Memorandum of Understanding que sirve de base para su coordinación. También ENSREG está siguiendo de cerca el diseño y aplicación de ARTEMIS. Aunque las Directivas no establecen de qué tipo han de ser los peer-reviews, lo cierto es que en el ámbito internacional a día de hoy no existen servicios comparables a los ofrecidos por el OIEA.

Otra cuestión que se suscita es: ¿sobre la base de qué normativa han de aplicarse los peer-reviews? Por un lado, los servicios suministrados por el OIEA se remiten a la normativa elaborada por este organismo –no sólo a los Convenios internacionales sino también, y con mayor fuerza, a los estándares internacionales elaborados en su seno-. Esto indirectamente convierte a los estándares del OIEA en documentos de obligada aplicación, si bien en principio no fueron elaborados con la vocación de tener tal fuerza vinculante. Otro tanto va a ocurrir por los estándares elaborados por WENRA respecto a los peer-reviews “temáticos” de la nueva Directiva de Seguridad Nuclear, los que han de celebrarse cada seis años: ya que dichos peer-reviews van a apoyarse en la documentación producida por WENRA, dichos documentos van a adquirir una naturaleza próxima a la normativa, sin que WENRA sea, en principio, una institución empoderada para producir normas –sí lo pueden ser, en sus respectivos países, los reguladores que forman parte de WENRA-.

En definitiva, estamos asistiendo a unos desarrollos y a unas prácticas inéditos y peculiares. Todo ha de ser que redunden en un fortalecimiento de la seguridad nuclear en Europa. ■



FRANCIS MOJICA, BIÓLOGO Y DESCUBRIDOR DEL SISTEMA CRISPR QUE PERMITE MODIFICAR EL ADN DE CUALQUIER ORGANISMO

“ES POSIBLE ESCRIBIR EN NUESTRO GENOMA COMO SE HACE CON UN EDITOR DE TEXTOS”

El Sistema CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) se ha revelado como una técnica sencilla, eficaz y económica para la modificación del genoma de células de cualquier organismo y aplicable también al ADN humano. Con este método, uno puede manipular el ‘texto’ como quiera, pero, aun teniendo todas las letras, como la información genética es inmensa hay que saber exactamente para qué sirven las proteínas que se generan a través de esas letras. CRISPR-Cas permite modificar la información de los genes que generan esas proteínas y ver su efecto para relacionar la función de éstas con esa información genética. Así es posible reproducir los defectos genéticos en un avatar para identificar cuáles son los cambios responsables de una enfermedad.

Texto: **GERMÁN HESLES**

Fotos: **ROBERTO RUIZ**

Este ilicitano nacido en 1963, y profesor del Departamento de Fisiología, Genética y Microbiología de la Universidad de

Alicante, descubrió en 1993 unas extrañas secuencias repetidas en microorganismos y en 2005, acuñó el término CRISPR anunciando que podían estar relacionadas con la inmunidad de las bacterias a la infección por determinados virus. La repercusión y las aplicaciones de esta técnica han hecho que su nombre llegase a sonar entre la comunidad científica internacional como aspirante a recibir el Premio Nobel de Medicina.

¿Cómo se interesa Francis Mojica por la investigación básica?

Tras acabar Biología, acudí a la Universidad de Alicante buscando la posibilidad de entrar en la división de Microbiología. Empecé haciendo análisis microbiológicos de las aguas de las playas de la provincia de Alicante y lo compaginaba, hasta que conseguí una beca específica, con la tesis doctoral.

¿Sabía lo que estaba buscando cuando trabajaba en las salinas de Santa Pola?

Inicialmente eran trabajos de biología molecular, estudios sobre mecanismos moleculares, pero, casi por casualidad, me encontré secuenciando partes del genoma de estos microorganismos que podían estar implicados en el crecimiento en ambientes extremos. Hallé un patrón muy particular y, evidentemente, me llamó muchísimo la atención. Cuando terminé la tesis continué con ello.

¿Hasta qué punto el descubrimiento tiene que ver con la serendipia?

Es cien por cien serendipia. Yo buscaba una explicación a por

qué existían estas estructuras tan peculiares, pero, sí, fue una suerte buscada. De cualquier forma, estaba convencido de que lo que descubrí era relevante.

¿Qué fue lo que encontró?

Repeticiones del genoma en organismos procariotas –los que no tienen el núcleo celular diferenciado por una membrana–, de bacterias y arqueas. Una secuencia muy-muy corta, con 30 bases en promedio, que se repite varias veces. Están repetidas de una forma muy peculiar, regularmente espaciadas. Entre una repetición y la siguiente hay una distancia fija. Repeticiones que, más tarde, bautizaría como CRISPR.

Pero ¿cómo se da con ello?

Lo vimos analizando regiones del genoma de estos organismos de las salinas y lo encontramos secuenciando y buscando en regiones muy concretas. Con los años hicimos experimentos manipulando estas regiones para ver qué le pasaba a la célula. Vimos que la célula se moría cuando la manipulabas, lo cual indicaba que eran regiones muy importantes para la célula. Los espacios que hay entre estas repeticiones no son vacíos, son secuencias, letras o palabras, son los espaciadores. Cuando se descubrió el otro componente de CRISPR, los genes Cas que dan lugar a las proteínas que están implicadas en la función de estos sistemas en conjunto, se relacionaron con estas repeticiones, fuera cual fuese su función, porque estaban muy cerca.

¿Lo que se descubrió fue la estructura de un organismo?

Una estructura ajena a ese organismo, pues lo que vimos es que esos espaciadores procedían de elementos genéticos que invadían a los procariotas, y la mayoría

eran secuencias idénticas a los genomas de virus que infectan a las bacterias arqueas. Llegamos a la conclusión de que estábamos trabajando con un sistema inmunológico que tenían estos microorganismos para luchar frente a invasores.

¿No se sabía que las bacterias tuviesen sistema inmunológico?

Se sabía que tenían sistemas para defenderse del material genético ajeno y en algunos casos para destruirlo, pero este sistema, CRISPR, es diferente en un aspecto fundamental y es que se trata de una inmunidad adquirida. Los otros sistemas no son capaces de aprender respecto al invasor. En el caso de CRISPR-Cas es una inmunidad adquirida, igual que cuando a nosotros nos infecta una bacteria específica nos inmunizamos frente a esa bacteria y cuando nos vuelve a infectar la destruimos. El CRISPR-Cas coge un fragmente de material genético de ese virus y lo introduce en estas agrupaciones de repeticiones en forma de un nuevo espaciador. Este espaciador actuaría de forma similar a nuestros anticuerpos. Así la bacteria tiene una imagen, una memoria de ese virus que le está infectando y la utiliza en posteriores infecciones para reconocer ese virus y destruirlo.

Las investigaciones van encaminadas a corregir genes defectuosos sirviéndoos de este sistema. ¿Cómo es el proceso?

Estos Sistemas CRISPR-Cas pueden ser transferidos a otros seres vivos desde sus hospedadores naturales; en su totalidad o sólo alguno de sus componentes. Lo que hacen las proteínas Cas es reconocer una secuencia determinada y cortarla, y el reconocimiento de esa secuencia está guiado por los espaciadores. Se puede introducir en una célula humana

CRISPR sirve para cualquier tipo de manipulación genética. Es posible eliminar fragmentos de ADN o cambiarlos de cromosoma. Y es el sistema más eficaz, sencillo, preciso y económico

uno de estos espaciadores con las repeticiones al lado, como si fuera una imagen de dónde tiene que ir la proteína Cas que uno introduce en la célula, y esta proteína actúa como unas tijeras. Uno guía esas tijeras a cualquier sitio del genoma de un ser vivo simplemente proporcionándole esa guía, esa fotografía y esas tijeras.

¿Cómo se lleva a cabo esa guía?

Muy fácilmente, se introduce un fragmento de ADN o ARN que tiene esa información de secuencia

de nucleótidos. Ésa es la guía. Va a encontrar una secuencia que sea equivalente a ella misma y se va a unir. Y esta guía ya va cargada con la proteína Cas. Cuando se pega a esta secuencia complementaria la proteína, va a cortar en un sitio muy preciso dentro de esa diana natural. Lo que se hace con esto es cortar, pero, al cortar material genético en una célula viva, se inducen unos sistemas de reparación que intentan desesperadamente volver a ligar lo que se ha cortado para que sobreviva la célula. Esos sistemas, con la

desesperación de reparar el daño, comenten errores y esos errores hacen que esa región cambie. La consecuencia normalmente es que la información derivada de esa región de nuestro genoma deje de ser funcional... La forma más sencilla de actuación sobre el sistema de reparación es conseguir que un gen concreto no produzca en alguien enfermo la proteína cuya información está codificada por ese gen.

¿Existen otros métodos?

Hay otro sistema más interesante: una vez que se ha producido el corte se necesita un molde para reparar ese daño y, en lugar de 'pegamento', se usa una 'tiritita' con una información que puede introducir uno mismo. A la célula se le añade la proteína Cas, la guía para las tijeras, y también un fragmento de ADN que se corresponda, al menos en parte, con el sitio en el que se va a hacer el corte. Así se reemplaza la información genética en el gen seleccionado. Eso implica que es posible editar la información genética, hacer que un gen que no sea funcional lo sea o meter nuevos genes, eliminar información genética. Es posible escribir, como con un editor de textos, en nuestro genoma.

Entonces, ¿significa que con una técnica se pueden anular defectos genéticos y con otra que un gen produzca las proteínas que se requieren para reparar nuestro organismo?

Exacto. Si hay una proteína que funciona mal, porque tiene un defecto al producirse un cambio en la información genética debido a una mutación, es posible rectificar la información del gen y dejarlo en su forma funcional, silvestre.



Mojica acuñó el término CRISPR anunciando que unas extrañas secuencias repetidas en microorganismos podían estar relacionadas con la inmunidad de las bacterias a la infección por determinados virus.

BIO de un biólogo

Francisco Juan Martínez Mojica (Elche, 1963), más conocido como Francis Mojica en los círculos científicos, es profesor del Departamento de Fisiología, Genética y Microbiología de la Universidad de Alicante.

En 1993, descubrió unas extrañas secuencias repetidas en microorganismos y anunció, en 2005, que podían estar relacionadas con la inmunidad de las bacterias a la infección por determinados virus. Así acuñó el término CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), reconocido hoy en día por toda la comunidad científica internacional.

El descubrimiento de este investigador dedicado a la ciencia básica, fundamental, ha posibilitado desarrollar una tecnología de edición genómica que permite corregir genes defectuosos con un gran nivel de precisión y abaratando los costes.

Son muchos los colegas científicos, no sólo en España, que avalan que su descubrimiento es merecedor del Premio Nobel de Medicina.

Explicado así, parece que CRISPR-Cas sirve para casi todo...

Sirve para cualquier tipo de manipulación genética. Es posible eliminar grandes fragmentos de ADN, darles la vuelta, cambiarlos de cromosoma... Y muchísimas cosas más. Y es más eficaz, sencillo, preciso y económico.

Parece casi un proceso de 'corta y pega'...

Incluso se puede pegar sin cortar y modificar sin tener que cortar. Cortar y pegar o reescribir, borrar y cambiar letras. Como un texto que uno puede manipular como quiera. Lo que pasa es que la información genética es enorme y se tienen todas las letras, pero luego hay que saber exactamente para qué sirven las proteínas que se generan a través de esas palabras. CRISPR-Cas permite modificar la información de los genes que generan esas proteínas que no sabemos para qué sirven; podemos silenciarlos y ver su efecto para relacionar la función de esa proteína con esa información genética. Una enfermedad está causada por una información genética defectuosa. Si no se sabe exactamente cuál, se pueden hacer los cambios genéticos en un animal de laboratorio para reproducir y descubrir cuál es el cambio responsable de la enfermedad.

¿Mediante 'ensayo y error'?

Sí, eso permite reproducir los defectos genéticos en un avatar para identificar cuáles son los cambios responsables de la enfermedad. Se silencia un gen, más de uno o una parte. Permite meter en la célula unas tijeras y diez fotografías, en vez de una. Permite identificar no sólo un gen que esté

implicado en la enfermedad, sino varios... y eso hasta ahora no se podía hacer. Hay enfermedades que no son consecuencia de un defecto concreto sino de varios. El CRISPR-Cas permite analizar procesos genéticamente complejos que implican a varios genes o varias partes del genoma.

¿A qué se puede aplicar el CRISPR-Cas?

Ya se están caracterizando mejor muchas enfermedades en humanos, y sirve para conocer funciones en plantas y bacterias. Por ejemplo, es posible generar bacterias optimizadas para la producción de sustancias necesarias para elaborar insulina. Se puede lograr que las plantas sean resistentes a sequías, a la salinidad, a las plagas, o retrasar su maduración.

¿De qué modo este sistema puede emplearse en beneficio de la salud humana?

Se podría utilizar indirectamente como un agente terapéutico para curar enfermedades. Ya se han aprobado ensayos clínicos con células humanas, con células T del sistema inmunitario, para tratar tres tipos distintos de cáncer.

Y en China ya se han generado embriones humanos –no viables– resistentes al virus del SIDA.

¿La vacuna contra ese virus podría llegar por este camino?

Hay que ser muy cautos y no dar esperanza antes de tiempo, pero inyectando CRISPR-Cas 9 en ratones se ha eliminado el virus del SIDA en varios de sus órganos. Sí parece que hay muchas posibilidades de utilizar el sistema en terapias génicas ex vivo. Se cogen células del paciente, se manipulan con CRISPR y se reimplantan. Resulta mucho más complicado in vivo, inyectárselo directamente y que repare la enfermedad sin efectos colaterales. Todos los medicamentos tienen efectos secundarios, pero al dejar de tomarlos lo lógico es que desaparezcan. Con este sistema, no. Lo que se haga, ahí queda, en el genoma.

¿También en la descendencia de la persona tratada?

Eso es lo que genera grandes controversias ético-morales. No sólo se trata de eliminar una enfermedad manipulando un embrión, un ovario o espermatozoide. El rastro de lo manipulado queda para muchas generaciones. ■

Un 33% de todo el suelo mundial
está de moderada a altamente degradado

EL PAPEL DEL SUELO COMO RECURSO NATURAL

Frente a otros graves problemas, como son el cambio en el clima o la contaminación del aire y del agua, parece que todavía no se le da la suficiente importancia al actual estado y degradación del suelo, esa pequeña franja de tierra de la que depende el abastecimiento de alimento de la mayor parte de la población del planeta. Afortunadamente, investigadores y organismos están incrementando esfuerzos y recursos en advertir, proteger y recuperar. En este punto, la edafología, la ciencia que estudia el suelo centra sus estudios en la degradación de esta parte de nuestro entorno e investiga soluciones para su recuperación.

Autor: **PABLO ALMERA**



Es posible imaginar un mundo sin suelo?

¿Un mundo sin ese tapiz que es la base de una agricultura productiva (siempre que no se vea comprometida por un exceso de degradación, salinización o contaminación) que nutre a la humanidad; que es el cimiento de las masas forestales que mantienen la calidad del aire; y, en gran medida, el depurador del agua del planeta? No, no hay vida sin suelo y el suelo debe considerarse como algo vivo y que, por lo tanto, puede morir.

La edafología, la ciencia que estudia el suelo –su parte orgánica e inorgánica–, investiga la física, la química y la biología, el conocimiento sobre los procesos de formación de un suelo, de su contaminación o degradación, y las estrategias de restauración de suelos para restituir su fertilidad y productividad. Es, en definitiva, una ciencia interdisciplinar que analiza la disgregación de las rocas por la acción del clima y de la vegetación, la fisiografía, así como su interacción con la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera.

RECURSO VITAL

La edafología es una ciencia necesaria para hacer frente a problemas muy importantes, como la escasez de agua, o proveer de un mejor ambiente, con la disminución del efecto invernadero, a fin de garantizar una agricultura sostenible”, asegura Carlos García, profesor de Investigación del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), en Murcia. Algo tan simple, y tan complejo al mismo tiempo, para –como explica García– “producir alimentos de calidad y beneficiosos para la salud, y contribuir, por tanto, al progreso socio-económico y ambiental, facilitando el conocimiento indispensable para la toma de decisiones y la elaboración de normas para implementar acciones y políticas a este respecto”.

El valor y degradación del suelo es algo que debe considerarse seriamente. “Y es que sobre un suelo bien estructurado puede crecer cualquier organismo, pero no hay más suelo del que existe y cuando se degrada puede llegar a ser irrecuperable”, advierte Juan José Ibáñez Martí, doctor en Ciencias

Biológicas e Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que ha representado durante 18 años a España en el Buró Europeo de Suelos y en la Agencia Europea de Medio Ambiente, y sigue colaborando con la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación (FAO).

Ambos investigadores coinciden en señalar que el suelo no puede ser considerado con una importancia menor que la que se da a otros recursos naturales. Ni por la propia sociedad, ni por las administraciones, ni tampoco por las empresas. Y por eso, en la Estrategia Europea para la Protección del Suelo ya se ha puesto de manifiesto que desempeña un papel fundamental como recurso natural, desde una perspectiva agrícola o natural.

MEDIO METRO

Frente a otros problemas, como pueden ser el cambio climático o la contaminación aérea o acuífera, la degradación del suelo apenas ocupa espacio en los medios de comunicación. Ibáñez es consciente de esta ‘minusvaloración’: “Por

ejemplo, cuando se habla de cambio climático y su interacción con el suelo, sólo se tienen en cuenta los primeros 20 centímetros del suelo, y eso es un error". Si bien es cierto que la gran parte de la biomasa y la actividad biológica está en la parte más superficial, la capa de suelo oscila entre los 40 centímetros y los 30-40 metros en algunas zonas del planeta.

"Con la pérdida o destrucción de ese escaso medio metro de suelo se pierde también la posibilidad de que actúe positivamente sobre nuestros flujos de agua; la posibilidad del mantenimiento de un filtro depurador contra muchas de las sustancias tóxicas que llegan al mismo; y, sobre todo, la posible pérdida de biodiversidad de las poblaciones microbianas que integran ese ecosistema", asegura García.

Entre los enemigos del suelo destacan, en la actualidad, el crecimiento demográfico, el urbano, la contaminación, la salinización, la erosión y toda una serie de factores que suelen encadenarse y retroalimentarse unos a otros.

EDAFODIVERSIDAD

En 1995, Juan José Ibáñez acuñó el término más amplio de edafodiversidad, y cuyo uso, poco a poco, se ha ido extendiendo. Hasta ese momento, se hacía referencia a la biodiversidad de suelos en referencia expresa a los microorganismos u organismos vivos que se desenvuelven en el ámbito del suelo, aludiendo al tamaño de la población o biota del suelo, a sus características, a su diversidad y funcionalidad.

"Siendo muy importante en un suelo la parte bio, ligada a los microorganismos e incluso a su materia orgánica, los suelos son mucho más que eso; hay una gran cantidad de suelos diferentes en función de su estructura, de sus propiedades físicas, químicas o biológicas, de sus situaciones geográficas, de su manejo y gestión", comenta García.

Con la diversidad de suelos se da un paso más que permite mostrar los diferentes taxones (grupos, órdenes, tipos, clases...) y las funciones ambientales en las

que están implicados y regulan, como la capacidad de retener, desactivar y descomponer contaminantes; retener, infiltrar y purificar el agua; producir alimentos y fibras; dar soporte a la flora y fauna silvestre y a los productos de su metabolismo, algunos de los cuales derivan en medicamentos.

EVOLUCIÓN

No obstante, el estudio del suelo ha evolucionado y se le ha dado mayor importancia en las últimas décadas. "Sobre todo, desde que se ha adquirido la conciencia de que el suelo es algo dinámico –no estático–, algo vivo sobre el que gira en buena medida nuestra propia vida y la de la vegetación que sobre el mismo se sustenta", dice Ibáñez.

A día de hoy, se puede extraer el ADN de un suelo, secuenciarlo y así estudiar su biodiversidad. También se ha avanzado en el conocimiento de muchos de los procesos bioquímicos claves en el suelo, que ayudan a compren-

La edafología es la ciencia que analiza la disgregación de las rocas por la acción del clima y de la vegetación, la fisiografía, así como su interacción con la biosfera, atmósfera, litosfera e hidrosfera.

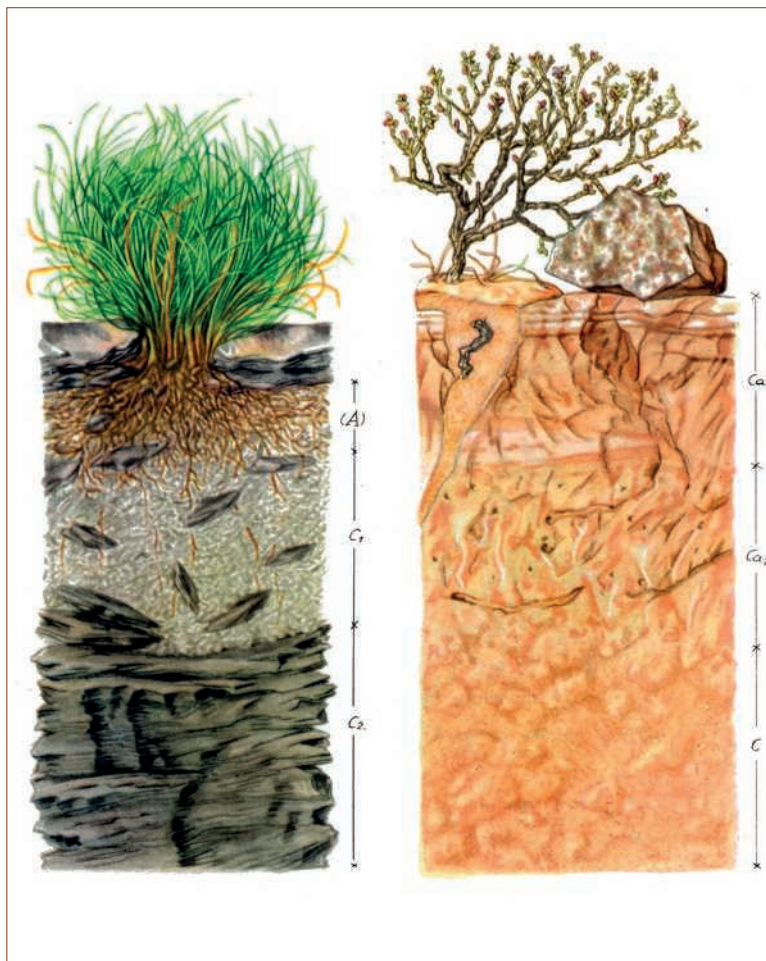


Las funciones ambientales en que están implicados los suelos son numerosas: retener, desactivar y descomponer contaminantes o retener, infiltrar y purificar el agua

der cómo se defienden frente a diferentes situaciones límite, fundamentales para conocer su capacidad de llevar a cabo sus principales funciones.

En relación con el cambio en el clima y la necesidad de entender cómo responderán los suelos

frente a ese fenómeno incierto, se han implementado estudios de futuro basados en tecnologías muy avanzadas de modelización. “No hay que olvidar la importancia, desde una perspectiva ambiental, de los suelos como posibles sumideros de carbono que permitan paliar en parte el



Acuarela de la colección de perfiles de suelos del profesor Kubiëra.

Sensibilización

La 38 sesión de la Conferencia de la FAO declaró el 5 de Diciembre como Día Mundial del Suelo con el fin sensibilizar a la población en general sobre la importancia global de los suelos, y la necesidad de conservarlos para futuras generaciones, por su papel crucial en la seguridad alimentaria, la adaptación y la mitigación del cambio climático, los servicios ecosistémicos esenciales, y la mitigación de la pobreza y el desarrollo sostenible.

En el caso concreto de España, el estado de los suelos apunta a que está perdiendo calidad debido a procesos de erosión y degradación, con una erosión moderada del nivel de, al menos, un 70% de media de todo el territorio nacional, mientras que entre un 15 y 20% llega ya a niveles de degradación severa. España está entre los países europeos con mayores índices de degradación y desertificación de suelos; y el sureste español es la parte más afectada.

efecto invernadero”, comenta García.

CALIDAD Y SALUD

Evaluar la calidad de un suelo no es sencillo, aunque existe un conjunto de parámetros físicos, químicos, biológicos, bioquímicos e incluso microbiológicos que permiten tener una visión general y exhaustiva. “El concepto de salud del suelo hace referencia

“No hay que olvidar a los suelos como posibles sumideros de carbono que permitan paliar en parte el efecto invernadero”, Carlos García-Centro de Edafología y Biología Aplicada (CEBAS)

en mayor medida a la resistencia que tiene este para mantener sus opciones de realizar las principales funciones para las que está destinado, como por ejemplo la posibilidad de incidir sobre nuestros flujos de agua, o de mantenerse como sistema depurador contra muchas de las sustancias tóxicas que llegan al mismo o, sobre todo, la posible pérdida de biodiversidad existente en ese ecosistema”, detalla Carlos García. O dicho de otra manera más sintetizada, cuanto más capacidad tenga un suelo para resistir agresiones que perturben su calidad, mejor será su salud.

Eso sí, una vez ‘enfermo’, ¿cómo se ‘cura’ un suelo? Los expertos destacan, en primer lugar, el ‘efecto acordeón’: la calidad del suelo se contrae cuando se le fuerza, y vuelve a su posición cuando dicho estrés deja de actuar. El problema es que no siempre vuelve directamente a su posición anterior. En ese mo-

mento, o bien se aplican técnicas para remediarlo y devolverle las condiciones de fertilidad y productividad natural aceptables. En el peor de los casos, se puede llegar al extremo en que su recuperación ya no sea factible.

Las técnicas que se emplean para recuperar un suelo son varias. La biorremediación mediante el uso de microorganismos para sanear y eliminar contaminantes de tipo orgánico, como pesticidas, hidrocarburos y compuestos orgánicos diversos. La fitorremediación, con el uso de plantas en descontaminación de suelos para eliminar por ejemplo metales pesados o iones como los nitratos. Y, sobre todo, la prevención, asumiendo estrategias para evitar procesos de degradación.

La edafología ha puesto de manifiesto en los últimos años la velocidad de deterioro del suelo y lo complicado y costoso –en

Diez claves de la función de los suelos

Los suelos son el elemento que aporta servicios ecosistémicos que permiten la vida en la Tierra.

1. Suministros de alimentos, fibras y combustibles
2. Retención de carbono
3. Purificación del agua y reducción del contaminante del suelo
4. Regulación del clima
5. Ciclo de nutrientes
6. Hábitat para organismos
7. Regulación de inundaciones
8. Fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos
9. Base para las infraestructuras humanas
10. Suministro de materiales de construcción

dinero y tiempo– que es, pese a los adelantos tecnológicos, devolverlo a su situación original. Y es que, como en tantos ámbitos, el más vale prevenir y, por tanto, la concienciación frente al problema, siguen siendo la apuesta más segura y responsable. ■



Cuanta más capacidad tenga un suelo para resistir agresiones que perturben su calidad, mejor será su salud

© Sociedad Española de Ciencia del Suelo



En el yacimiento de las cuevas se ha encontrado un hogar de fuego de hace unos 300.000 años

QESSEM: ¿LA CUNA DE LA HUMANIDAD?

¿Hubo humanos capaces de elaborar avanzadas herramientas de piedra, o hacer hogares de fuego, y con un alto grado de inteligencia equiparable al que consiguió nuestra especie mucho después? Esa es la pregunta que algunos científicos quieren contestar estudiando los restos que están encontrando en las Cuevas de Qesem, en Israel, en el corredor que une África con Eurasia. Un yacimiento arqueológico que muestra las huellas de un asentamiento humano de entre unos 400.000 y 200.000 años de antigüedad. El hallazgo de unos dientes es el punto de partida para saber quiénes fueron.

Autor: **PAZ ALEGRÍA GARCÍA**

Fotos: **PROJECT QESEMCAVE**



Vista panorámica del emplazamiento del yacimiento, a escasos doce kilómetros de la ciudad de Tel Aviv (Israel), y vista general del entorno y la entrada a la cueva de Qesem.

Algunos científicos israelíes creen haber encontrado una especie de edén real en las cuevas de Qesem, situadas en el que para muchos es el mítico corredor levantino que une el continente de África con Eurasia, a escasos doce kilómetros de la ciudad de Tel Aviv. Y no es para menos. Hace aproximadamente entre 400.000 y 200.000 años una especie humana inteligente muy anterior a la actual cocinó en esas cavernas, conversó en torno a los hogares bajo las estrellas y esculpió herramientas de piedra tan avanzadas y artísticas que hablan por sí mismas acerca de la fina inteligencia que debieron tener sus creadores.

“Investigar en este lugar es alentador. Estas gentes ya tenían

hogares de fuego y la tecnología lítica que usaban alcanzó impresionantes cotas de avance”, afirma Jordi Rosell, especialista en zooarqueología y tafonomía, además de profesor de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, que investiga la evolución cultural de los grupos humanos del periodo Pleistoceno a través de, entre otros aspectos, el registro de la fauna.

“En el yacimiento hemos encontrado las primeras fogatas en este tiempo de la Historia”, añade el arqueólogo de la Universidad de Tel Aviv, Ran Barkai en el mismo umbral de la entrada del yacimiento arqueológico de Qesem, “Es la evidencia más antigua conocida hasta el momento en la domesticación del fuego. Traer a casa la caza y asar la carne son dos fenómenos muy humanos que hoy nos pueden parecer na-

turales, pero que en realidad no lo son. El nacimiento del hogar de fuego pertenece a un momento crucial en la evolución biológica y cultural de la humanidad”, añade Avi Gopher, codirector de las investigaciones del yacimiento Qesem.

Junto a ellos también trabaja Ruth Blasco, investigadora española adscrita al Centro Nacional de Investigación de Evolución Humana (Cnieh), quien se encarga de analizar los restos faunísticos para descubrir a través de ellos algunos aspectos de cómo fue la vida humana en esa era: “El yacimiento constituye una excepción dentro de la cronología que se encuentra entre 400 y 200.000 años. El control del fuego a la perfección hace 400.000 años es algo que no ocurre hasta mucho después en Europa y en especial en la Península Ibérica”.

Era una especie sofisticada. Un grupo de humanos inteligentes que se adelantaron en la fabricación de herramientas, que cazaban con habilidad, dominaban el fuego y se alimentaban bien

¿UNA ESPECIE ADELANTADA?

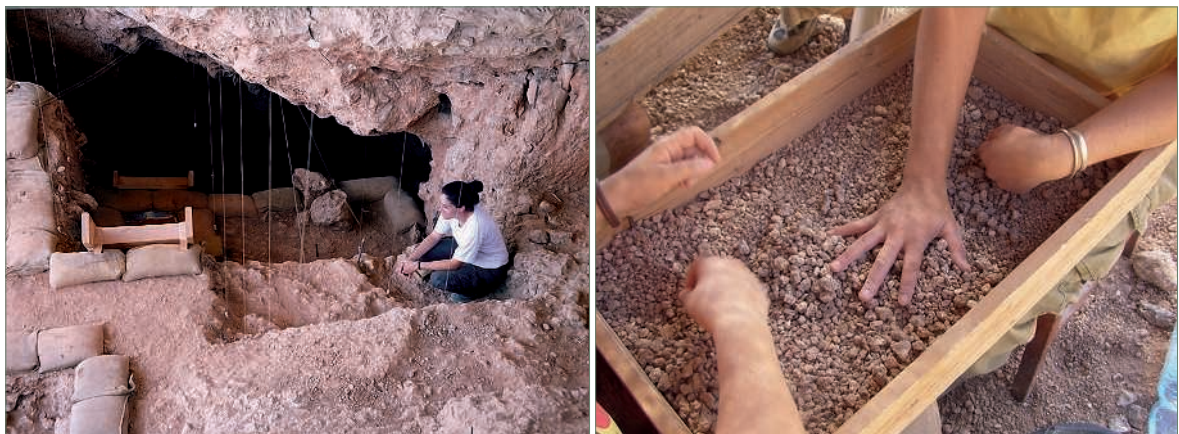
Saber quiénes eran las personas que habitaron la zona hace aproximadamente 200.000 años, esos humanos que alcanzaron unas cotas de desarrollo equiparables a las de nuestra especie mucho después, es una de las preguntas que se palpa en el aire a medida que cualquier visitante se acerque más y más al epicentro del yacimiento. La respuesta –o al menos alguna de las muchas respuestas que se quieren conseguir– no se hace esperar. “Eran desde luego un grupo muy sofisticado, gente muy inteligente que se adelantó en la fabricación de herramientas, que cazaba con habilidad, dominaba el fuego y se alimentaban bien,” explica el codirector de los yacimientos de Qesem.

“Los hogares encontrados en el yacimiento de Qesem debieron de ser el corazón de la vida doméstica en innumerables generaciones de familias de cazadores-recolectores que vagaban por la región durante la era del Pleistoceno. Periódicamente se detendrían en la cueva y permanecerían en ella durante unos pocos días o algunas semanas”, añade como unas actividades muy probables Avi Gopher a medida que este investigador desciende por las escaleras habilitadas para acceder a la cueva. Una caverna que se abre paso en el subsuelo con sus 20x15 metros de tamaño y sus apenas diez metros de altura. “Debieron de ser grupos pequeños de personas y alojarse aquí durante períodos relativamente cortos de tiempo, pero su presencia es permanente”.

COMPLEJA INDUSTRIA LÍTICA

Ya en el interior de la cueva llama sobre todo la atención la gran cantidad de sedimentos que hay en las paredes de la misma. También, por supuesto, la complejidad de su obra lítica. “En la industria se reconoce la capacidad cognitiva de una especie. Aquí, en esta cultura, se produce un salto evolutivo”, apunilla Avi. La industria de Qesem es tan característica, que numerosos investigadores se tienen que encargar de analizar y clasificar las miles de piezas obtenidas durante las diferentes campañas de excavaciones y que reflejan distintos momentos de desarrollo.

Qesem está integrado en el complejo cultural llamado Achelo Yabrudiam, que engloba un puñado de excavaciones situadas muy cerca de la zona. Analizando todas en conjunto, coincide el avanzado desarrollo tecnológico de su industria, apenas comparable con lo que miles de años después crearía nuestra propia especie. Pero nada se sabe de quienes lograron elaborar tan exquisitas obras de arte en su industria lítica.



Una de las investigadoras frente a la entrada de la cueva. Proceso de cribado en busca de piezas líticas.

¿Quiénes fueron estos humanos? es la pregunta recurrente que se hace toda persona que se acerca al legado que atesora Qesem.

La identidad de los avanzados ocupantes de Qesem es todavía un misterio y, de momento, seguirá siéndolo. Sólo hay algunas

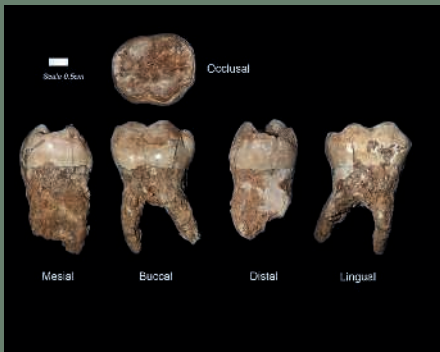
teorías, porque hasta la fecha no hay pruebas fósiles que permitan hacerse una idea certera de las características fisiológicas de la especie. El puñado de dientes que se han encontrado es insuficiente para, hoy en día, arrojar luz concluyente sobre la especie que dio ese salto evolutivo en tantos aspectos de su vida.

Diversos equipos científicos internacionales han participado en el análisis de ese puñado de dientes encontrados, pero no han llegado a ninguna conclusión definitiva. “Es todavía demasiado pronto. Las investigaciones en el yacimiento son relativamente recientes. Qesem tiene que contarnos aún muchas cosas. Apenas estamos empezando a descubrirla”, apuntilla Avi Gopher, mientras se apoya en la baranda de madera desde la que es posible contemplar el árido paisaje que rodea a la cueva.

“Si uno observa este lugar, es fácil imaginar cómo era la vida aquí en torno al fuego. La cocina, las historias tras la puesta del sol, la vida cotidiana...”, reflexiona el director de la excavación como si en algún lugar de la cueva aún fuera capaz de escuchar las voces de algunos de sus ocupantes. “En ese momento, esto debió de ser un lugar muy deseable para cualquier grupo humano. Además del refugio que da la cueva para quienes llegaran hasta aquí, se disponía de agua dulce muy cerca, afloramientos de piedra para las herramientas, caza para poder alimentarse bien y leña para cocinar. Además, aquí hubo un paisaje mediterráneo bien regado.” añade.

“Es posible imaginar cómo fue esto”, prosigue el codirector de la excavación mientras apunta

‘Afilando’ los dientes



Tras analizar las placas dentales de tres homínidos encontradas en las cuevas, y que contenían microfósiles de restos de comida, los investigadores han determinado que la dieta de estos humanos de hace 400.000 años se basaba sobre todo en carne, frutos secos, plantas y semillas. Un descubrimiento conseguido gracias al análisis químico y óptico del sarro, los cálculos dentales, ya que actúa como una especie de almacén de lo que se ingiere. Así se halló la huella química de varios alimentos:

gránulos de almidón (presentes en los hidratos de carbono), moléculas de frutos secos y fibras de plantas. Esto indica que llevaban una dieta variada y que sabían que seguirla suponía vivir más y mejor. El sarro también permite saber qué se inhala y, en este caso, los investigadores hallaron en las placas dentales moléculas de humo y así confirmar por otra vía más que esta especie usaba el fuego.

Respecto a las marcas halladas en la superficie de las piezas dentales, las primeras conclusiones del estudio de las mismas señala que no sólo utilizaban los dientes para masticar o sujetar trozos de carne que cortaban, sino que también los empleaban como herramienta para sujetar objetos. Otras señales indican que hacían uso de una especie de palillos para sus labores de higiene bucal. Del mismo modo, dichas marcas –como desgarros, desgaste o fisuras– dan a entender el patrón de estos humanos a la hora de comer: cortaban pequeñas piezas de los alimentos antes de comerlas y hacían uso de una gran potencia en el momento de masticar debido a que tenían una gran capacidad muscular y a que las comidas por regla general eran duras.

Las cuevas están ubicadas en el corredor que une tres continentes, un corredor que, debido al avance del desierto, quedó cerrado en algunos periodos e interrumpió el contacto con otros grupos

en dirección al desierto; después hacia la autopista, que, probablemente, se teme que se haya llevado por delante parte del yacimiento paleontológico; y más tarde en dirección al mar. “Esto no ha debido cambiar tanto. El Mediterráneo ha tenido épocas en las que estaba más cerca de aquí, pero el paisaje ha sido muy semejante en estos últimos 400.000 años”, sostiene Avi, profesor de la Universidad de Tel Aviv desde hace décadas, y, con lo que cuenta, imaginarse los caballos, jabalíes, tortugas o ciervos que vivían en las inmediaciones de la zona y eran caza cotidiana.

LOS ALBORES DE LA HUMANIDAD

Por 200.000 años –un periodo de tiempo casi semejante al que tiene nuestra especie e inconcebible para la imaginación humana–, la

cueva sirvió como una especie de campamento base y su legado es ahora una ventana fascinante a los albores de la humanidad. “Estaban en el comienzo de una nueva etapa de la existencia humana, cuando la gente empezó a cazar ciervos, recolectar leña



Algunas de las herramientas de piedra halladas en las excavaciones.

e incluso hacer barbacoas,” explica Avi.

“Por ese punto geográfico pasó –por decirlo de alguna manera– todo el mundo. Se está junto al Mediterráneo, en el corredor levantino que une los tres continentes, aunque el desierto lo cerrase durante algunas épocas”, recuerda Jordi Rosell. “Ha habido etapas en las que el corredor se

ha cerrado debido al avance del desierto y las migraciones se interrumpieron. Concretamente, el corredor ha estado cerrado durante los periodos de la historia que han resultado más áridos y en los que, por tanto, se debió interrumpir el contacto con otros grupos”.

Esta cultura pervivió durante 200.000 años y, curiosamente, desapareció sin dejar rastro. “Si contemplas lo que ves a tu alrededor –dice Avi en las profundidades de la cueva, a la que se llega apoyándose en cuerdas y maderas y que se extienden desde

lo alto en un entorno que en cualquier otro contexto podría llegar a resultar incluso claustrofóbico– uno se siente unido a todo, parte de todo”.

Esa afirmación resulta muy contagiosa para todo el que la escucha y,

ya una vez se sale de nuevo al exterior, frente a los restos fosilizados de las primeras grandes hogueras que emergen de la tierra, da la impresión de que en cierto modo el edén –desde el punto de vista antropológico y científico, eso sí–, ese paraíso mítico en el que se cree que al principio de los tiempos era fácil vivir, quizá aquí, en estas cuevas de Qesem, no sea sólo un mito. ■

EL SENDERO DEL ÁGUILA



© Junta Andalucía

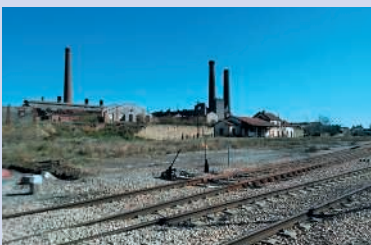
El destino de esta ruta senderista es admirar y disfrutar de uno de los bosques de ribera mejor conservados de todo el Sur ibérico. Eso sí, en el camino hacia ese espacio natural, aguardan otros 'contrastes', ya que se bordean también zonas urbanas y terrenos agrícolas y campos de crianza queson característicos de la zona.

Pág. 40

**PLAN DE DESARROLLO
SOSTENIBLE DEL
PARQUE NATURAL DE
HORNACHUELOS**

La Junta de Andalucía ha iniciado los trámites para la elaboración del Plan de Desarrollo Sostenible (PSD) del Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos. En él se establecerán las estrategias para el fomento económico en los municipios que se integran en este espacio y en sus zonas de influencia. .

Pág. 42

**CONVENIO PARA
ESTUDIAR EL SUELO DEL
CERCO INDUSTRIAL**


© Ayo. Peñarroya

El Consistorio de Peñarroya-Pueblo Nuevo ha aprobado la firma de un convenio con la Junta para que se elabore un informe sobre la calidad del suelo del Cerco Industrial. Este análisis busca determinar el grado de degradación para analizar el proceso adecuado de descontaminación.

Pág. 43

SIERRA ALBARRANA

El Cabril y su entorno



© GDR Guadilieto

**GANADERÍA, AGRICULTURA Y PAISAJE, LA RIQUEZA DEL
ALTO GUADIATO**

La Feria Agrícola y Ganadera de Fuente Obejuna (FAGA), que reúne cada año a ganaderos, agricultores, cazadores, turistas y público de toda la zona, se ha convertido en el gran escaparate de la comarca del Alto Guadiato para promocionar sus productos y afianzar la fuente de riqueza de este territorio. Ubicado al noreste de la provincia de Córdoba, ocupa más de 250.000 hectáreas y en él destacan dehesas milenarias donde hombre y naturaleza conviven en una perfecta simbiosis.

Pág. 38



Importantes asociaciones ganaderas han estado presentes con sus ejemplares de ganado ovino, bovino, caprino, aviar y equino.

LA XXXIV EDICIÓN DE LA FERIA AGRÍCOLA Y GANADERA (FAGA)
IMPULSA EL DESARROLLO DE LA COMARCA

GANADERÍA, AGRICULTURA Y PAISAJE, LA RIQUEZA DEL ALTO GUADIATO

La Feria Agrícola y Ganadera de Fuente Obejuna (FAGA), que reúne cada año a ganaderos, agricultores, cazadores, turistas y público de toda la zona, se ha convertido en el gran escaparate de la comarca del Alto Guadiato para promocionar sus productos y afianzar su fuente de riqueza. Este territorio, ubicado al noreste de la provincia de Córdoba, ocupa más de 250.000 hectáreas y en él destacan dehesas milenarias donde hombre y naturaleza conviven en una perfecta simbiosis.

Texto: **CÉSAR DE ECHAGÜE**

Fotos: **AYUNTAMIENTO DE FUENTE OBEJUNA**



FAGA tiene una gran repercusión económica al incidir en muchos sectores, como el turístico, y poner en valor los recursos endógenos de la comarca del Guadiato, prestando especial interés en su dehesa y en el valor que tiene como fuente de recursos naturales para la actividad agrícola,

ganadera y forestal”, afirma Ana Carrillo, la presidenta de Consorcio Provincial de Desarrollo Económico (CPDE).

Estas son algunas de las razones por las que esta feria –que se celebró del 23 al 25 de septiembre en el recinto ferial del municipio cor-

dobés de Fuente Obejuna– reciba desde hace 34 años a miles de ganaderos, agricultores y vecinos de la comarca del Alto Guadiato. Una cita considerada como una de las ferias ganaderas y agrícolas más importantes de la región y de España en la que potencian sus negocios. “Económicamente es

muy importante para el municipio, el sector hotelero atiende una gran demanda de consumiciones alimentarias y pernoctaciones. Pero también para toda la comarca del Guadiato. En los stands de este año ha habido empresarios de muchos municipios y todos han mostrado su satisfacción. Se han cubierto las expectativas respecto a años anteriores: se ha vendido todo el ganado subastado y se han superado los diez mil visitantes”, dice Silvia Mellado, alcaldesa de Fuente Obejuna.

La dehesa es la protagonista en este encuentro y se incide en la importancia de la supervivencia y conservación de este espacio natural como base de la economía y patrimonio del norte de Córdoba. Un valor que se espera cristalice en el Pacto Andaluz por la Dehesa que promueve actualmente la Junta de Andalucía. “No se puede olvidar la gran importancia ecológica, económica, social y cultural de las dehesas, lo que justifica la necesidad de coordinación entre todos los sectores implicados”, dice Carrillo, quien recuerda que son un modelo de convivencia

entre el aprovechamiento de los recursos y la conservación de la flora y de la fauna y, también, la principal actividad generadora de renta y empleo de las zonas en donde se encuentran. “Las dehesas contribuyen a evitar el despoblamiento de territorios en los que apenas hay otras alternativas productivas y sirven de sustento a algunas de nuestras especies más amenazadas, como el lince, el buitre negro o el águila imperial ibérica”, recalca la presidenta de CPDE.

TURISMO RURAL

El potencial turístico que ofrece el paisaje de la dehesa cobra cada vez más fuerza. Vecinos e instituciones trabajan para mantener la sostenibilidad de la zona y afianzar el turismo rural y cultural que permite disfrutar al visitante de antiquísimas explotaciones mineras, restos arqueológicos romanos, una succulenta gastronomía o adentrarse en las estribaciones de Sierra Morena. “Estamos potenciando FAGA porque entendemos que hay que pro-

LA DEHESA Y SU EQUILIBRIO PERFECTO

El paisaje rural del Alto Guadiato está dominado por la dehesa, que surge de una alteración sostenible del entorno. Una alteración que se inició a mediados del tercer milenio A.C. con la tala de árboles para facilitar pastos para el ganado y campos para el cultivo, y que se ha mantenido hasta la actualidad configurando el paisaje definitivo de esta zona y, además, el foco económico de toda la comarca.

Encinas, alcornoques y acebuches son los garantes de un ecosistema donde abunda pasto para el ganado que, a su vez, fertiliza las tierras donde se cultivan cereales de gran calidad. Además, la belleza y riqueza faunística de la zona alimenta el incremento de un turismo rural y cinegético.



Entre las actividades complementarias de la feria, hubo exhibición de cortadores de jamón.

mover y dar a conocer la riqueza del patrimonio natural, ya que es la base de nuestra economía y una apuesta de futuro”, comenta Javier Montero, edil del Ayuntamiento de Fuente Obejuna.

XXXIV EDICIÓN

En esta edición se han instalado más de 50 stands en los que se comercializaron todo tipo de productos y se celebraron variadas actividades: carreras de galgos, exhibiciones de cortadores de jamón o el espectáculo Córdoba Ecuestre, a cargo de las Cabelle-rizas Reales de Córdoba. Importantes asociaciones ganaderas han estado presentes con sus ejemplares de ganado ovino, bovino, caprino, aviar y equino, para subasta, la gran mayoría, y exposición. ■

LA RUTA, SEÑALIZADA CON HITOS DE MADERA, CONDUCE AL BOSQUE DEL VALLE DEL GUADALORA

SENDERO DEL ÁGUILA: UNA 'ISLA' DE NATURALEZA

El destino de esta ruta senderista, también conocida como 'Cordel del Águila', es admirar y disfrutar de uno de los bosques de ribera mejor conservados de todo el Sur ibérico. Eso sí, en el camino hacia ese espacio natural, aguardan otros 'contrastes', ya que se bordean también zonas urbanas —entre ellas el pueblo de Hornachuelos— y terrenos agrícolas y campos de crianza que son característicos de la zona. .

Texto: **RICARDO TAPIA**

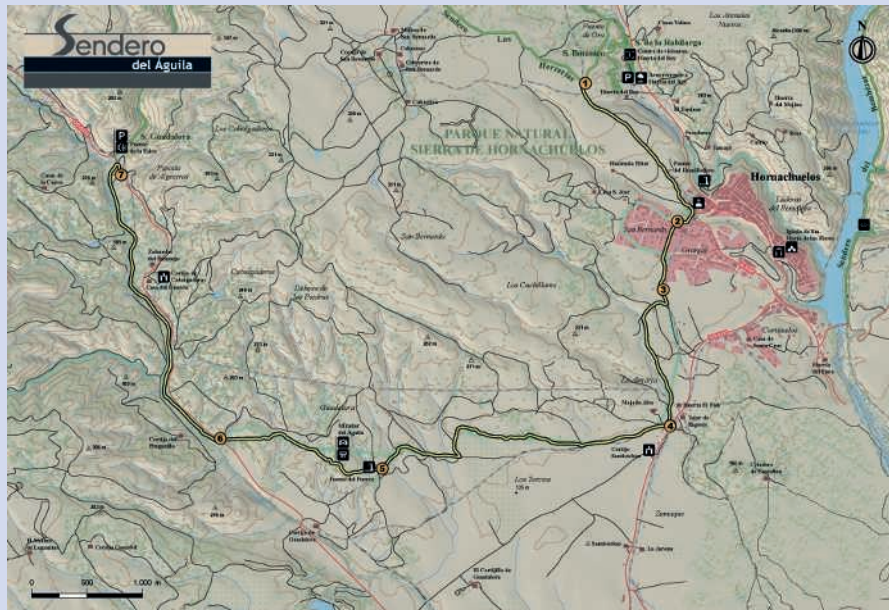
Fotos: **JUNTA DE ANDALUCÍA**

Una de las singularidades de la ruta es que se transita por una línea divisoria entre las terrazas del Guadalquivir y Sierra Morena.

Aunque se parte del Centro de Visitantes Huerta del Rey, ubicado cerca de un tramo de la carretera A-3151 y próximo a Hornachuelos (a 1,3 Km), el inicio de la señalización del sendero está en el cruce con el Sendero de las Herrerías. A este punto se llega tras haber recorrido kilómetro y medio desde el Centro en dirección al término municipal de San Calixto.

Es en ese punto cuando debes descender por un terreno rocoso en el que llaman la atención las formas de las rocas –puntiaguadas y de borde afilados– debido al modelado kárstico que se produce al disolverse lentamente la roca caliza. Has de avanzar a continuación por un paraje con árboles y matorrales dispersos, olivares y tierras de labor.

El camino te conducirá a las inmediaciones de Hornachuelos, cerca de la Fuente del Humilladero y del cementerio. Una vez allí,



Recorrido de la ruta 'Cordel del Águila'.

has de bordear la parte antigua de la villa. Luego tienes que girar a la derecha y subir por una escalera de piedra que te conducirá al Camino de San Bernardo, el cual has de recorrer hasta toparse con un paraje de rocas. Debes superarlo, avanzar unos metros y girar a la derecha.

UNA DEHESA Y UN MONTE

Te encontrarás por fin en una típica dehesa formada por diversos campos, tanto de cultivo como de crianza, y entre la hierba reconocerás la marca de un sendero. Camino que, evidentemente, has de seguir y recorrer por él unos cuantos kilómetros. Tras ello, deberás empezar a subir (el máximo desnivel es de 322 m) y bajar (el máximo desnivel es de 407 m) por las pendientes de una zona de monte. Hay que llevar cierto cuidado por esta zona y pisar siempre firme.

En este tramo, ya superado el ecuador de la ruta, encontrarás un par de hitos. Por un lado, la Fuente del Puercu, que toma su nombre por la abundancia de jabalíes. Por otro –a 700 metros de la fuente–, el Mirador del Águila,

desde el que podrás observar el valle que forma el cauce del río Guadalora y su paisaje de espeso bosque 'de galería'. Tras un breve –o no– descanso, has de proseguir la ruta y bajar hasta alcanzar y cruzar la carretera C0-5312. A pocos metros de ella, tendrás a tus pies el río, que deberás seguir en paralelo. Un paseo por una gran arboleda que reviste los meandros del río: sauces, fresnos, alisos y zarzas. Algunas especies de pájaros, como mirlos, carboneros, ruiseñores, petirrojos o currucas posiblemente te deleiten con su canto durante esta parte del recorrido, de aproximadamente unos tres kilómetros. Aquí ya estarás muy cerca del final de la ruta. Llegarás a la Pasada de Algeciras y, en breve, al Puente de la Esira, que cruza el río Guadalora.

Una de las singularidades de la ruta es que se transita por una línea divisoria entre las terrazas del Guadalquivir y Sierra Morena, una 'frontera' por donde discurre una vía pecuaria y en la que contactan diferentes ecosistemas. Un ecotono en el que interactúan elementos de ambos tipos de terreno y así enriquecen la zona. ■

FICHA TÉCNICA

- Distancia: 11,3 kilómetros
- Duración: 4 horas
- Dificultad: media
- Requisitos: no son necesarios
- Antes de salir: conviene llevar agua potable y vestirse con prendas protectoras, ya que gran parte del recorrido está en zona de sombra, y calzado adecuados para superficie arenosa, pedregosa y rocosa.
- Atención en... los tramos de zona urbana y en el cruce de carreteras. ■

HORNACHUELOS

COMIENZA EL PLAN DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL PARQUE NATURAL



En el nuevo Plan de Desarrollo Sostenible se hará un diagnóstico del parque y recogerá medidas para fomentar iniciativas locales de desarrollo.

La Junta de Andalucía ha acordado iniciar los trámites para la elaboración del Plan de Desarrollo Sostenible (PSD) del Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos. En él se establecerán las estrategias para el fomento económico en los municipios que se integran en este espacio y en sus zonas de influencia. Este plan sustituirá al vigente desde 2006, que ha supuesto un incremento en la superficie de los culti-

vos ecológicos, el auge de las industrias vinculadas a este segmento, la puesta en marcha de nuevas casas rurales y la instalación de empresas de turismo activo. En el nuevo PSD –cuyo proceso de elaboración seguirá un modelo de participación social con todos los agentes implicados– se hará un diagnóstico del parque y su área de influencia y recogerá las medidas a tomar para fomentar iniciativas locales de desarrollo sostenible, prestando atención a la oferta de turismo rural y de naturaleza, así como a la creación de empresas que comercialicen productos autóctonos. ■

vos ecológicos, el auge de las industrias vinculadas a este segmento, la puesta en marcha de nuevas casas rurales y la instalación de empresas de turismo activo. En el nuevo

PRIMER MUNICIPIO EN LA CAMPAÑA DEL CORCHO 2016

Hornachuelos ha vuelto a destacar un año más como el municipio cordobés de mayor producción de corcho, según los datos aportados por la Delegación de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Como en cada ejercicio, las cuadrillas dedicadas a su extracción trabajaron entre el uno de junio y el quince de agosto, y en la campaña de este año 2016 el total de la ‘saca’ en Hornachuelos ha sido de 62.146 kilos de bomizo (el corcho de primera extracción y usado para decoración o aislamiento) y de 230.869 kilos de segundero (las planchas de corcho que se colocan en pilas y se dejan secar hasta finales del verano). ■

AZUAGA:

CELEBRADO EL XI FESTIVAL ‘EL MILAGRO’



Cartel anunciador del Festival de cortos

La Asociación Cultural Morgana organizó los días 30 de septiembre y 1 de octubre el XI Festival de Cortometrajes, al que se presentaron más de 300 obras. Los cortos fina-

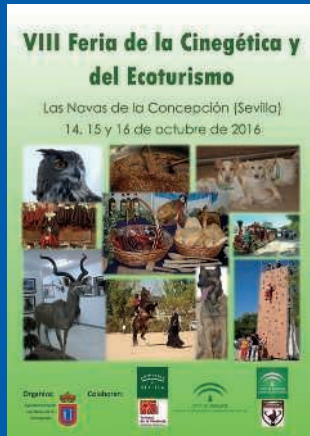
listas se proyectaron en la gala de presentación celebrada en el Teatro Cine Capitol de Azuaga. En la categoría ficción, *Éxodo*, de Alberto de la Rocha, obtuvo el primer premio y *Nunca te olvidaré*, de Víctor Devesa, el segundo, que compitieron con *Director,s Cut*, de Pol Diggler; *La Creu*, de Dani Seguí; y *El Espejo* y *La Condena*, ambos de Marc Nadal. Mientras, en la categoría animación, *Rapunzel Nabunzel* de Efrayn R.S fue el ganador y *5 Waycastocutdown a tree*, de Xavi Segura, logró el segundo premio. *Formol 105*, de Martín Rodríguez; *Feardom*, de Pablo Muñoz, fueron los otros cortos seleccionados. ■

FUENTE OBEJUNA

EL IES LOPE DE VEGA PARTICIPA EN LA WEB DE CERVANTES

El Instituto Lope de Vega ha sido uno de los cinco colegios que han participado con sus actividades y proyectos en el portal educativo ‘Vive Cervantes’, una web que ofrece recursos educativos e impulsada por la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía para hacer más presente en los centros andaluces la obra y figura de El Quijote en el año que se celebra el cuarto centenario de su muerte. Los alumnos del Instituto Lope de Vega han elaborado un periódico quijotesco llamado ‘La Partida de Don Quijote’. ■

LAS NAVAS DE LA CONCEPCIÓN

FERIA DE CINEGÉTICA
Y DEL ECOTURISMO

Cartel anunciador de la feria

Las Navas acogió el pasado octubre la VIII edición de la Feria de Cinegética y del Ecoturismo, un encuentro que busca poner en valor su patrimonio paisajístico, ecológico, cinegético –la localidad dispone de grandes fincas dedicadas a la caza– y gastronómico.

Ubicada en la Sierra Norte de la región de Sevilla, esta localidad tiene numerosos tesoros patrimoniales, como la Iglesia de la Purísima Concepción o el antiguo molino El Lagar. En la VIII edición de la feria se han expuesto los principales productos y servicios de la localidad y la Sierra Norte: chacinas, jamones, lomos en caña, chorizos blancos, morcillas, miel, aceite, artículos derivados del corcho, etc. ■

ALANÍS

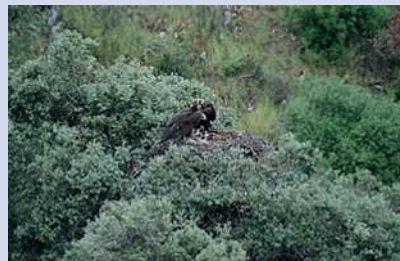
TU AYUNTAMIENTO EN WHATSAPP



Con el fin de facilitar información directa a sus vecinos, el Ayuntamiento de Alanís ha diseñado la plataforma 'Tu Ayuntamiento en WhatsApp', un servicio al que se pueden inscribir todos los que deseen recibir en sus terminales móvi-

les noticias relativas a su municipio. Para ello sólo han de rellenar un formulario en la web del Ayuntamiento en el que deben seleccionar las temáticas que les interesen y añadir el número 667 548 483 a su agenda de contactos. O añadir ese número previamente y enviar un whatsapp con su nombre y la palabra ALTA a dicho número. ■

AUMENTA LA POBLACIÓN DE BUITRE NEGRO EN LA SIERRA NORTE



Ejemplar de buitre en la copa de un árbol

© Junta de Andalucía

Concretamente 212 son los ejemplares de buitre negro que acoge en la actualidad la Sierra Norte de Sevilla. De ellos, 106 están considerados como parejas reproductoras (en 2002 sólo había 30). De estas parejas, se confirmó que 91 pusieron huevos y que, al final del periodo de cría, volaron un total de 47 pollos, con

lo que el éxito reproductor es del 52%. Este dato positivo se debe en parte al Plan de Conservación del Buitre Negro en Andalucía. En concreto, la población de esta especie en este Parque Natural sevillano se concentra en dos colonias: 'Sierra Norte I', al nordeste de Alanís, que es la que aporta la gran mayoría de las parejas; y 'Sierra Norte II', al suroeste de Cazalla de la Sierra. Sierra Norte I cuenta con 220 nidos, 206 en encinas y el resto en alcornoques, y su área de campeo se sitúa por el norte de Sevilla y Córdoba y el sur de Badajoz. ■

PEÑARROYA-PUEBLO NUEVO:

LA GIMNASTA LOURDES MOHEDANO DA NOMBRE A UN PABELLÓN

La gimnasta Lourdes Mohedano, nacida en Peñarroya-Pueblo Nuevo y que logró la medalla de plata en la modalidad de conjuntos en Gimnasia Rítmica en los pasados Juegos Olímpicos de Río 2016, da nombre desde principios de septiembre al Pabellón Municipal de Deportes de esta localidad. Con ello, tanto la corporación municipal como sus convecinos han querido rendir homenaje a esta deportista. ■

CONVENIO PARA ESTUDIAR EL SUELO DEL CERCO INDUSTRIAL



Uno de los edificios del complejo industrial.

© Cuadrieto

El Consistorio de Peñarroya-Pueblo Nuevo han aprobado la firma de un convenio con la Junta para que en el plazo de 12 meses se elabore un informe sobre la calidad del suelo del Cerco Industrial. Este análisis busca saber si estas parcelas están contaminadas y, en caso afirma-

tivo, determinar su grado de degradación para realizar el proceso adecuado de descontaminación, del que se encargarían la Junta y el Consistorio. Con ello, sería posible en el futuro aprovechar esa superficie de 600.000 metros cuadrados que lleva muchos años sin uso. ■

Remolino de gas y polvo oscuro –conocido como N159 y a más de 160.000 años luz de distancia– brillando dentro de la Gran Nube de Magallanes, una de las galaxias satélite de la Vía Láctea. En el centro de esta nube cósmica se encuentra la Nebulosa Papillon.

HUBBLE, EL PRIMER TELESCOPIO QUE FUNCIONA POR ENCIMA DE LA ATMÓSFERA, YA HA SUPERADO EL CUARTO DE SIGLO EN ACTIVO

OTRA FORMA DE MIRAR AL UNIVERSO

Evitar la distorsión que produce el aire en la luz de las estrellas para así obtener imágenes en gran resolución de objetos y fenómenos del espacio exterior, fue el punto de partida que llevó a la NASA, en colaboración con la ESA, a embarcarse en el proyecto Hubble. Un observatorio –puesto en órbita a más de 550 kilómetros de altura de la superficie terrestre– que ha permitido en todos estos años ver el Universo como nunca hasta entonces se había logrado y hacer fabulosos descubrimientos. Por ejemplo, saber que está compuesto en un 73% de energía oscura y que tiene una edad de 13.800 millones de años.

Texto: **BRUNO DÍAZ**
Fotos: **NASA, ESA Y HST**

Nunca fue en tamaño el más grande de entre los telescopios, pero tampoco importó.

Su grandeza estuvo desde el principio en su privilegiada posición elevada. Con unas dimensiones de 13,2 metros de largo y 4,2 de diámetro máximo, el Hubble tiene una configuración óptica de reflector Cassegrain y un espejo principal de 2,4 metros, aparte de una compleja instrumentación que analiza la luz recogida por el espejo. El telescopio es capaz de operar en los rangos de luz visible y los espectros de luz ultravioleta e infrarroja, y con sus lentes es posible observar el Universo con una resolución de 0,1 segundo de arco. Se ha puesto de ejemplo que su desviación cuando se centra en un objeto lejano es inferior al grosor de un cabello visto a kilómetro y medio.

Esa combinación de resolución y sensibilidad ha logrado auténticos hitos en la astronomía y en sus ramas afines: el descubrimiento de la energía oscura o la observación de las fases tempranas de la formación de galaxias tras el Big Bang que dio origen al universo. Un hecho en el que hace hincapié Miguel Mas Hesse, director del Centro de Astrobiología CSIC-INTA: “Uno de los principales objetivos del Hubble Space Telescope (HST) fue la medida de la constante de Hubble con la máxima precisión posible. El valor de esta constante determina el ritmo al que el Universo se está expandiendo y, por lo tanto, define la edad del mismo tras el Big Bang. El HST permitió realizar esta medida con gran precisión, y hoy sabemos que la edad de nuestro Universo es de 13.800 millones de años”.

El telescopio es capaz de operar en los rangos de luz visible y los espectros de luz ultravioleta e infrarroja. Con sus lentes es posible observar el Universo con una resolución de 0,1 segundo de arco

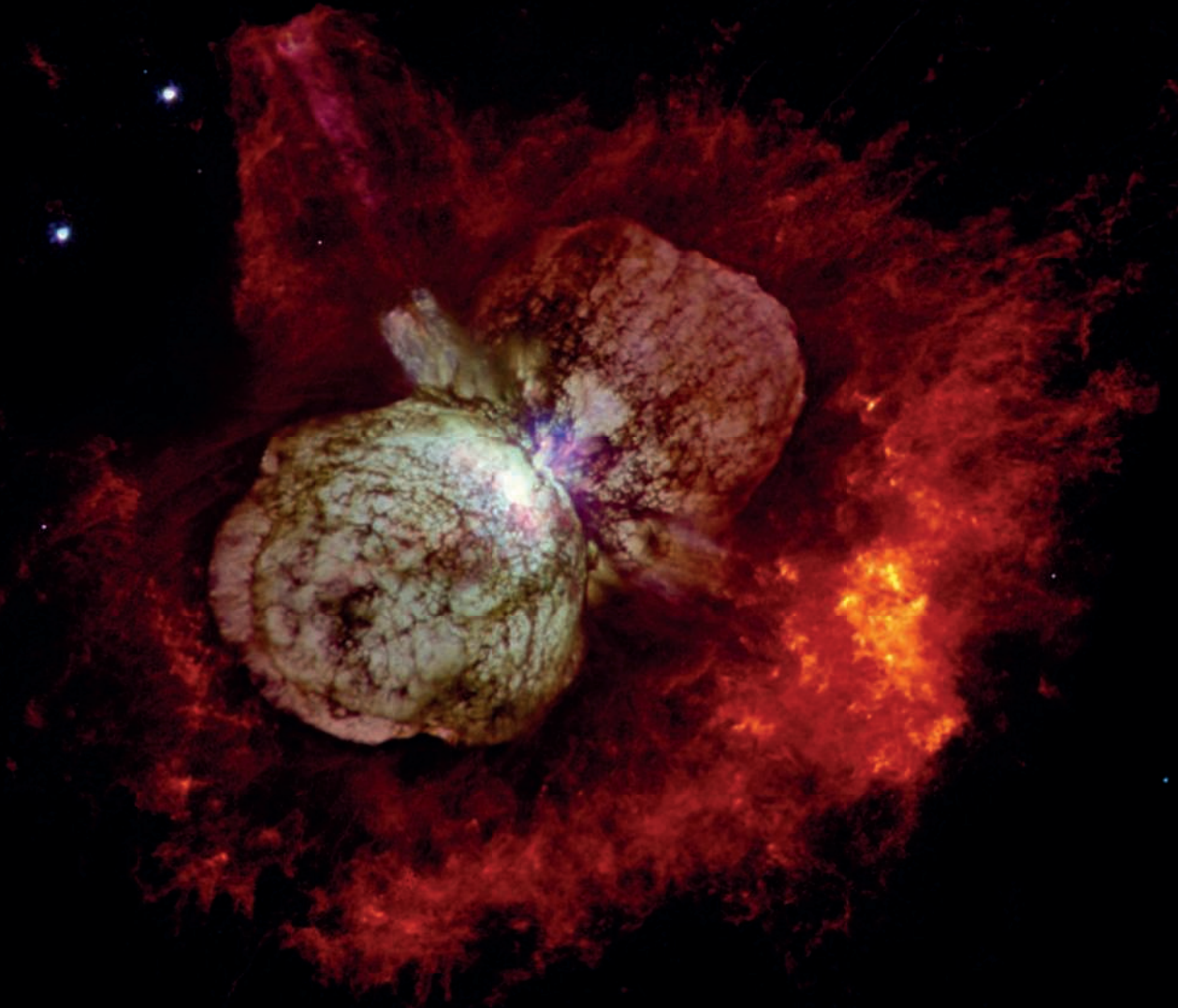
Las últimas estimaciones apuntan a que, gracias al Hubble, se han tomado más de 500.000 fotografías del Universo y que, con los datos obtenidos y analizados, se ha ayudado a hacer más de 4.800 descubrimientos. La NASA también apunta a que los investigadores han podido llevar a cabo cerca de 1,2 millones de observaciones a través del telescopio y que, gracias a ello, los astrónomos han publicado más de 13.000 artículos científicos. Cifras más que satisfactorias para, curiosamente, unos comienzos dubitativos.

LOS INICIOS

La construcción del Hubble data de 1977, cuando el Congreso de los Estados Unidos aprueba que se lleve a cabo y su fabricación se alarga hasta 1985. Un año después estaba previsto ponerlo en órbita, pero el accidente del transbordador Challenger retrasó todas las operaciones de la NASA y no fue hasta 1990 cuando por fin, transportado por el Discovery, se logra situarlo en posición, aunque no operativo. En las primeras pruebas se descubrió que un pequeño error de pulido del espejo principal, una aberración esférica, emborronaba las imágenes y lo convertía en un auténtico miope. Durante más de dos años, investigadores y científicos buscaron la solución, que

llegó en forma de una especie de gafas correctoras que dos astronautas de una expedición en el Endeavour le colocan en 1993.

Una solución de calibración perfecta que, unida a su fabuloso funcionamiento posterior, hizo que la vida útil prevista de Hubble, entre 10 y 15 años, decidiera alargarse implementándole mejoras en sucesivas expediciones de los transbordadores. Esta renovación del instrumental para hacerlo más potente también es un dato clave para Mas Hesse: “La potencia del telescopio y la calidad de los nuevos instrumentos llevó a lo que probablemente sea el descubrimiento más importante: se observó que la expansión del Universo no había sido continua a lo largo del tiempo, sino que el ritmo se había frenado al comienzo, debido a la atracción gravitatoria, pero que hace unos 5.000 millones de años había comenzado a acelerarse. El origen de esta aceleración está en un nuevo tipo de energía, asociado a una fuerza repulsiva, que los cosmólogos han denominado ‘energía oscura’ dado lo poco que se conoce de ella. Se trata de un descubrimiento que cambia por completo nuestra visión del Universo, ya que esta energía constituye un 70% del contenido de materia-energía del Universo y hasta hace pocos años desconocíamos su existencia. Aún hoy desconocemos su naturaleza,



Una gran erupción del sistema estelar Eta Carinae (situado a 10.000 años luz) producida en 1840 creó la ondulante Nebulosa del Homúnculo.



Emparejamiento de la estrella de la gallina 2-472 y la nebulosa M1-67 que la rodea, ubicadas ambas en la constelación de Sagitario, a 15.000 años luz de distancia.

El Hubble ha permitido observar, entre otros fenómenos, el descubrimiento de la energía oscura y las primeras imágenes directas de planetas alrededor de estrellas cercanas

aunque hay diversos proyectos internacionales tratando de descubrir sus propiedades”.

OTRA VISIÓN Y OTRA FORMA DE INVESTIGAR

Si algo ha logrado el Hubble es cambiar la visión humana del Universo. Se ha ido mucho más allá de lo que en su momento, claro, podía investigar Edwin Hubble, el astrónomo considerado como el padre de la astronomía moderna y que fue el primero en determinar que la Vía Láctea no era la única galaxia y demostrar la expansión del Universo con el corrimiento al rojo del espectro de la luz de Sirio. “El HST ha permitido conocer con gran precisión las características a gran escala del Universo y, además, detectar la luz de las primeras estrellas que se ‘encendieron’ en su historia, cuando tenía sólo unos 500 millones de años de edad. De alguna manera ha abierto nuevos caminos y enigmas que los astrofísicos tratarán de resolver con futuros telescopios, como el James Webb Space Telescope (JWST), con el que se podrá estudiar el proceso de formación de las primeras estrellas”, dice el investigador del Centro de Astrobiología.

Investigadores, pero también toda persona con sensibilidad, se ha dejado cautivar por las impac-

tantes imágenes obtenidas gracias al Hubble. Resultado que se redondea mediante un software y el uso de filtros y capas con los que los científicos reproducen los colores del objeto astronómico analizado, acentuándolos para destacar determinadas características del mismo. Así lo recalca Mas Hesse: “Gracias a la excelente calidad de imagen, se han observado planetas, nebulosas y otras galaxias lejanas, algunas de ellas distorsionadas por el efecto de lente gravitatoria predicho por la Relatividad General, y que el HST nos ha permitido contemplar en todo su esplendor. Sus imágenes son parte ya de la cultura general de nuestra sociedad y nos han ayudado a conocer la ‘geografía’ del Universo en que vivimos”.

La lista y variedad de ‘instantáneas’ tomadas es amplia: nuevos planetas extrasolares, nebulosas con sus grumos de gas y polvo, efectos de agujeros negros supermasivos en el centro de galaxias, cúmulos gigantes de estrellas jóvenes, cometas, sistemas protoplanetarios o el nacimiento y muerte de estrellas. “Hubble ha detectado auroras boreales en planetas de nuestro sistema solar, la atmósfera en un planeta fuera del sistema y estrellas recién nacidas con sus discos en la nebulosa de Orión. Ha revelado fascinantes morfologías en nebulosas planetarias que todavía se intenta descifrar cómo se pro-

ducen. Y ha detectado galaxias en colisión o jets que emergen de agujeros negros. Cada una de las observaciones realizadas ha contribuido al avance de nuestro conocimiento del Universo. Quizás las más significativas, el descubrimiento de la energía oscura y las primeras imágenes directas de planetas alrededor de estrellas cercanas”, comenta la doctora Eva Villaver, del Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid.

¿EL RELEVO?

2018 es el año previsto por la NASA, la ESA y la Agencia Espacial Canadiense para que entre en funcionamiento el telescopio espacial James Webb, pero no se trata de un relevo del Hubble, ya que el nuevo observatorio trabajará en un rango diferente del espectro. Tiene un espejo de 6,5 metros, se situará en un punto del sistema Sol-Tierra a un millón y medio de kilómetros de la Tierra, estará operativo una década y se ha invertido ya en el proyecto cerca de 8.000 millones de euros. La misión del Hubble ha supuesto 10.000 millones de dólares, de los que la ESA ha aportado un 15% del presupuesto anual.

¿Y el final del Hubble? En 2011, se concluyó que no era posible mejorarlo, y en 2020 se ‘apagará’. Más de un cuarto de siglo que ha dado mucho de sí. “Cada observación del Hubble ha puesto una pieza en nuestra comprensión del Universo o ha destruido completamente el puzzle que poco a poco, con nuevas observaciones, hay que entender”, dice Villaver. Sin duda, el Hubble ha sido un instrumento científico único. Unos ojos que nos han permitido ver ‘los pilares de la creación’. ■

LOS ÁRBOLES MÁS SINGULARES
DE ESPAÑA POR SUS GRANDES DIMENSIONES

GIGANTES BIEN 'PLANTADOS'

Sin tener la altura que alcanzan las milenarias secuoyas californianas, en España también existe un buen número de árboles singulares por su edad, su perímetro y, por supuesto, por su talla, como un eucalipto enraizado en Galicia que llega a los ochenta metros. Además de este ejemplar, repartidos por todo el territorio español hay pinos, dragos, secuoyas rojas, álamos negros o cipreses de grandes dimensiones que son considerados como auténticos 'monumentos naturales'.

Texto: **ANA AYALA**

La base del Avó de Chavín, en Viveiro (Lugo), con un perímetro de más de 10 metros. Son necesarias más de 5 personas con los brazos extendidos para abrazarlo.

En 1852 se descubrió en Estados Unidos la primera secuoya gigante. Un año después, sus semillas llegaron a Europa. También en España existen árboles 'esbeltos'. Ciertamente que no tienen 2.000 años, ni 100 metros de altura, pero alguno hay, como el Abuelo de Chavín (un eucalipto ubicado en Lugo), que con sus 80 metros es el más grande del país y también de Europa. Pero, ¿cómo consiguen alcanzar estas dimensiones?

Los motivos pueden ser varios. "Algunos por ser árboles viejos y, por tanto, llevar muchos años de crecimiento tienen ese tamaño. Es decir, por su longevidad, lo que suele ocurrir con especies de crecimiento lento, como las encinas, los enebros o los tejos. También puede ser que sean genéticamente superiores, aunque esto todavía nadie lo ha demostrado. O pueden estar en condiciones especiales de climática o de entorno, que crezcan al lado de un río, que tengan mucha agua y nutrientes, o que no tengan competencia", afirma Susana Domínguez, presidenta de la ONG Bosques sin Fronteras.

Así, los árboles singulares suelen estar asociados a estos dos tipos de situaciones: tener una edad considerable y no disponer de 'competencia', es decir, que están solos en la primera parte de su vida o en la final. La ubicación es importante. Tanto el clima como el terreno influyen mucho, evidentemente, para que alcancen esas alturas. "Si la especie ha crecido en un lugar de donde es

natural, estará adaptada al terreno y al clima de esa región. Si ha sido plantada, deberá ser en un lugar acorde con la ecología de la propia especie. En general, un terreno de suelos profundos, bien desarrollados y drenados favorecen un buen crecimiento. Pero también es muy importante que haya un equilibrio ecológico y una amplitud de biodiversidad en la que una potencial plaga esté controlada de forma natural",

comenta Felipe Castilla, biólogo especialista en botánica del Real Jardín Botánico de Madrid-CSIC y autor de Arbolapp.

SUS 'ENEMIGOS'

"Uno de los problemas más graves a los que se enfrenta este tipo de árboles es al cambio en el clima, sobre todo para los especímenes que tienen muchos años, ya

Los más grandes del mundo y el gigante de los gigantes

Todas son secuoyas y, asimismo, todas se encuentran en el norte de California (Estados Unidos).

- **Hyperion:** descubierta en 2006 por dos excursionistas, Chris Atkins y Michael Taylor, mide cerca de 116 metros –supera en más de 20 metros a la Estatua de la Libertad, contando su base-. Se encuentra en Redwood National Park.
- **Helios:** el que durante un mes fue considerado el árbol más alto mide un poco más de 114 metros; también está en Redwood National Park.
- **Icarus:** esta secuoya, de algo más de 113 metros, comparte el mismo 'piso' que las dos anteriores, en el norte de California.
- **Stratosphere Giant:** la cuarta de la lista se encontró, en el año 2000, en Humboldt Redwoods State Park. Para protegerla tanto del turismo como de actos vandálicos, no se ha revelado la ubicación exacta de esta secuoya. Mide un poco menos que la anterior.
- **Fusion Giant:** casi tan esbelta como sus antecesoras, 'reside' en Redwood National and State Parks.
- **General Sherman:** Algunos son más altos, otros más anchos, pero ninguno de ellos tiene la combinación de medidas del considerado el árbol más grande del mundo: el General Sherman. Mide 31 metros de diámetro y alcanza los 84 de altura. Una sola de sus ramas es mayor que el tamaño de muchos de los árboles que crecen al este del río Mississippi. ¿Su edad? Se estima que unos 2.200 años. Y ¿su especie es...? Por supuesto, una secuoya que está en Giant Forest, en California.

El Pino de las Dos Pernadas, ubicado en el municipio de Vilaflor (Tenerife), tiene casi 60 metros de altura, un diámetro de unos 9 metros, y pertenece a una especie autóctona de las Islas Canarias

que su adaptación a esta situación resulta más difícil. Otro, es que no están cuidados ni protegidos adecuadamente. También la vegetación y las malas hierbas que los rodean los pueden poner en peligro si se origina un incendio”, explica Domínguez, quien añade que “sólo hacen falta pequeñas acciones para conservarlos, como eliminar la hierba de alrededor o compactar el suelo. Al igual que hay campañas para preservar el lince ibérico, deberíamos hacer lo mismo para conservar la biodiversidad que genera un árbol”. Por su parte, Felipe Castilla añade a esa lista de enemigos algunos más: “Limitantes naturales, como rayos, vientos fuertes, sequías o inundaciones; y todos aquellos causados por la activi-

dad humana, directa o indirectamente, como la expansión de las infraestructuras, las talas o por el pisoteo y compactación del terreno circundante.

EL MÁS ALTO

Con sus cerca de 80 metros, es el árbol más esbelto de España y también de Europa. Es un eucalipto con nombre propio, el Avó (abuelo) de Chavín, ya que tiene unos 130 años y se encuentra en esta localidad –a orillas del río Landro–, en Viveiro (Lugo). Desde el año 2000 está considerado Monumento Natural de Galicia y en 2010 –coincidiendo con el Año Internacional de la Diversidad Biológica– fue el ganador, en la categoría de Árbol Gigante, de los Premios Árbol y Bosque del Año organizados por la ONG Bosques sin Fronteras en colaboración con la Fundación Biodiversidad, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Su perímetro de base es de más de 10 metros, cuando el normal suele ser de unos 8. Es decir, son necesarias más de 5 personas con los brazos extendidos para abrazarlo. ¿Otra curiosidad? Su primera rama se levanta a más de 17 metros del suelo. ‘Nació’ en 1880 y está rodeado de otros centenarios compañeros que fueron plantados en esos mismos años para drenar los terrenos bajos como protección frente a las inundaciones.

‘MADE IN SPAIN’

De Galicia a Canarias, concretamente al municipio de Vilaflor, al sur de Tenerife para ver al segundo en el ranking de los gigantes verdes, el Pino de las Dos



Pernadas, con casi 60 metros de altura y un diámetro de unos 9 metros. Una de las especies que más abunda en estas islas y que son parte de su historia y cultura. De hecho, la isla cuenta con numerosas topónimos relacionados con este nombre, como Pino Santo, Pino de la Virgen o El Pinar. Los amantes de este tipo de árbol suman a su favor que se trata de una especie autóctona. Y, como es habitual, también tiene 'compañía', en este caso la de Pino Gordo, con más de 45 metros de alto y una circunferencia superior a los 9 metros. Ambos, centenarios (entre 700 y 1.000 años) y son algunos de los árboles más viejos de la isla, junto al conocido Drago Milenario, en Icod de los Vinos.

LOS MONARCAS

Son el Rey y la Reina, dos secuoyas que se alzan en la Plaza de España, delante de la Colegiata del Palacio en La Granja de San Ildefonso (Segovia). Tienen una altura de alrededor de 45 y 39 metros, con un perímetro de unos 19 y 14 metros, respectivamente. La Reina medía un poco más, pero en 1991 le cayó un rayo y su altura menguó. A partir de entonces, ambos cuentan con pararrayos.

Tanto el interior del Jardín como el exterior albergan otras grandes secuoyas, como en el parterre de Andrómeda, el jardín privado del Príncipe, el Club de Tiro y el jardín de la casona del Paseo del Pocillo. Se supone que fueron plantadas hacia finales de 1870 por el jardinero mayor de Aranjuez, Antoine Testard; más o menos dos décadas después de que llegarán a Europa a través de Gran Bretaña. Las secuoyas gigantes (*Sequoiadendrom Giganteum*) sólo crecen de forma



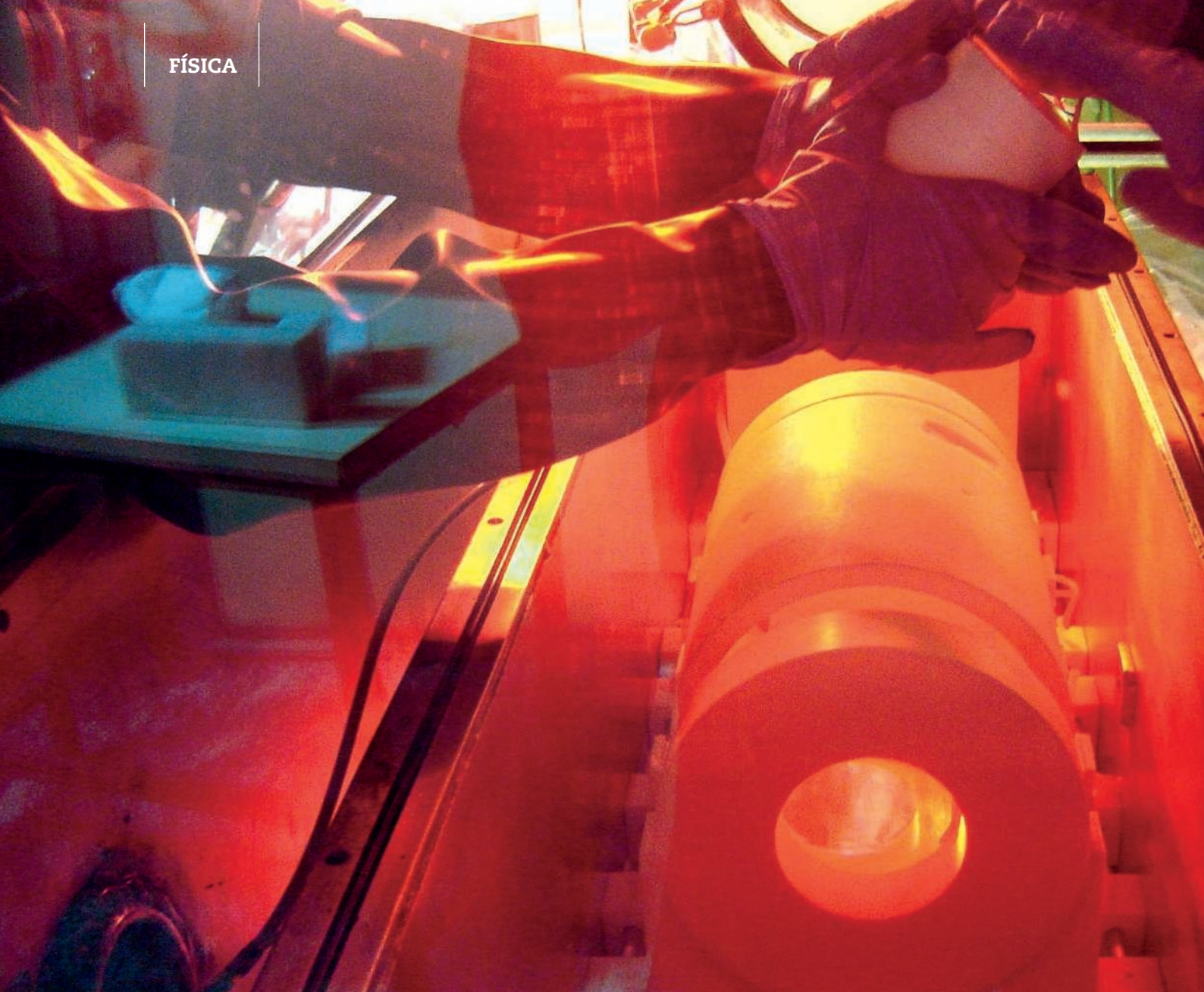
Las famosas secuoyas granadinas en la Sierra de la Sagra, en el cortijo de La Losa.

©Mancomunidad de la comarca de Huescar

natural en Sierra Nevada, en California (Estados Unidos).

Estos son algunos de los árboles más altos de España y así han sido reconocidos con premios o numerosas 'apariciones' en los medios de comunicación. Según recoge el ranking elaborado por Monumental Trees, un inventario online de árboles singulares –por altura, tamaño, edad...– de diferentes países, los siguientes de la lista no han sido 'merecedores' de contar con nombre propio y se

denominan sólo por su especie: *Sequoia sempervirens* (Secuoya roja), de unos 41 metros, en el Centro de Interpretación Torre del Vinagre (Santiago-Pontones, Jaén, Andalucía); *Populus nigra* (Álamo negro), con cerca de 39 metros, en el museo La Granja (Esporles, Mallorca, Islas Baleares); o *Taxodium mucronatum* (Ciprés Moctezuma), de 38 metros, en el Jardín del Príncipe (Aranjuez, Madrid). Gigantes arbóreos que parecen tocar el cielo con sus elevadas copas... ■



Experimento del proyecto ANAIS –cuyo objetivo es buscar materia oscura– en el que se usa el ritmo de las interacciones que se detectan en unos cristales de yoduro de sodio, un material que produce pequeños destellos cuando una partícula interactúa con él y deposita su energía.

LABORATORIO SUBTERRÁNEO DE CANFRANC

EN BUSCA DEL ‘SILENCIO CÓSMICO’

Sólo hay una docena de lugares comparables al Laboratorio Subterráneo de Canfranc. Recónditos espacios en los que es posible conseguir el ‘silencio cósmico’, la condición necesaria para llevar cabo complejos experimentos de la denominada física de astropartículas. Una ciencia que, entre otras cuestiones, trata de resolver algunas de las grandes preguntas: ¿Qué es la materia oscura que compone un cuarto del Cosmos y que no se ve? ¿Cómo son esas partículas llamadas neutrinos que nos atraviesan y somos incapaces de atrapar?

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**
Fotos: **LSC**



y el origen del Universo”, apunta Luciano Romero, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), organismo miembro de uno de los equipos que precisan de este peculiar laboratorio.

Para hacer historia de LSC, hoy perteneciente a un consorcio del que forman parte el Ministerio de Economía y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, hay que remontarse tres décadas atrás, cuando la física de Astropartículas se denominaba ‘física de Sucesos Poco Probables o Sucesos Raros’, el estudio de eventos que se producen muy excepcionalmente en la Naturaleza y por tanto son muy complejos de analizar. Y sin embargo, asegura Romero, son fundamentales “para ampliar el conocimiento del pasado y del futuro”.

Entre estos eventos están los que implican a los neutrinos, partículas cuya existencia se descubrió a mediados del siglo XX, pero tan esquivas que aún se desconocen sus propiedades. La dificultad de su estudio estriba en que, si bien cada pequeña parte de materia es atravesada por miles de millones de neutrinos provenientes del espacio exterior, tan sólo uno de ellos por millón interacciona con un átomo terrestre. Además, para complicar su detección aún más, las últimas hipótesis señalan que esta partícula podría coincidir con su anti-partícula (la anti-

materia). Todo ello pone en evidencia la dificultad que entraña caracterizarlos, objetivo que precisamente está en el origen de la creación del LSC.

ANTECEDENTES DEL LABORATORIO

Los primeros pasos los dio un grupo de físicos de la Universidad de Zaragoza. Habían realizado unas pruebas para la búsqueda de neutrinos en un laboratorio subterráneo francés de Modane. “La señal que emiten estas partículas es tan débil que cualquier interferencia de radiactividad impide detectarlas. Los rayos cósmicos, los materiales e incluso nosotros mismos emitimos radiactividad, así que solamente en lugares subterráneos, que hagan de pantalla o muro, puede reducirse ese ‘ruido’ hasta niveles aceptables para nuestras investigaciones. Por ello existen estas instalaciones y nos trasladamos a Francia, pero cuando regresamos a España comprobamos que necesitábamos realizar más pruebas y decidimos buscar un lugar en nuestro país que fuera propicio”, recuerda el director adjunto del LSC, José Ángel Villar.

En un principio, aquel grupo de jóvenes físicos, bajo la batuta del fallecido catedrático Ángel Morales, se inclinó en utilizar para sus experimentos unas cuevas de sal que hay en el municipio zaragozano de Remolinos, pero no reunían

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) está situado en los Pirineos aragoneses, enterrado bajo un monte de pura roca, el Tobazo. Hasta allí viajan cada año, de media, 300 científicos de una veintena de países que escapan así del ‘ruido’ que genera la radiactividad cósmica y que sólo calla en escogidas cavidades bajo tierra. En lo que fue un túnel ferroviario hasta los años 80, desarrollan en la actualidad siete proyectos que buscan todo tipo de respuestas. “Es un lugar excepcional para ampliar nuestro conocimiento sobre cuestiones claves como la expansión



Edificio en superficie del Laboratorio, ubicado en la ladera del monte Tobazo (Pirineos).

La profundidad de esta instalación subterránea se sitúa en 2.400 metros, más que suficiente para evitar indeseables interferencias llegadas del espacio exterior y terrestre

condiciones. Entonces recordaron aquel túnel ferroviario que cruzaba el Tobazo para enlazar con Francia y que llevaba en desuso 15 años. “Tiene siete kilómetros y encima 850 metros de roca. Las pruebas nos indicaron que allí dentro las partículas radiactivas, los muones de los rayos cósmicos, se reducen en un factor de entre 80.000 y 100.000 veces respecto a las que hay al aire libre. Era un lugar perfecto para los experimentos”, comenta Villar.

La profundidad de este tipo de instalaciones subterráneas se mide por metros de agua, aunque estén bajo tierra, y el túnel del Tobazo está a 2.400, más que suficiente para evitar indesea-

bles interferencias llegadas del espacio exterior y terrestre. El más ‘profundo’ del mundo, en Canadá, se sitúa a 6.000 metros.

Tras más de una década funcionando con cierta precariedad, en 2003 el grupo de Física Nuclear y Astropartículas de Zaragoza logra que se decida la construcción del actual Laboratorio Subterráneo de Canfranc en una galería nueva situada entre el viejo túnel ferroviario y el de la carretera de Somport. En total, con una inversión de 3,7 millones de euros, se multiplicó por 16 la superficie dentro de la montaña, hasta los 1.600 m², excavándose una nueva sala abovedada de 600 m².

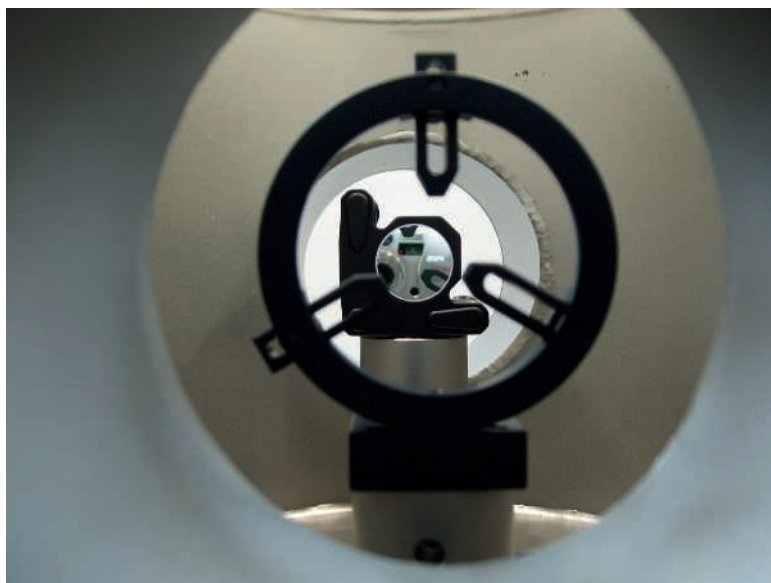
INVESTIGACIONES ‘LIMPIAS’ DE RADIATIVIDAD

El nuevo LSC se puso en marcha en 2009. Finalmente, ese año comenzaron a llegar a la instalación los primeros proyectos científicos sobre neutrinos, a los que siguieron otros sobre materia oscura, geodinámica e incluso biología. En definitiva, trabajos que requieren ‘limpieza’ de radiactividad.

Las solicitudes de científicos que necesitan del LSC llegan de forma regular. Un comité científico, reunido cada seis meses, asesora al comité ejecutivo y al consejo rector sobre las propuestas que son susceptibles de necesitar del laboratorio, considerado como una de las Infraestructuras Científico y Técnica Singulares del país, la tercera más profunda de Europa, tras la de Francia (Modane) y la de los Apeninos italianos (Gran Sasso).

Para el director adjunto del LSC, que el Laboratorio haya conseguido situarse entre los laboratorios mejor valorados es una gran noticia: “No somos el CERN, pero tenemos instrumentos muy sofisticados y no hemos parado de crecer desde su apertura”. Y añade que los siete proyectos en marcha son un ejemplo de las diferentes posibilidades científicas que ofrece.

Desde su grupo de la Universidad de Zaragoza, se inició en 2008 el proyecto ANAIS para la búsqueda de la materia oscura, ese misterioso 25% del Universo del que se quieren encontrar partículas y que puede encerrar el misterio de dónde venimos y hacia dónde vamos. ANAIS utiliza el ritmo de las interacciones que se detectan en unos cristales de yoduro de



Instalación preparada para el proyecto Geodyn, que detecta y estudia movimientos sísmicos.

sodio, un material que produce pequeños destellos cuando una partícula interactúa con él y deposita su energía. De momento, no han encontrado nada “pero son trabajos que requieren muchos años”, explica el científico.

ARDM, Y LA BÚSQUEDA DE MATERIA OSCURA

Paralelamente, la Universidad de Zurich (Suiza) trabaja en otro proyecto, denominado ArDM, que también trata de localizar materia oscura, pero utilizando en su caso argón líquido con un detector que se está montando actualmente. En esta investigación se utilizan toneladas de argón líquido para tratar de encontrar alguna señal. “Tampoco hemos encontrado nada aún, pero tener resultados negativos también nos permite mejorar el sistema de detección. Hasta ahora, ha habido aproximadamente unos 20 sucesos, pero todos tienen que ver con el fondo radiactivo, no con la materia oscura”, matiza el investigador del Ciemat Luciano Moreno, que participa en ArDM.

Como no podía ser de otra forma, los neutrinos también son objeto de búsqueda en Canfranc, en este caso dentro del proyecto NEXT, en el que participan 80 científicos de diferentes instituciones internacionales y nacionales. Esta investigación está enfocada a descubrir si un neutrino es, a la vez, partícula y su antipartícula, lo que explicaría el porqué el Universo está hecho de materia y no de antimateria, que en teoría también se creó en el momento del Big Bang. Para ello, NEXT, aún en fase de instalación, empleará una cámara de 100 kilogramos de gas xenón enriquecido.



Investigadores en la sala blanca, con bajos niveles de contaminación, con la que cuenta el Laboratorio.

Otros dos proyectos en marcha destinados a estas invisibles partículas son BiPO, de un equipo francés, y Super K-GD, en colaboración con científicos japoneses del observatorio subterráneo de Kamioka (Japón), que es el lugar concreto donde se descubrieron las primeras oscilaciones en neutrinos que proceden de colisiones de rayos cósmicos en la atmósfera. De momento, en Canfranc se están realizando experimentos complementarios sobre materiales que son necesarios en Kamioka.

UNA DE LAS ZONAS SÍSMICAS MÁS ACTIVAS

Además de ser casi inmune a las radiaciones, el LSC está ubicado en una de las zonas sísmicas más activas del oeste de Europa, en la franja Pirenaica, que marca el límite entre la placa Europea y la micro placa Ibérica. Es un sitio perfecto para monitorizar, como se hace con el proyecto Geodyn, la actividad sísmica y las deformaciones que produce. La última área de investigación

en Canfranc ha sido la Biología, gracias a los investigadores del proyecto Gollum, que han iniciado una excavación en la roca en busca de una posible existencia de vida microbiana a gran profundidad.

PLAZOS DE AÑOS PARA LA RECOGIDA DE DATOS

Villar es bastante optimista respecto a lo que puede suponer este antiguo túnel ferroviario para la ciencia internacional: “De momento no hay resultados de ninguno de estos trabajos, porque casi todos son proyectos en los que los plazos son de varios años para la recogida de datos, pero nuestro reto es que algún experimento encuentre en el LSC algo que sea relevante a nivel mundial y sabemos que ello llevará tiempo”.

Por lo pronto, el Laboratorio seguirá creciendo. Ya está prevista la instalación de un pequeño acelerador para el estudio de procesos nucleares. El túnel del ‘silencio cósmico’ ■

Grandes y elevados viaductos podrían usarse como medios para obtener energía eólica

EL VIENTO Y SU FUERZA BAJO LOS PUENTES

En un entorno como Canarias, en el que existen zonas muy urbanizadas con extensas áreas protegidas por su riqueza medioambiental, apenas queda territorio para producir energía. Sin embargo, esa misma dificultad ha llevado a algunos investigadores a plantear una innovadora propuesta que la solventa: ubicar aerogeneradores entre los pilares de puentes o viaductos para, aprovechando las corrientes de aire que se generan en los barrancos o vaguadas que discurren bajo ellos, producir energía eléctrica.

Autor: **ESMERALDA MARDOMINGO**

En Canarias se han localizado 22 viaductos con potencial eólico suficiente y posibilidades técnicas relevantes para instalar este tipo de infraestructuras



Mire vuestra merced que aquellos que allí se parecen no son gigantes,

sino molinos de viento, advertía ya Sancho a su señor don Quijote. Cuatrocientos años más tarde, esos molinos bien podrían ser en la actualidad viaductos o puentes, también con aspas, pero, en su caso, turbinas ubicadas entre sus pilares para producir energía eólica. Diversas investigaciones han demostrado que los grandes puentes que unen valles y barrancos –donde se originan grandes corrientes de aire– podrían ser una nueva fuente para lograr energía renovable.

Entre éstas se encuentra el proyecto dirigido por Óscar Soto Hernández y un grupo de ingenieros de Kingston University (Reino Unido), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Universidad de Vigo, que han diseñado para el viaducto del Barranco del Juncal, en Gran Canaria, y que podría ponerse en marcha como un nuevo sistema para la obtención de energía. Estos investigadores han comprobado que el viento que sopla entre los pilares de este tipo de construcciones puede mover aerogeneradores y producir energía. Una alternativa para la instalación de turbinas eólicas en territorios masificados por infraestructuras o con extensas áreas naturales.

Partiendo de una simulación en modelos 3D, los ingenieros analizaron la posibilidad de situar debajo del viaducto del Juncal estas turbinas de viento. En la prueba usaron discos porosos para valorar su resistencia al aire y optar entre distintas configu-

Dos turbinas gemelas de 0,25 Megavatios (MW) de potencia cada una generarían la energía necesaria para abastecer el consumo de electricidad de entre unas 400 o 500 viviendas

raciones para la generación de energía eólica. Según el estudio, la más conveniente para incorporar a los viaductos sería la de dos turbinas gemelas de 0,3 a 2 Megavatios (MW) de potencia. “De este modo, se conseguiría una cantidad de energía considerable”, concreta el investigador Óscar Soto, quien añade que en el caso del Juncal se calculó que la producción de las turbinas –de 0,25 MW cada una, juntas 0,5 MW– sería equivalente a la energía necesaria para abastecer a 400 o 500 casas”. Una instalación de este tipo evitaría la emisión de unas 140 toneladas de CO₂ al año, cantidad que representa el efecto de depuración de unos 7.200 árboles.

¿POR QUÉ UN VIADUCTO?

Son varias las razones que han llevado a los investigadores a centrarse en un viaducto antes que en otra infraestructura para incorporar aerogeneradores. En primer lugar, porque dispone de espacio suficiente para acoplar turbinas con un diámetro relativamente grande. El segundo motivo es que, al estar ubicado en un barranco, se aprovecha el aumento de la velocidad del viento debido al ‘efecto Venturi’ que se produce al pasar el aire por una zona más estrecha. “Este principio físico que sustenta el proyecto dice

que un fluido en un conducto disminuye su presión debido al aumento de su velocidad al pasar de una sección a otra menor”, comenta Óscar Soto. De ahí que las corrientes de aire sean más intensas cuando atraviesan barrancos o desfiladeros. Y, la tercera razón, porque el viaducto mitiga el impacto visual que normalmente se achaca a las turbinas eólicas, puesto que él mismo ya imprime ese impacto sobre el paisaje.

De todos modos, es probable que la ventaja más destacada e innovadora de esta propuesta esté en que una infraestructura como es un viaducto, que ha sido diseñada y construida para un determinado uso –la conexión para el transporte terrestre– pueda ser aprovechada para otra finalidad, la producción de energía renovable. Además, dependiendo de su situación, puede ser una buena solución para suministrar energía a zonas donde resulta complicado instalar infraestructuras energéticas. Eso sí, en este punto, la instalación de este tipo de infraestructuras tiene sus dificultades e inconvenientes, sobre todo en lo que se refiere a la transmisión de cargas y vibraciones a la estructura del viaducto.

“Como los estudios sobre esfuerzos en estructuras existentes son muy costosos y complejos, para resolver este problema

Se ha planteado una nueva estructura que visualmente estará conectada con la ya existente, el viaducto, pero cuyos esfuerzos se transfieren al suelo de forma independiente

hemos planteado una nueva estructura que visualmente está conectada con la ya existente; pero cuyos esfuerzos se transfieren al suelo de forma independiente, de este modo no afecta a las características constructivas del viaducto”, explica Aday Martín, gerente de Zona Eólica Canarias, una organización del sector energético-renovable orientada a la investigación, innovación y desarrollo de proyectos de base tecnológica en el medio natural, y que promueve el proyecto y el Plan de Aprovechamiento de Infraestructuras Públicas para Energías Renovables. Iniciativas que buscan sacar provecho de muchas de las infraestructuras urbanas ya existentes, no sólo de los puentes, para que también éstas sean productoras de

energía eólica, solar, geotérmica y para biomasa.

ZONAS CON DESNIVELES

En las Islas Canarias, un territorio fragmentado y bastante limitado por una orografía peculiar y al mismo tiempo compleja, ya que se han de salvar muchos desniveles del terreno, se han localizado hasta 22 viaductos con un potencial eólico suficiente y con las posibilidades técnicas relevantes para instalar infraestructuras de estas características. “Este tipo de instalaciones resultan más viables cuanto mayor sea la altura y la luz que salva el viaducto, ya que de este modo se tendrá más espacio y viento disponible para producir energía”, dice Óscar Soto.

Fuentes de inspiración

Para el viaducto eólico en el Juncal, los ingenieros han tenido en cuenta otras investigaciones realizadas con anterioridad: el concepto Solar Wind, un puente que conjuga la arquitectura ecológica con el uso de turbinas eólicas y paneles solares, del estudio italiano de arquitectura Coffice; las turbinas instaladas en el Bahrain World Trade, de WS Atkins & Partners ; o el edificio Strata de Londres, diseñado por BFLS, que también incorpora tres turbinas de viento en su parte superior.

“El proyecto italiano es más un concepto que una idea”, puntualiza Óscar Soto, quien añade que en el caso de Canarias se ha ido un poco más allá: “Se han realizando los cálculos necesarios y para aproximarlos a la realidad, de modo que pueda ser realizado en un futuro no muy lejano, entre 18 y 30 meses”.



Los diseñadores Francesco Colarossi, Giovanna y Luisa Saracino han elaborado un plan para la reutilización de viaductos en la zona de Calabria.

La mayoría de estos viaductos están situados sobre barrancos cercanos al mar, y esto implica dos detalles importantes. El primero es que se consigue una regularidad propia de los vientos sobre la superficie marina y el segundo es que en el canal del barranco el aire se acelera y permite obtener una mayor velocidad media anual. “Son zonas con un potencial eólico medio en los que los aerogeneradores funcionan desde 2.500 horas hasta emplazamientos en los que se pueden llegar



© Solar Wind

El proyecto italiano Solar Wind dispondría de 26 turbinas de viento, que generarían 36 millones de kWh anuales, y 200 metros de paneles solares, que sumarían otros 11,2 millones de kWh.

a las 4.500 horas. Esta solución también es extrapolable a otros entornos, todo dependerá del potencial eólico. Inferior a 2.200 horas, con los costes actuales, no sería rentable el proyecto”, comenta Martín. En cuanto a aprovechamiento, destaca la idea del proyecto italiano Solar Wind, que busca aprovechar la energía eólica y la solar, ya que en el asfalto de la parte superior del viaducto se dispondría una red de células solares capaz de proporcionar 11,2 millones de kWh.

RICOS EN VIENTO

La energía eólica es pieza significativa en el sector energético

español y cada año su porcentaje de participación en el conjunto del sistema es mayor. El pasado año, las energías renovables han mantenido un papel destacado en la producción global de energía del sistema eléctrico penin-

Para ser rentable un proyecto de este tipo, los aerogeneradores deben de estar en funcionamiento como mínimo 2.200 horas

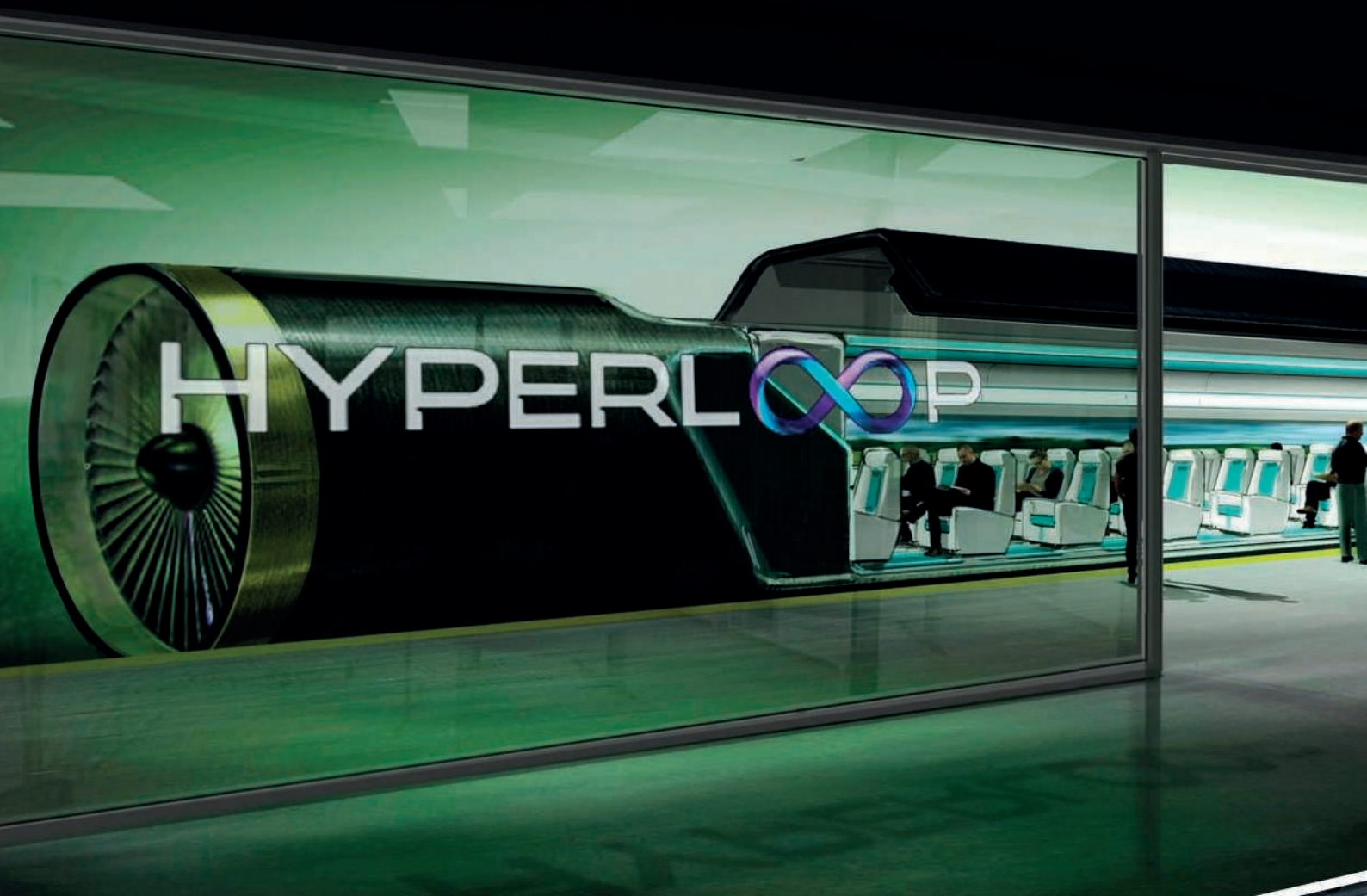
sular, ya que ha sido del 36,9% del total. En 2015, un año en el que se registraron menos viento y menos lluvia, la contribución de la energía eólica fue del 19%, mientras que la hidráulica redujo su peso hasta el 11% del total,

según los datos que se recogen del Informe del sistema eléctrico español, publicado por Red Eléctrica de España.

Este tipo de proyectos abre nuevas vías de generación eólica que

hasta ahora no se habían analizado y que colaborarían en el incremento de la producción eléctrica de origen renovable. Los beneficios son innumerables: reducir los niveles de contaminación atmosférica; contar con una energía de tipo endógena, para no

depender de otros suministradores y no estar a expensas de situaciones geopolíticas complejas; y que sea una energía diversificada y no centralizada capaz de colaborar en la energización de los sistemas eléctricos de potencia. ■



Las previsiones son que el tren esté operativo en el año 2019 para transportar mercancías y a partir de 2021 para desplazar viajeros con los sistemas de seguridad totalmente validados.

CUBRIRÁ LOS MÁS DE 500 KILÓMETROS
ENTRE SAN FRANCISCO Y LOS ÁNGELES EN 35 MINUTOS

HYPERLOOP, UN TREN SUPERSÓNICO

¿Un tren capaz de superar la velocidad de crucero de un Boeing 737? Este es el objetivo del proyecto Hyperloop, diseñar un transporte terrestre que circule a más de 1.200 kilómetros la hora y en el que los pasajeros viajen en unas cápsulas de aluminio que se desplazarán por el interior de un tubo. Su 'secreto' estará en el uso de la levitación magnética —en evitar el rozamiento entre los habitáculos transportadores y el tubo conductor gracias a esa atracción magnética— y de fuerzas impulsoras basadas en energías renovables.

Texto: **JAVIER PALAZÓN**
Fotos: **HYPERLOOP ONE**





co sudafricano Elon Musk, más conocido por ser cofundador de empresas como Paypal, Tesla Motors o SpaceX- que nace de la idea de unir los 563 kilómetros que separan las ciudades de San Francisco y Los Ángeles en tan sólo 35 minutos, en lugar de las 5 horas y media que actualmente tarda un coche en recorrer esa distancia por carretera.

El planteamiento fundamental de esta iniciativa consiste en construir un tubo con aire a baja presión para desplazar en su interior las vainas -tal y como se denomina a los vagones- que partirían cada 30 segundos en horas punta y cada dos minutos el resto del tiempo, con un espa-



Desde que se inventó la rueda, el hombre no ha parado de construir medios de transporte que han conseguido recortar cada vez más las distancias entre puntos distantes del planeta. Uno de los últimos diseños que se quiere poner en marcha es el tren supersónico Hyperloop, cuyo objetivo es convertirse en un medio de transporte rápido, económico, sostenible y con una alta frecuencia de trayectos. Un proyecto -impulsado por el fisi-

cio limitado a 28 personas en cada vaina. Para acelerar estas cápsulas a velocidades supersónicas, el tren dispondrá de un motor eléctrico lineal externo y un sistema de propulsión compuesto por 2.500 kg de baterías, un compresor, un refrigerante y componentes electrónicos. Todo ello para lograr una velocidad de más de 1.220 kilómetros por hora.

Según los primeros cálculos, el coste total de construir la infraestructura y los vehículos rondaría los 6.000 millones de dólares (5.200 millones de euros), cifra que ascendería a 7.500 millones si se quisiera transportar también vehículos, mientras que el precio

por billete se fijaría en aproximadamente unos 20 dólares.

PRIMERA PRUEBA

El proyecto ha captado ya la atención de investigadores y corporaciones de todo el mundo, que participan en él mediante un sistema de 'competición colaborativa' desde su puesta en marcha en 2012. Pero no ha sido hasta el pasado mes de mayo, cuando sus impulsores han llevado a cabo la primera prueba en un desierto próximo a Las Vegas, Nevada, muy cerca del lugar donde los hermanos Wright hicieron volar por primera vez a su avión en el año 1903. El prototipo, del tamaño de un automóvil, se desplazó durante unos segundos por una pista de pruebas de 3 kilómetros de distancia, alcanzando una velocidad de 160 kilómetros por hora mediante la técnica de la propulsión magnética hasta que fue detenido por un banco de arena. Una prueba que sirvió para observar la capacidad de aceleración del motor eléctrico.

Está prevista una segunda toma de contacto a finales de año con otra prueba, pero, esta vez, a velocidad y tamaño real en un tubo de dos kilómetros de longitud. Todo ello, gracias a la inversión inicial de 80 millones de dólares (70,2 millones de euros) de la que se dispone. "Esperamos que el tren esté operativo en 2019 para transportar mercancía y a partir de 2021 para el desplazamiento de viajeros con total seguridad", estima Rob Lloyd, CEO de Hyperloop One. "La sensación que experimentarán estos durante la aceleración será muy parecida a viajar en un avión, aunque con un trayecto más tranquilo".

También se está analizando un sistema de levitación magnética pasiva que no necesita de suministro constante de electricidad, porque la levitación sólo se produce con el movimiento

LA LEVITACIÓN MAGNÉTICA

La técnica escogida por Hyperloop One para desarrollar el tren supersónico ha sido la levitación magnética, también conocida como Maglev, por su acrónimo en inglés. En contraposición a la gravedad terrestre, se logra un sistema de transporte que utiliza únicamente la acción de un campo magnético para desplazar los vagones. Estos trenes requieren de estaciones eléctricas a lo largo de las líneas para alimentar las bobinas de cobre

y convertirlas en imanes para la sustentación y la propulsión de las vainas.

Este concepto, que surgió en la década de los años 70, no se llevó a la práctica hasta 2004, año en el que se construyó la primera línea comercial de alta velocidad del mundo mediante levitación magnética, Shanghai Maglev. Este tren realiza los 30 kilómetros que separan Shanghái de su aeropuerto en menos de 7 minutos, a una velocidad máxima de 431 kilómetros por hora. En la actualidad,

investigadores japoneses están también trabajando en una iniciativa basada en este sistema con un proyecto que pretende cubrir en una hora los 500 kilómetros que separan Tokio de Osaka.

Sin embargo, esta no es la única técnica propuesta para desarrollar Hyperloop, ya que también se está barajando crear un sistema de levitación magnética pasiva que, a diferencia de los maglev, no requiere de modificaciones de infraestructura, ya que los imanes se integran a temperatura ambiente en las propias vainas y no a lo largo de la vía. Además, este método no necesita un suministro constante de electricidad para funcionar. Aquí la levitación sólo se produce con el movimiento. Por tanto, si hubiera algún fallo eléctrico, las vainas continuarían levitando y sólo tocarían el suelo al reducirse la velocidad.



Montaje del tubo por donde se desplazarán los vagones, en una prueba realizada en Nevada.

BENEFICIOS DE 'UNIR' CIUDADES

Este transporte del 'futuro' ha llamado la atención de otros muchos países, como Finlandia, Reino Unido o Rusia, que ya están buscando la forma de sacar partido a las ventajas que ofrece el tren supersónico. En este sentido, Hyperloop One ha publicado un primer informe sobre la viabilidad de usar esta tecnología para unir las capitales de Finlandia y Suecia, que se encuentran separadas por el Mar Báltico. En la actualidad, se puede completar ese recorrido de dos maneras: o bien pasar toda la noche en un barco o volar en avión durante más de una hora. Con esta tecnología se podría recorrer los 500 kilómetros que separan Estocolmo y Helsinki en 28 minutos. "Nuestras investigaciones confirman lo que hemos estado explicando todo este tiempo: Hyperloop conseguiría ahorrar mucho tiempo a los via-



Centro de control para la prueba del prototipo que alcanzó 160 km/h durante unos segundos.

jeros y es un generador increíble de beneficios económicos para las ciudades y las regiones", afirma Rob Lloyd.

Se calcula que en diez años se podría recuperar el presupues-

to de 19.000 millones de euros que cuesta su puesta en marcha. "Hyperloop está listo para dar el siguiente paso y empezar a construir en la región escandinava. Es una ubicación perfecta debido a su fuerte economía, una población que debe desplazarse con frecuencia y su liderazgo mundial como innovador tecnológico", añade Rob Lloyd.

También se pretende conectar Rusia con China. El objetivo es unir la provincia china de Jilin con el puerto ruso de Zarubino, construyendo una infraestructura de 70 kilómetros de recorrido. "En este caso, el sistema de levitación magnética sería diferente al que se está construyendo en Estados Unidos, porque aquí no se requiere viajar a la velocidad máxima", comenta Lloyd, quien recalca el objetivo de Hyperloop: "Hay que trabajar para redefinir el futuro del transporte, construyendo una red de alta velocidad, segura, eficiente y sostenible para el desplazamiento de personas y mercancías". ■

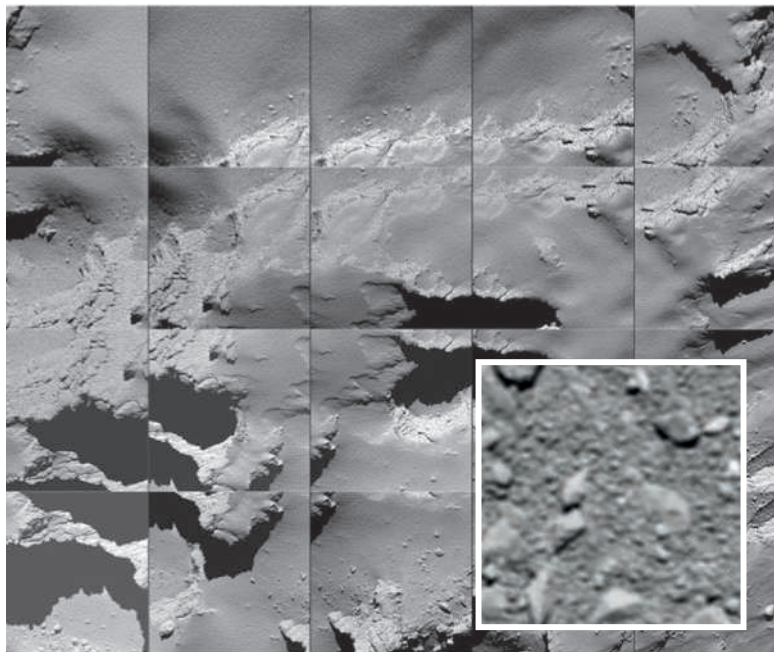
La aportación española

En su apuesta por la innovación, un equipo compuesto por cuatro jóvenes estudiantes de máster y un investigador de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) han sorprendido con su planteamiento a Elon Musk y a un conjunto de jueces formados por miembros de Tesla y SpaceX. El equipo, llamado Makers UPV, ha sido el ganador de los premios al mejor subsistema y al mejor diseño general de Hyperloop durante una competición que tuvo lugar en Texas a principios de año, en la que participaron equipos formados por más de 50 personas de universidades internacionales muy prestigiosas.

El planteamiento del equipo giraba en torno a un diseño que integra todos los sistemas dentro de la vaina, utilizando la levitación magnética, sin necesidad de una pista conductora bajo el tubo, ya que éste, construido en acero, serviría para crear la acción de campo magnético. Para el subsistema, los españoles diseñaron un método de propulsión parecido al motor de un avión. El aire entra por la parte delantera hacia un compresor, después pasa por encima de la cabina y se expande al llegar a la parte trasera, recuperando la presión normal, con lo que se consigue la energía necesaria para mover la turbina.

LA ÚLTIMA FOTO DE LA NAVE ROSETTA

Tras haber sido lanzada al espacio en 2004 por la Agencia Espacial Europea (ESA), en una misión cuyo objetivo era alcanzar la órbita del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko y estudiar su composición, la nave Rosetta cumplió la última orden que se le encomendó: descender y posarse en el cometa para –una vez logrado– apagarse para siempre. Y lo hizo, el pasado 30 de septiembre, aportando todavía más información, de la ingente que ha recopilado durante estos 12 años. En el descenso, siguió enviando imágenes detalladas del cometa. Imágenes únicas, porque nunca antes ningún instrumental humano había estado tan cerca de un cometa viajero. Ahora, el cuerpo celeste lleva a



Última foto tomada por Rosetta y secuencia de imágenes durante su descenso.

© ESA

su lomo esta sonda terrícola que incorpora una placa de níquel con mensajes en más de 1.000

idiomas para que lo escuche aquel con la que se encuentre en su camino. ■

UNA MOLÉCULA DETIENE EL DESARROLLO DEL ALZHEIMER



Un investigador trabaja con ratones en el Centro de Investigaciones Biológicas.

© CSIC/Coستا

Llamada ASS234, esta molécula bloquea la acumulación de una proteína tóxica y mejora los sistemas cognitivos de la enfermedad del Alzheimer, y sus características sugieren su uso para tratar el deterioro cognitivo. Ésta es la conclusión de un estudio de investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y las Universidades Complutense y Autónoma de Madrid, y llevado a cabo con ratones transgénicos portadores de genes humanos tratados para causar la enfermedad. “El efecto se debe a que bloquea la agregación o depósito en el cerebro de la proteína tóxica amiloidea y a que estimula la transmisión colinérgica y monoaminérgica”, ha explicado Ricardo Martínez Murillo, investigador del CSIC en el Instituto Cajal de Madrid. ■

HUESOS ARTIFICIALES EN 3D

Ingenieros de la Universidad de Northwestern e Illinois han elaborado una tinta que es posible imprimir en 3D para fabricar un hueso sintético que, a su vez, se puede implantar en



Lumbares humanas impresas en 3D

© Adam E. Jakus/
Universidades de Northwestern e Illinois

el ser humano e inducir con esa pieza al hueso natural a regenerar la parte dañada y crecer. Con ello se podrían tratar deficiencias en el esqueleto, paliar problemas dentales o tratar un cáncer de tipo óseo. ■

LA LUNA EUROPA DE JÚPITER PODRÍA TENER UN OCÉANO DE AGUA

El satélite Europa de Júpiter, según han observado a través del telescopio Hubble científicos del Space Telescope Science Institute en Baltimore, tiene géiseres de agua en la superficie, lo que podría significar que existe un océano de agua líquida bajo su superficie y, por tanto, la posibilidad de albergar algún tipo de vida. En total se han contabilizado siete géiseres, de hasta 200 kilómetros de altura, que fueron descubiertos cuando revisando imágenes vieron unos “largos dedos que se proyectaban en el espacio”. ■



Apostando por la tecnología e I+D+i

Centro de Tecnología Avanzada en constante innovación

Pasión por la mejora continua

Excelencia operativa, mejores prácticas y cultura de seguridad

Consolidando nuestra internacionalización

Flexibilidad, exportada más del 85% de la producción

Passion_{for}
improvement

www.ensa.es



EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

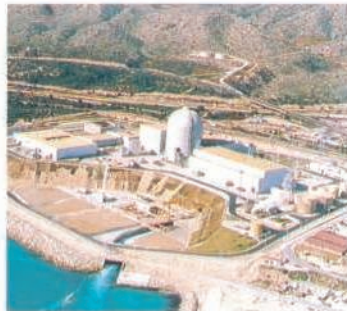
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

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

■ **Tecnología**

■ **Experiencia**

■ **Dedicación** ■



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

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

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