



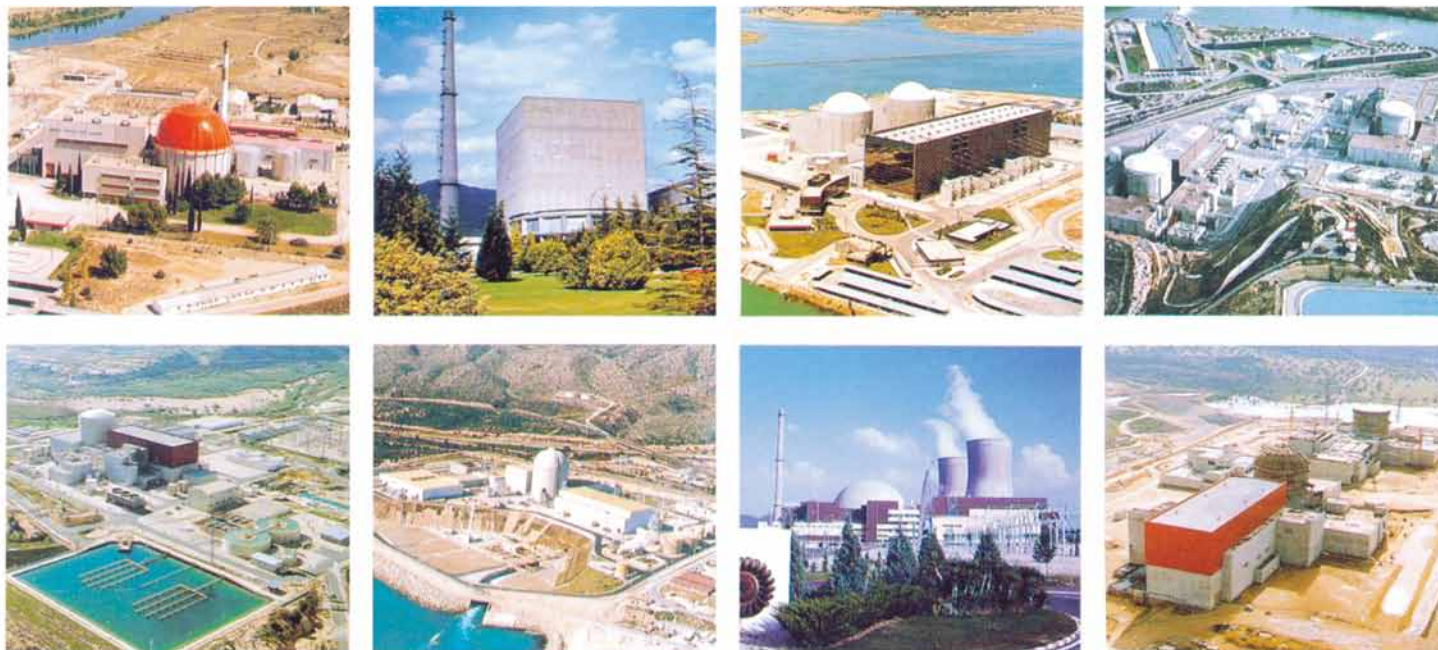
EMPRESARIOS AGRUPADOS

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.

ESTRATOS

MÁS DE 25 AÑOS DIVULGANDO CIENCIA

Ya es posible detectar ondas gravitacionales

El microscopio electrónico que mide la distancia entre átomos

José Luis Domingo Roig, director del Laboratorio de Toxicología y Salud Ambiental: "Seremos capaces de curar o cronificar el cáncer antes de averiguar su causa"

Estratos • primavera 2017 • N.º 117 • www.enresa.es



Las arcillas en la historia de la civilización: de la artesanía a la tecnología nuclear



WESTINGHOUSE DECOMMISSIONING
AND REMEDIATION SERVICES
GLOBAL PROJECT EXPERIENCE
ADVANCED TECHNOLOGY

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC



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



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

EXPERIENCIA INTERNACIONAL E I+D EN GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

La experiencia internacional en gestión de residuos radiactivos y los avances que se dan en investigación y desarrollo en materias relacionadas con esta actividad son dos elementos de gran importancia para Enresa. Por ello, en las páginas que siguen a continuación, el lector de *Estratos* podrá profundizar, por un lado, en la experiencia y características del programa nuclear argentino, y por otro, en las conclusiones de un programa de investigación relevante: el uso de arcillas como barrera de retención de los residuos radiactivos, entre otros temas de interés.

En el presente número de *Estratos* se ha escogido el programa nuclear y el sistema de gestión de residuos que se aplica en Argentina, uno de los países de América Latina pioneros en el uso de tecnología nuclear para la producción de energía eléctrica. Los retos de futuro de este país pasan por hallar la metodología y la legislación más adecuadas para encontrar emplazamientos para la gestión definitiva de estos materiales. Mientras tanto, en el país latinoamericano la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) almacena los residuos radiactivos de baja y

media actividad de forma temporal en su centro de Ezeiza y el combustible gastado de sus tres reactores en operación en las piscinas de las propias centrales nucleares o en almacenes en los propios emplazamientos.

Su estrategia para la gestión de residuos de baja y media actividad contempla el diseño y construcción de una instalación para el almacenamiento definitivo similar a El Cabril, proyecto en el que Enresa colabora con la CNEA en su diseño. En cuanto a la gestión de combustible gastado, sus objetivos se centran en asegurar la capacidad de almacenamiento para las dos unidades de la central nuclear de Atucha y la consecución de un almacenamiento definitivo, que pasa por un laboratorio subterráneo de investigación para disponer en un futuro medio, en torno a 2060, de un almacenamiento geológico profundo.

Otro de los artículos escogidos para este número hace referencia a la evolución de las arcillas en la historia de la civilización, desde la artesanía a la tecnología de la energía nuclear. A los usos tradicionales que están en la mente de todos de la arcilla, como por ejemplo material de

construcción, se unen otros usos actuales menos conocidos en ámbitos tan dispares como la industria farmacéutica, la automoción o su aplicación como barreras de retención de elementos radiactivos.

El artículo que pueden encontrar en este número de *Estratos* ahonda en los trabajos del grupo de Investigación "Química del Estado Sólido" del Instituto Ciencia de los Materiales de Sevilla (Universidad de Sevilla-CSIC) que viene colaborando, dentro de sus actividades de transferencia tecnológica, con Enresa en diversos proyectos centrados en la caracterización de mecanismos de retención de actínidos en materiales silicatados.

Y para finalizar, encontrarán un sentido homenaje y un triste adiós a nuestro compañero Pablo Zuloaga, que nos dejó en vísperas de Navidad. Pablo era uno de los pioneros de la empresa, técnico de brillante trayectoria y una cabeza privilegiada por la que pasaron proyectos como El Cabril y que, actualmente, estaba dedicado en cuerpo y alma al ATC. Pablo, el hombre tranquilo, se nos ha ido dejándonos, como el poeta, umbríos por la pena. ■

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:
María D. Alba, Pablo Almera, Ana Ayala, Agustín Cota, César de Echagüe, Emilio García, Elena García Quevedo, Bárbara Gordo, Germán Hesles, Francisco J. Osuna, Laura Pajuelo, Esperanza Pavón, Pura C. Roy, Ricardo Tapia y Rosa M. Tristán.

Crédito de portada:

ESA

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 18



PÁGINA 24



PÁGINA 50



PÁGINA 54

EDITORIAL

Experiencia internacional e I+D en gestión de residuos radiactivos. 3

ACTUALIDAD ESTRATOS

- Zorita: imágenes de un proyecto en constante evolución 5
- Técnicos de Korea Electric Power visitan los trabajos en José Cabrera 6
- Enresa y el CSN celebran su primer comité de enlace del año 6
- La Cátedra Enresa de la UCO convoca un Curso de Experto en gestión y tratamiento de residuos radiactivos. 7
- Despedida a Pablo Zuloaga, toda una vida de dedicación 8

I+D

Las arcillas en la historia de la civilización: De la artesanía a la tecnología nuclear 12

INTERNACIONAL

La gestión de los residuos radiactivos en Argentina 18

ENTREVISTA

José Luis Domingo Roig, fundador y director del Laboratorio de Toxicología y Salud Ambiental: “Seremos capaces de curar o cronificar el cáncer antes de saber su causa” 24

MINERALOGÍA

Los minerales como indicio de existencia de vida. . 28

MICROSCOPIA

El ojo electrónico que todo lo ve 32

SIERRA ALBARRANA

- Marca ‘Parque Natural de Andalucía’: 14 años de calidad y sostenibilidad 38
- Actualidad de Sierra Albrarrana 42

ASTROFÍSICA

Ya es posible detectar ondas gravitacionales . . . 44

ETOLOGÍA

La ‘Farmacia animal’ 50

ANTROPOLOGÍA

Artminxe, otra ‘capilla sixtina’ del arte rupestre. . 54

AGRICULTURA

¿Es viable una agricultura sin pesticidas? 58

MEDIO AMBIENTE

Imitando la naturaleza. 62

NOTICIAS CIENCIA. 66

SUMARIO

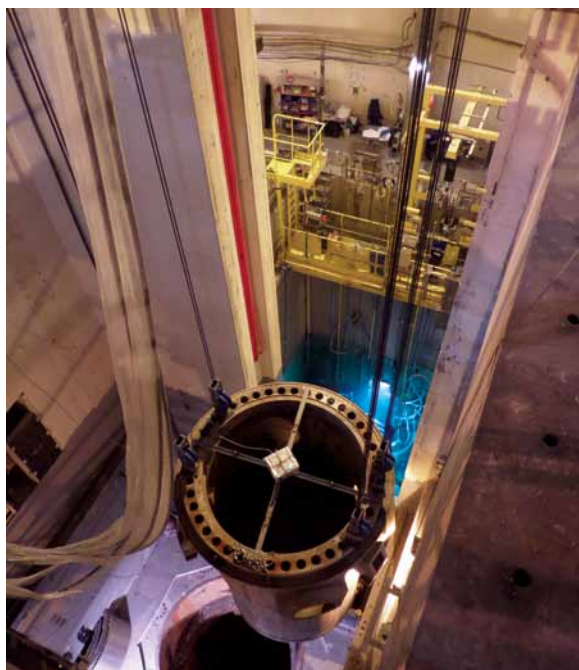
actualidadestratos

Zorita: imágenes de un proyecto en constante evolución

Tras la retirada del blindaje biológico de la vasija del reactor y del foso de combustible gastado, las cavidades ofrecen un aspecto diáfano, muy diferente al que tenían hace poco

más de dos años, en plenos trabajos de extracción e izado de la vasija para acometer su segmentación bajo agua. En las fotografías, se aprecia el izado de la última pieza de hormigón

procedente del fondo del foso donde se almacenaba el combustible gastado de la instalación, así como el estado de las cavidades en junio de 2014 y en la actualidad. ■



© Enresa

En la imagen superior, estado de las cavidades durante la maniobra de extracción e izado de la vasija del reactor de Zorita, ejecutada en el mes de junio de 2014. Abajo, situación actual, en enero de 2017.

Primeros planos del hueco dejado por la vasija del reactor de Zorita. En la imagen superior, a la derecha, se pueden apreciar los conductos por los que discurrían las ramas fría y caliente del circuito primario.

INTERÉS INTERNACIONAL POR EL DESMANTELAMIENTO DE ZORITA

Técnicos de Korea Electric Power visitan los trabajos en José Cabrera



© Enresa



© Enresa

Foto de conjunto de Kepco y un momento de la visita de los representantes del grupo coreano, quienes recorrieron diferentes áreas de la instalación, con especial interés en el edificio de contención.

Si durante 2016 fueron varios los colectivos procedentes de Corea del Sur que se desplazaron hasta la central nuclear “José Cabrera”, 2017 ha comenzado con una nueva visita de técnicos procedentes del país asiático con el

objetivo de conocer con detalle los trabajos de desmantelamiento. En esta ocasión, miembros de la compañía Korea Electric Power Corporation (KEPCO) recorrían la semana pasada las instalaciones de Zorita. ■

ENRESA Y EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR CELEBRAN SU PRIMER COMITÉ DE ENLACE DEL AÑO



© Enresa

Representantes de Enresa y de Consejo Superior Nuclear durante su primer comité de enlace de 2017

El Comité de Enlace CSN-Enresa celebró su primera reunión de este año el pasado 24 de Enero en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Por parte de Enresa, asistieron su presidente, Juan José Zaballa; el director de la Dirección Técnica, Álvaro Rodríguez Beceiro; el director de Ingeniería, Mariano Navarro; el director de Operaciones, Juan Luis Santiago; la directora del Centro de Almacenamiento El Cabril, Eva Noguero, y la jefa del departamento de Seguridad y Licenciamiento, Elena Vico. Por su parte, la representación del CSN estuvo encabezada por el consejero Fernando Castelló, que se encargó de coordinar la reunión; la consejera Cristina Narbona, el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera y la directora técnica de Protección Radiológica, M^a Fernanda Sánchez, entre otros cargos del organismo regulador.

En la reunión, ambas partes revisaron el estado y previsiones de las actividades de Enresa, entre las que cabe destacar la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad, así como el desarrollo del proyecto de construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) y de los Almacenes Temporales Individualizados (ATI) de combustible nuclear gastado.

Asimismo, y tal y como informa el organismo regulador en su página web, se analizaron los procesos de desmantelamiento de las centrales nucleares de José Cabrera (Guadalajara) y de Vandellós I (Tarragona), así como el repaso del Plan Integrado para la Mejora de las Instalaciones del Ciemat (PIMIC). Además, ambas partes manifestaron interés en identificar líneas de actividad común en sus respectivos planes de I + D.

Estas reuniones del Comité de Enlace CSN-Enresa permiten el intercambio de información entre los responsables del organismo regulador y la empresa encargada de la gestión de los residuos radiactivos en España. Las relaciones entre ambas partes se han desarrollado en un clima de máxima colaboración y así lo han manifestado sus altos cargos. ■

La Cátedra Enresa de la UCO abre la convocatoria para el Curso de Experto en Gestión y Tratamiento de Residuos Radiactivos



Participantes de la anterior edición del curso de Gestión y Tratamiento de Residuos Radiactivos durante su visita a El Cabril

La Cátedra Enresa de la Universidad de Córdoba (UCO) ha abierto el plazo de prematrícula y solicitud de becas para la segunda edición del curso online de “Gestión y Tratamiento de Residuos Radiactivos”. Este curso, en el que, además de la UCO, participan Enresa y diversas universidades y organismos, tiene una duración de 475 horas y se desarrollará de abril a noviembre de 2017.

La necesidad de profesionales y técnicos especializados en el ámbito de la gestión de los residuos radiactivos ha generado una demanda de formación universitaria en esta especialidad. Por ello, la Cátedra Enresa-UCO pone en marcha la segunda edición del título universitario de Experto en la Gestión y Tratamiento de Residuos Radiactivos en su modalidad online, y con un calendario adaptado a favorecer la participación de técnicos y alumnos de Iberoamérica.

El plantel de profesores está compuesto por técnicos y expertos de instituciones, universidades y centros de investigación españoles que cuentan con un reconocimiento y prestigio nacional e internacional entre las que hay que reseñar a Enresa, Ciemat, Foro Nuclear, Consejo de Seguridad Nuclear, Universidad Politécnica de Madrid y las universidades públicas andaluzas.

El curso busca aportar al sector de los residuos radiactivos personal técnico cualificado para sus cuadros profesionales y laborales y está dirigida a titulados medios, de grado, licenciados y superiores universitarios de las áreas de ciencias e ingenierías; técnicos, estudiantes y usuarios de fuentes y sustancias radiactivas y sus residuos, y responsables de instalaciones radiactivas de investigación, bio-médicas e industriales.

Los interesados pueden encontrar más información en www.catedraenresauc.com ■

DESPEDIDA A PABLO ZULOAGA,

Toda una vida de dedicación

Enresa se despide de Pablo Zuloaga, ingeniero referente a nivel internacional que marcó la diferencia con sus trabajos en la gestión de residuos radiactivos en España



Hace unas semanas se fue para siempre Pablo Zuloaga, ingeniero industrial con especialidad en Técnicas Energéticas por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao que formaba parte de Enresa desde el año 1986, momento en el que la empresa le ficha como técnico del departamento de Ingeniería. Antes de formar parte de Enresa, Zuloaga desarrolló su actividad profesional en Auxies Ingeniería Española. En esta compañía trabajó en el proyecto de la Central Nuclear Vandellós II como ingeniero de procesos; en la puesta

en marcha de la Central Nuclear Lemóniz como ingeniero responsable de sistemas; en la ejecución de la Central Térmica Narcea; en la puesta en marcha de la Central Térmica La Robla y como jefe del grupo BOP-2 en el desarrollo de la Central Nuclear Vandellós II. Gracias a estos trabajos es elegido para formar parte de Enresa, que nacía por aquel entonces. Desde que se sumó a la plantilla de Enresa, Zuloaga no dejó de destacar: su calidad humana y profesional dejaban huella, algo que traspasó las fronteras, logrando convertirse en referente internacional en materia de gestión de residuos radiactivos.

UN PROFESIONAL “SOBRESALIENTE CUM LAUDE”

Tan solo un año después de entrar como técnico en Enresa, Zuloaga fue nombrado jefe del proyecto de Ingeniería de El Cabril. Allí logró incorporar las tecnologías más novedosas para la gestión de los residuos de baja y media actividad, consiguiendo un diseño y puesta en marcha que han convertido a El Cabril en un referente mundial en la gestión de los RBMA.

Zuloaga también hizo constar su saber hacer en el proyecto de desmantelamiento de la Central Nuclear Vandellós I antes de que le ascendieran en 1999 como responsable del departamento de Ingeniería de RBMA de Enresa. Durante los 9 años que estuvo en este puesto, el ingeniero trabajó en torno al diseño y construcción de la celda 29, una instalación complementaria e innovadora para albergar los residuos de muy baja actividad que comenzó a funcionar en 2008; en el desarrollo de los procesos de caracterización y aceptación de residuos radiactivos del desmantelamiento de las centrales nucleares Vandellós I y José Cabrera.

Este mismo año, en 2008, Zuloaga pasa a dirigir el departamento de Ingeniería de Residuos de Alta Actividad de la compañía, donde se encargaba de la construcción de los almacenes temporales individualizados de las centrales nucleares de José Cabrera, Ascó I y II y del licenciamiento en España de los contenedores HI-STORM 100 para almacenamiento del combustible gastado de la central nuclear tarraconense. Este año los logros de Zuloaga van más allá de su trabajo en Enresa, ya que logra acreditarse como Doctor Ingeniero Industrial “Sobresaliente Cum Laude” por el Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos de la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao. En su tesis doctoral, el ingeniero profundiza en el modelo de comportamiento de las barreras de hormigón para el aislamiento de residuos radiactivos de baja actividad.

Durante sus últimos años Zuloaga ocupará el puesto de director de Ingeniería de Enresa, responsabilizándose de las actividades de ingeniería de



Visita técnica a El Cabril previa a la construcción de la celda 29 para RBBA.

residuos de baja, media y alta actividad, así como de la ingeniería de suelos, del Almacén Temporal Centralizado y del I+D. El ingeniero se encargó del lanzamiento del proyecto del Almacén Temporal Centralizado (ATC), siendo clave en los trabajos para el emplazamiento de sus instalaciones y la búsqueda de licencias ante el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Zuloaga también fue imprescindible para la transferencia de titularidad de los residuos de reproceso de la Central Nuclear Sta. M^a de Garoña.

Nombrar a Pablo Zuloaga es hablar de un gran profesional que ha dedicado toda su carrera a la búsqueda de la excelencia en la gestión de residuos radiactivos. Una persona cuya inquietud y pasión por su trabajo le llevó a participar en multitud de foros y reuniones internacionales como experto en todo el ciclo de gestión de los residuos radiactivos de alta y baja y media actividad. Pero Pablo Zuloaga fue más que un gran profesional en Enresa, también se encargó durante estos 30 años de hacerse imprescindible personalmente. Por ello, sus compañeros y amigos de Enresa han querido escribirle una carta de despedida y reconocimiento por su infinita entrega.

AMIGO PABLO...

Texto escrito por **Amigos y compañeros de Enresa en memoria de Pablo Zuloaga**
Fotos **Enresa**

Tenías 24 años y del despacho pasaste a la acción, volvías a tu tierra con tu familia para pasar los siguientes siete años empapándote de experiencia real, poniendo en marcha lo que habías estudiado y viviendo una vida nómada de la que tanto has disfrutado tú y los que hemos tenido la suerte de estar cerca de ti.

Poco aficionado a los deportes en general, saltaste el doble vallado de Lemoz con la maestría de un atleta por trabajar uno de los días que desalojaban, inadvertidamente, la Central.

En ocasiones se nos pasaban las noches asomados a la terraza de El Abra mirando a la ría de Bilbao, cenábamos los bonitos que habíamos pescado esa misma mañana con tu padre.

Pegamos carteles por la liberación de nuestro compañero José María Ryan, hasta que te amenazaron directamente, en tu casa, para que te fueses de Euskadi, tu tierra.

Enseguida empezaste a distribuir la sabiduría que en pocos años habías acumulado en Lemóniz... en la Puesta en Marcha de Centrales térmicas, en Mallorca... León ... Primeras experiencias viajeras con Lourdes y los niños, afianzamiento en las relaciones de amistad, admiración de tus subordinados y de tus jefes, sabedor de mucho, mente privilegiada, memoria prodigiosa, a veces hasta ofensiva para el resto de los mortales que estábamos a tu lado...

Años de rabiosa y pasional juventud en los que a veces íbamos a trabajar sin haber dormido... Cómo imaginar que aquello era el comienzo de una brillante carrera en el mundo nuclear, que te transformó en un gran especialista, reconocido a nivel internacional.

No fue casualidad que te reclamasen en Enresa, a alguien le tenía que tocar el premio gordo de contar contigo. Te gustaba tu trabajo y derrochabas pasión. Esta nueva etapa se transformó en un desafío, todo por hacer, voluntad y medios. Bien preparado para enfrentar el reto, copiar de los franceses mejorándolos, dominando tres idiomas transmitías cercanía y confianza y la amistad se transformaba en tu mejor recurso, todos te querían, profesional y personalmente y esta etapa te aportó un universo de conocimientos que has sabido aplicar con humildad y pericia hasta el día de hoy.

Tanto tren, tanto conducir por carreteras secundarias, tanto apurar el tiempo y seguir día y noche compartiendo ideas sobre qué hacer mañana, dieron como resultado el mejor almacenamiento de residuos radiactivos de baja actividad que, en aquellas fechas, había en el mundo. Muchos lo desconocen, pero tus viajes por todos los continentes dando conferencias, abriendo puertas y convenciendo, en nombre de quien había facilitado los medios para lograrlo, sirvieron para convencer a muchos de la seriedad y fiabilidad de Enresa respecto al cumplimiento de los compromisos sobre la gestión de los residuos radiactivos de nuestro país.



**“Nos gustaría poder decirte,
gracias Pablo, por tu mirada que
parecía darnos las gracias constantemente,
por haber podido disfrutar de
una copa de vino contigo, por haber
sentido siempre ganas de abrazarte,
gracias sobre todo por... tu ejemplo”**

En etapas posteriores, supiste navegar en un mundo complejo, casando intereses contrapuestos, manejando situaciones delicadas, llegando a conseguir que los grandes te escuchasen, confiaran en tus ideas, tu palabra y tu lealtad. Tu perfil profesional siempre ha estado marcado por la razón, la confianza y ese halo de ternura y cercanía que configuraba tu personalidad.

Has sabido respetar a los que te han dirigido muchos años, gente querida, compañeros de algo más que trabajo y amigos al fin... y has sabido tratar a la gente que dependía de ti, con respeto, sin ostentación de tu capacidad, conocedor de tus limitaciones y aunque cabezón, que lo eras, demostrando la humildad, que fue tu mayor virtud.

Siempre atento a las relaciones humanas y pulcro en el cumplimiento de tus responsabilidades, ambas cosas por encima de toda prioridad, nunca has olvidado la visita navideña al Ayuntamiento o al puesto de la Guardia Civil, para felicitar a sus responsables, que tanto te han apreciado y que hoy te distinguen con el mayor de los méritos a su alcance, una calle a tu nombre que conduce y abre las puertas a tu última aventura profesional.

Hoy vivías pensando en retirarte a disfrutar con Arantza, volver al norte, cambiar tu intensa dedicación profesional por volcarte en los que te rodean y en ti mismo. Tenías mucho campo labrado para desarrollar multitud de aficiones, muchos amigos con quien compartir y mucho cariño a tu alrededor.

Nos gustaría poder decirte, gracias Pablo, por tu mirada que parecía darnos las gracias constantemente, por haber podido disfrutar de una copa de vino contigo, por haber sentido siempre ganas de abrazarte, gracias sobre todo por... tu ejemplo.

Algunos todavía seguimos sintiendo tu barba suave en la mejilla cuando te abrazamos, tu doble abrazo, sentimos el cariño que expresaban tus ojos y tu sonrisa... y aún hoy, cuando pensamos en ello, no podemos evitar que se nos salten las lágrimas.



2003 - Visita institucional a las instalaciones de El Cabril.

LAS ARCILLAS EN LA HISTORIA DE LA CIVILIZACIÓN: DE LA ARTESANIA A LA TECNOLOGÍA NUCLEAR

Desde que la humanidad descubrió las propiedades de la arcilla, este material, al que se le han dado los más diversos usos, no ha dejado de acompañarnos a lo largo de las distintas etapas de la historia. En la actualidad las arcillas se utilizan como barreras de retención de los elementos radiactivos. El grupo de Investigación 'Química del Estado Sólido' del Instituto Ciencia de los Materiales de Sevilla colabora con Enresa en diversos proyectos centrados en la caracterización de mecanismos de retención de actínidos en materiales silicatados.

Autores: **MARÍA D. ALBA, AGUSTÍN COTA, FRANCISCO J. OSUNA Y ESPERANZA PAVÓN**

Las arcillas han jugado un papel relevante en el desarrollo de las distintas civilizaciones.



Las arcillas se han usado por el ser humano desde la antigüedad. Las investigaciones arqueológicas indican que sus primeros usos se remontan a los antiguos asentamientos agrícolas, en los que se comenzó a trabajar la arcilla para la fabricación de ladrillos, utensilios de cocina y objetos artísticos. A lo largo de la historia han acompañado al desarrollo de las distintas civilizaciones y siguen siendo indispensables en la vida moderna (Figura 1). Dos ejemplos fundamentales: las arcillas se usan desde el año 6.000 a.C. como elemento de construcción y fueron esenciales en el desarrollo de la escritura, al ser utilizadas como material de soporte.

Hoy en día las arcillas tienen usos muy variados y, normalmente, poco conocidos. En la industria farmacéutica, por ejemplo, se utilizan para preparar medica-

mentos que contrarrestan los problemas digestivos, gracias a sus propiedades de adsorción de líquidos. Entre esos otros usos de estos materiales se encuentran la producción de productos cosméticos y la dosificación controlada de fármacos. Además, gracias a sus propiedades físicas, se utilizan en la industria automotora para la elaboración de diversos productos plásticos, en la industria química como catalizadores y en la industria electrónica en la confección de aislantes.

FILTROS NATURALES

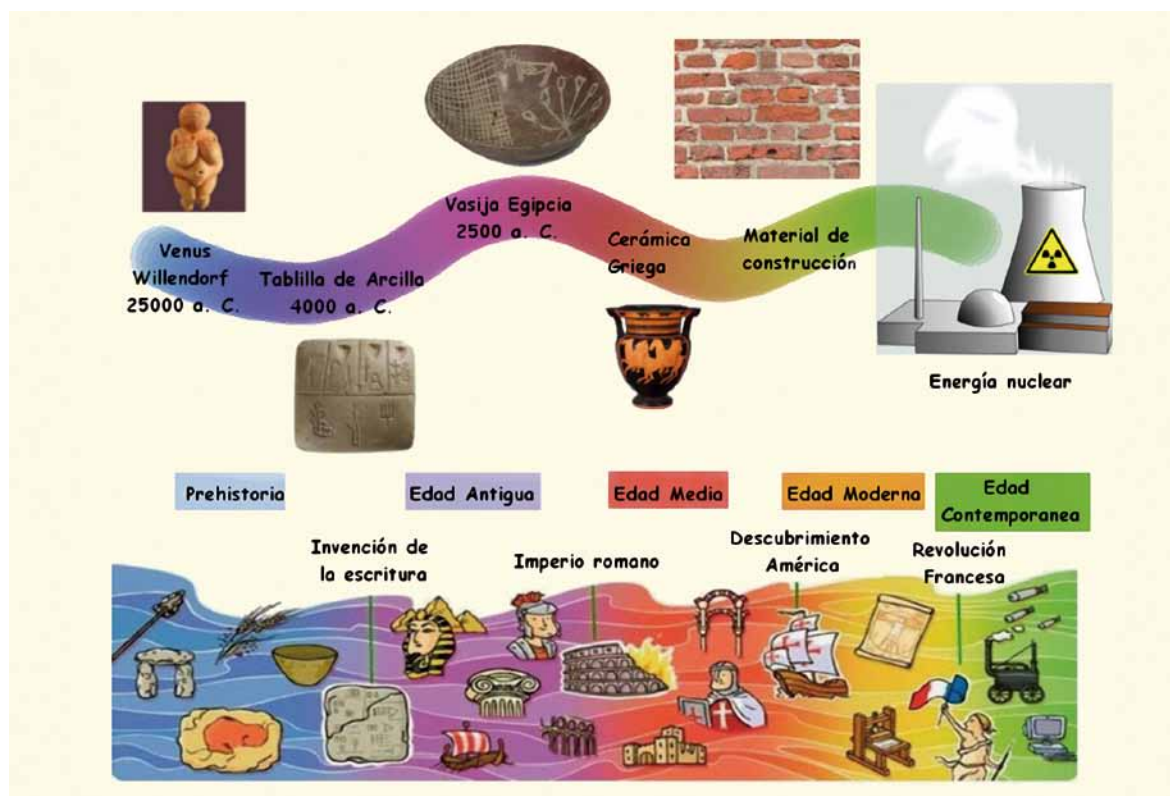
El actual desarrollo industrial lleva asociado una producción de residuos nocivos muy elevada y en este campo las arcillas están jugando un papel fundamental. Por ejemplo, se utilizan como filtros naturales que purifican el agua que pasa a través del suelo, creando barreras impermeables capaces de absorber elementos

tóxicos (Velde, 1992). Esta aplicación es especialmente importante para la gestión de los residuos radiactivos, ya que las arcillas se están utilizando como barreras de retención de los elementos radiactivos.

Del combustible gastado en las centrales nucleares se recupera plutonio y uranio, sin embargo, el residuo líquido remanente contiene productos de fisión, elementos actínidos y productos activados. Todos ellos poseen una elevada radiactividad. Durante los primeros 500 años desde la retirada del residuo, las especies más representativas que contribuyen a esa radiactividad son el cesio-137 y el estroncio-90 mientras que el yodo-129, radionúclido de larga vida ($T_{1/2}=10^7$ años) contribuye a su peligrosidad a largo plazo.

El grupo de Investigación 'Química del Estado Sólido' (FQM212) del Instituto Ciencia de los Materiales de Sevilla (Universidad de

Figura 1. Evolución del uso de las arcillas por el hombre a lo largo de la historia de la civilización.



Se han hecho ensayos encaminados a la modificación de las arcillas para hacerlas potencialmente útiles en la adsorción de contaminantes con una variabilidad de propiedades fisicoquímicas

Sevilla-CSIC) viene colaborando, dentro de sus actividades de transferencia tecnológica, con Enresa en diversos proyectos centrados en la caracterización de mecanismos de retención de actínidos en materiales silicados. Merced a estas colaboraciones, se ha puesto a punto la tecnología de inmovilización de elementos lantánidos y de cesio por arcillas sintéticas y naturales. Asimismo, se hicieron ensayos

preliminares encaminados a la modificación de las arcillas para hacerlas potencialmente útiles en la adsorción de contaminantes con una variabilidad de propiedades fisicoquímicas.

RETENCIÓN DE CESIO Y YODO

Continuando con las líneas de investigación iniciadas es de

gran interés desarrollar a escala prepiloto un análisis de la retención de cesio y yodo por barreras reactivas de arcillas sintéticas, comparando los resultados con el comportamiento de arcillas naturales.

En principio, las arcillas no son buenos materiales para la adsorción conjunta de estas dos sustancias, ya que si bien, tienen una capacidad de adsorción excelente de contaminantes catiónicos, es decir, de elementos cargados positivamente como es el cesio y el estroncio, son ineficaces para la adsorción de contaminantes cargados negativamente (aniónicos) como es el yodo.

Para resolver este inconveniente se ha desarrollado un mecanismo de modificación de las arcillas.

Figura 2. Unidades elementales de las arcillas y procedimiento de órgano-funcionalización de las mismas.

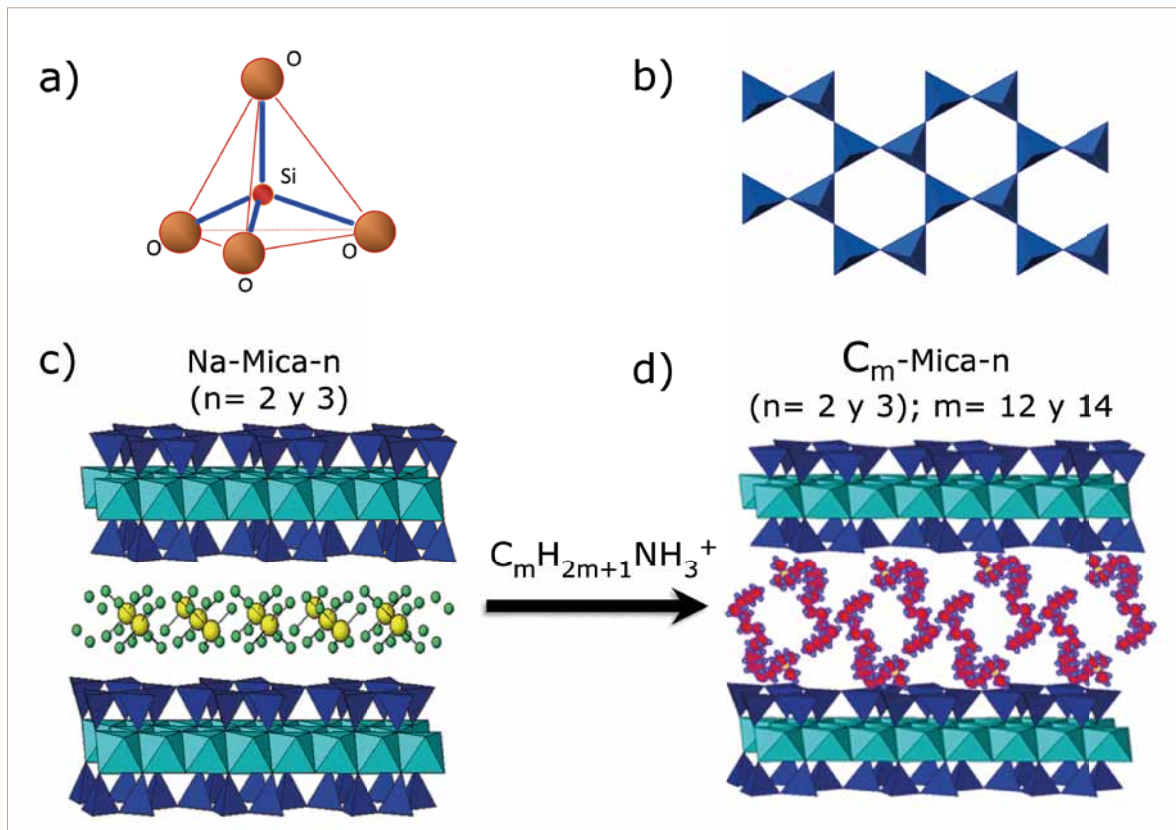
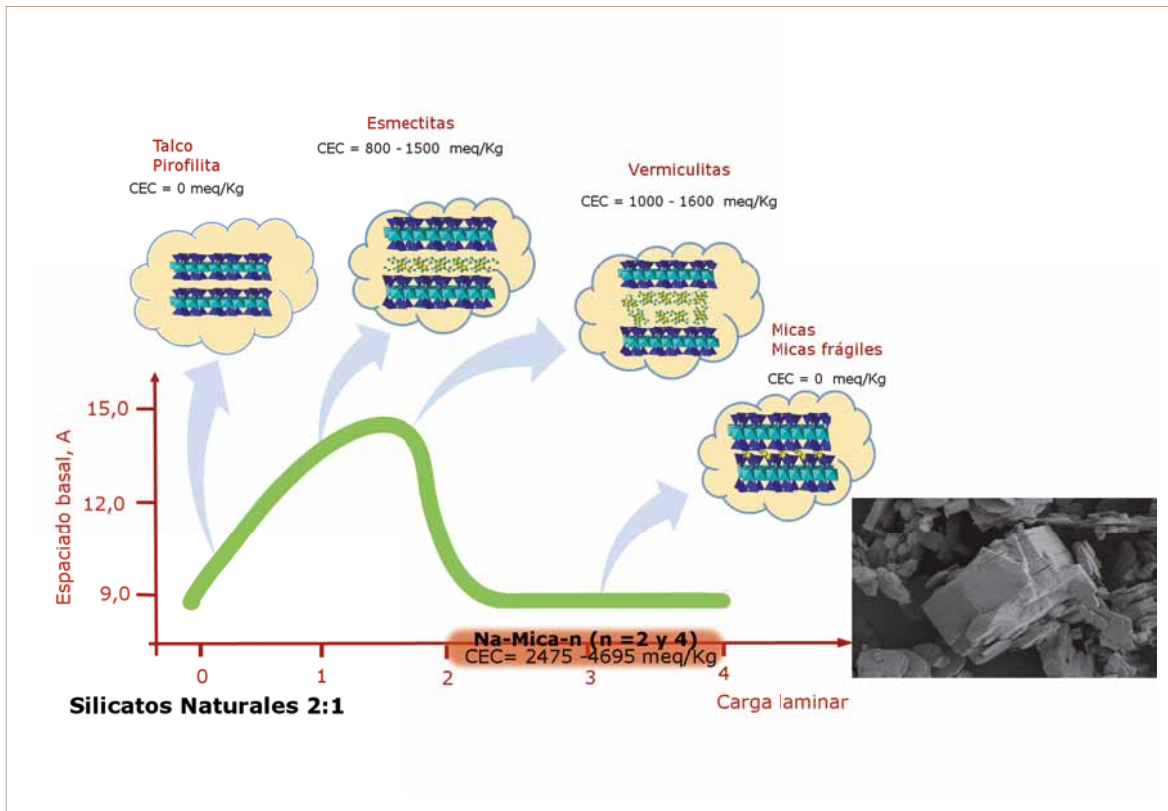


Figura 3. Hinchamiento de las láminas y capacidad de intercambio catiónico de los minerales de la arcilla (filosilicatos 2:1) en función de la carga y comparados con las micas de alta carga sintéticas (microimagen SEM).



Para explicarlo se hace necesario conocer su estructura. La unidad elemental de las arcillas es un tetraedro (Figura 2a) en cuyo centro se encuentra un átomo de silicio y en cada uno de los vértices átomos de oxígeno. Estos tetraedros se unen mediante tres de sus vértices, formando lo que se conoce como capa tetraédrica (Figura 2b). Las arcillas están formadas por dos de estas capas tetraédricas entre las cuales se encuentra una capa octaédrica, formada por cationes como el aluminio o magnesio (Figura 2c). Estas estructuras se repiten dando lugar a láminas. Normalmente en las láminas se producen sustituciones isomórficas, es decir, un átomo como por ejemplo el silicio se sustituye por un átomo de aluminio. El silicio es un catión con una carga iónica de +4 mientras que el aluminio

tiene una carga iónica +3. Esta diferencia de carga provoca que entre las láminas haya una carga laminar neta negativa, que para compensarse necesita la presencia de cationes en el espacio entre láminas. Estos cationes normalmente se les denomina cationes interlaminares, son elementos inorgánicos, usualmente sodio, calcio o potasio, y se encuentran rodeados de moléculas de agua, lo que le confiere a las arcillas sus conocidas propiedades de hinchamiento (Figura 2c).

MODIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para que las arcillas puedan adsorber sustancias nocivas aniónicas se hace necesario modificar su estructura. Para ello, se susti-

tuye los cationes interlaminares inorgánicos por moléculas orgánicas. Este proceso se conoce como órgano-funcionalización (Figura 2d).

Recientemente, Alba y col. (2006) han sintetizado unos minerales de la arcilla denominados Na-Mica-n. n es la carga laminar y representa la cantidad de sustituciones de silicio por aluminio que hay en las láminas, a mayor número de sustituciones, mayor carga laminar. Estos materiales son fluoromicas sódicas que, a diferencia con otras micas naturales, conservan a pesar de su alta carga, la capacidad de expandir e intercambiar cationes (Figura 3). Estos materiales tienen la ventaja de no presentar los inconvenientes inherentes a las arcillas naturales de baja

Para que las arcillas puedan adsorber sustancias nocivas aniónicas es necesario modificar su estructura. Para ello, se sustituyen los cationes interlaminares inorgánicos por moléculas orgánicas

carga laminar (esmeclitas) que limitaban la efectividad de estos materiales en la adsorción de contaminantes. Estas micas sintéticas poseen una capacidad de intercambio catiónico comparable a la de las zeolitas ricas en aluminio y, en particular, la Na-Mica-4 ha generado un alto interés debido a su excepcional capacidad y selectividad de adsorción de cationes tóxicos.

Por ello, se han planteado dos objetivos de investigación complementarios en el presente pro-

yecto de colaboración con Enresa. El primero de ellos consiste en analizar la retención simultánea de cesio y yodo por dichas arcillas sintéticas y tras su organofuncionalización superficial. El segundo de ellos, de carácter más aplicado, es la síntesis del sistema que resulte más eficaz en la adsorción a escala prepiloto.

El empleo de estas micas sintéticas en la adsorción de cesio, Cs^+ , ha dado excelentes resultados en comparación con las arcillas naturales (Galambos y col., 2009;

García-Gutiérrez y col., 2010; Ôztop y Shanwan, 2006; Saxena y col., 2003). En primer lugar, se observa que las micas sintéticas, Na-Mica-n ($n=2$ y 4), adsorben más Cs^+ que las arcillas naturales a pesar de que las condiciones experimentales son desfavorables para las micas (Wu y col., 2009). Cuando se compara el porcentaje de adsorción entre ambas micas, la capacidad de adsorción aumenta al aumentar la carga laminar (Na-Mica-4 > Na-Mica-2).

El estudio de la adsorción de yodo por las micas sintéticas muestra que, en tiempos similares de contacto entre las disoluciones, aunque en condiciones de concentración inicial más desfavorable para las micas, la Na-Mica-4 muestra una adsorción similar a la hidrotalcita, silicato laminar con déficit de carga positiva, y al carbón activo (Kaufhold y col., 2007). Cuando se compara la capacidad de adsorción de las micas sintéticas organofuncionalizadas respecto a la bentonita natural MX80 organofuncionalizada se observa que la capacidad de adsorción de las micas sintéticas con un orden de magnitud superior a éstas, a pesar de que el tiempo de contacto fue 10 veces inferior (Riebe y col., 2005). Al compararlas con la bentonita MX80 funcionalizada con cadenas orgánicas que proporcionan una mayor organofilia, la capacidad de adsorción de las micas sintéticas es ligeramente inferior, pero hay que tener en cuenta dos factores que influyen en este comportamiento:

- Menor concentración inicial, tiempos de contacto diez veces mayor y con mayor % de capacidad de intercambio catiónico (% CEC) satisfecho por el catión orgánico en las MX80 (Bors y col, 1997).

Figura 4: Calentamiento a 900 °C de la mezcla de Na-Mica-4 en pocillo de platino.



- Estas arcillas naturales se han organofuncionalizado con compuestos que les confieren un mayor carácter organofílico que favorece la adsorción.

En resumen, la alta capacidad de adsorción de las arcillas micáceas (Na-Mica-n) junto con la capacidad de elegir el carácter organofílico/organofóbico de sus galerías bidimensionales, son características ideales para su empleo en la gestión de residuos radiactivos tanto catiónicos como aniónicos.

Teniendo en cuenta estas características favorables de los materiales sintéticos, se ha llevado a cabo una adaptación de la síntesis de las arcillas para posteriormente escalarla a planta prepiloto. Para ello se ha evaluado, por una parte, el papel que juega cada paso de la síntesis y, posteriormente, se han hecho ensayos a escala de laboratorio de sustitución de productos comerciales por minerales naturales y/o de menor pureza.

Tras la evaluación de la influencia en la pureza de la mica sintética y el rendimiento de cada una de las etapas de la síntesis, se observa que las condiciones óptimas son un tratamiento a 900°C durante 15 h. Se ha observado que la pureza del agua de lavado no influye en el producto final de la síntesis y que el rendimiento aumenta a medida que se favorecen los defectos estructurales en los materiales de partida.

MICAS DE MAYOR PUREZA

Paralelamente, se han llevado a cabo ensayos de síntesis para obtener micas de la mayor pureza posible, pero utilizando materiales que abaraten el coste de la

Se han llevado a cabo ensayos de síntesis para obtener micas de la mayor pureza posible, pero utilizando materiales que abaraten el coste de la fabricación a gran escala. Para ello, se ha probado el uso de materiales de partidas naturales

fabricación a gran escala. Para ello, se ha probado el uso de materiales de partidas naturales: caolinitas, talcos y bentonita FEBEX y crisoles de carburo de silicio, SiC. La sustitución del MgF₂ comercial puro por un producto de más baja pureza y de un coste muy inferior permite, tras un reajuste en las cantidades de mezcla, la síntesis de Na-Mica-4 de una pureza excelente con una contaminación mínima. El uso de dos tipos de caolinitas, KGa-1b y KGa-2, como fuente de Si y Al permite la síntesis de Na-Mica-4 pura. Al usar talco como fuente de Si, Al y Mg se consigue fluoromica, Na-Mica-n, con una carga $2 < n < 4$. Finalmente con el empleo de bentonita FEBEX como fuente de Si, Al y Na y el MgF₂ de baja pureza como fuente de Mg, se obtiene Na-Mica-4 con una pequeña impureza.

Estos resultados son muy prometedores, ya que mediante la utilización de reactivos comunes y de bajo coste, se consigue obtener un producto final muy puro y que, tal y como se ha visto en las investigaciones realizadas, tiene una gran capacidad de adsorber cesio y yodo.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a escala de laboratorio, en colaboración con un grupo de investigación 'Ingeniería de Residuos' (TEP-142) se ha

diseñado y construido un horno de gran capacidad recubierto de SiC y capacidad de calentar en agitación continua para ensayar la extrapolación de algunas de estas formulaciones a mayor escala.

REFERENCIAS

- Alba, M. D., Castro, M. A., Naranjo, M., Pavón, E., *Chem. Mater*, 2006, 18, 2867
- Bors, J., Gorny, A. Dultz, S., *Radiochim. Acta*, 1997, 78, 117.
- Galambos, M., Kufcaková, J., Rajec, P., *Rad. Nucl. Chem.*, 2009, 281, 485.
- García-Gutiérrez, M., Missana, T., Mingarro, M., 2010. *Ensayos de sorción de 137Cs por la muestra "rojo carbonero" para su empleo en la construcción de una barrera reactiva permeable. CRI-9 (Huelva)*; CIE-MAT/DMA/2G107/03/10: Madrid.
- Kaufhold, S., Pohlmann-Lortz, M., Dohrmann, R., Nüesch, R., *Appl. Clay Sci.* 2007, 35, 39.
- Öztop, B., Shanwan, T., *J. Coll. Int. Sci.*, 2006, 295, 303.
- Riebe, B., Dultz, St., Bunnenberg, C., *Appl. Clay Sci.*, 2005, 28, 9.
- Saxena, A., Tomar, R., Murali, M.S., Mathur, J.N., *J. Rad. Nucl. Chem.*, 2003, 258, 65.
- Velde, B. 1992. *Introduction to clay minerals*. Chapman - Hall, London. p. 198
- Wu, J., Li, B., Liao, J., Feng, Y., Zhang, D., Zhao, J., Wen, W., Yang, Y., Liu, N., *J. Env. Rad.*, 2009, 100, 914. ■



Vista aérea de la central nuclear Embalse.

Se generan diferentes tipos de residuos radiactivos que son gestionados de forma acorde con las normas y prácticas internacionales

LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS EN ARGENTINA

En América latina, solo tres países disponen de centrales nucleares: Argentina, Brasil y México. Argentina, país en el que se centra este artículo, dispone de tres centrales de producción nucleoelectrónica –Atucha I, Atucha II y Embalse– además de otras instalaciones radiactivas y nucleares. La Comisión de la Energía Atómica (CNEA) es el organismo público responsable de la gestión de los residuos radiactivos y de elaborar el Plan Estratégico para la Gestión de los Residuos Radiactivos (PEGRR), bajo la supervisión de la Autoridad Reguladora Nuclear (ARN). Argentina trabaja actualmente en la definición técnica de sus futuras instalaciones de almacenamiento, una tarea en la que Enresa colabora como organismo asesor.

Texto: **EMILIO GARCÍA NERI. DPTO. RELACIONES INTERNACIONALES, ENRESA**

Fotos: **CNEA**

La energía nuclear inició su desarrollo en Argentina en el año 1950, cuando se instituyó la Comisión Nacional de la Energía Atómica (CNEA), que inicialmente desarrolló actividades básicas de investigación. En los años siguientes, amplió sus líneas de actuación hacia el desarrollo de tecnología nuclear, la operación de instalaciones nucleares en la producción de radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales y el desarrollo de actividades relacionadas con el ciclo del combustible, incluyendo la minería y concentrado de uranio, la fabricación de combustible nuclear para reactores de investigación y reactores de potencia, la operación de reactores para la producción de energía nuclear y la producción de agua pesada. Así mismo, en aquella época, también se desarrollaron programas de reprocesado a escala de demostración.

Como resultado de estas y otras actividades desarrolladas en el campo nuclear por entidades públicas y privadas, Argentina produce diferentes tipos de residuos radiactivos que son gestionados dentro de un régimen legal y regulatorio acorde con las normas y prácticas internacionales.

MARCO INSTITUCIONAL Y REGULADOR

El corpus legal que regula la gestión de los residuos radiactivos en Argentina cuenta como elementos fundamentales con la propia Constitución, en cuyo artículo 41 se establece la prohibición de entrada de residuos radiactivos al país.

La Ley Nacional de la Actividad Nuclear, Ley N° 24.804/1997, es-

tablece que será el Estado quien fijará la política en materia nuclear y ejercerá las funciones de investigación y desarrollo, regulación y fiscalización, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y de la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Esta norma asigna a la CNEA la titularidad y propiedad del combustible gastado y la responsabilidad para la gestión de los residuos radiactivos. Así mismo, establece que será este organismo quien determine la estrategia y modo para el desmantelamiento de las centrales nucleares y otras instalaciones nucleares.

Además, esta ley establece la creación de la Autoridad Reguladora Nuclear (ARN), que tiene la misión de regular y supervisar las actividades nucleares en los aspectos de protección radiológicas, seguridad nuclear, seguridad física y salvaguardias. Así mismo, autoriza a la ARN a supervisar el uso de material nuclear, el otorgamiento de permisos y autorizaciones a personal e instalaciones y la verificación del sistema de salvaguardias.

La Ley de Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos, Ley 25.018/1998, establece los instrumentos básicos para la gestión adecuada de los residuos radiactivos y el papel de la CNEA, a la que se asigna la responsabilidad en la ejecución de las actividades relacionadas con la gestión de los residuos radiactivos de elaborar el Programa Nacional para la Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR). Además, crea el Fondo para la Gestión y Disposición Final de los Residuos Radiactivos e instruye a la CNEA para que elabore un Plan Estratégico de Gestión de Residuos Radiactivos e informe anualmente al Congreso sobre la marcha del mismo.

Por otra parte, en la Ley 25.279/2000 se ratifica la Convención Conjunta para la Seguridad de la gestión del Combustible Gastado y la Seguridad de la gestión de los Residuos Radiactivos, así como otras disposiciones y normas relacionadas con diferentes aspectos de la actividad nuclear de acuerdo con tratados, convenciones y acuerdos internacionales.



Planta de compactado y cementado de residuos en el Area de Gestión de Ezeiza.

A este marco jurídico emanado del Gobierno Federal, hay que añadir las legislaciones provinciales y municipales que aplican a la gestión de residuos radiactivos en el país.

PLAN NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y LOS RESIDUOS RADIATIVOS

La gestión de los residuos radiactivos generados en Argentina está a cargo de la CNEA desde su creación en 1950 y, desde 1998, es el organismo responsable de la elaboración y desarrollo del Plan Estratégico para la Gestión de los Residuos Radiactivos (PEGRR) en el que se incluye el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), sujeto a la aprobación del Congreso Nacional.

El PEGRR establece los mecanismos para la gestión segura de todas las tipologías de residuos radiactivos, desde los de operación producidos por todo tipo de actividades, hasta los resultantes de la descontaminación y desmantelamiento de esas instalaciones. Así mismo, propone los planes de investigación y desarrollo asociados a las tecnologías seleccionadas para cada vía de gestión, las necesidades de capacitación y formación de personal, la adecuación y disponibilidad de financiación para el desarrollo del Plan y las actividades para la participación e información a la sociedad.

El Plan identifica las vías de gestión relacionadas con el estado del arte de la tecnología que permitirán que los residuos radiactivos y el combustible gastado producido en Argentina sean gestionados eficientemente.

En la última revisión, en 2009, se consideraba la construcción y puesta en funcionamiento de una cuarta unidad de la central nuclear Embalse 2, la extensión de vida de la central nuclear de Embalse, y el inicio de operaciones del prototipo del reactor de investigación CAREM, unos proyectos que fueron reconocidos de interés nacional por la ley 26,566/2009.

Si bien el combustible gastado tiene la consideración de un potencial activo energético por su contenido de material fisible, la decisión sobre su posible reprocesado ha sido pospuesta hasta 2030.

Las actividades del PEGRR que puedan implicar riesgo radiológico están reguladas por la ARN. Las normas y regulaciones establecidas por la ARN están basadas en los criterios internacionalmente aceptados de seguridad nuclear y radiológica.

Por otro lado, el PEGRR es consistente con la política medioambiental del país que, en el caso de la gestión de residuos radiactivos, tiene en consideración las capacidades normativas del Estado, las provincias y la ciudad

autónoma de Buenos Aires. La normativa establece que será el CNEA el responsable de coordinar con ellas la aplicación del sistema de gestión a los residuos radiactivos que generan y de establecer mecanismos de cooperación y asesoramiento con las organizaciones concernidas.

En relación a los emplazamientos donde se localizarán las instalaciones de almacenamiento definitivo, la Ley Nacional de la actividad nuclear asigna a la CNEA la responsabilidad de buscar y proponer los emplazamientos candidatos, y que requerirán de la aprobación tanto de la ARN, desde un punto de vista de seguridad nuclear y protección radiológica, como del Gobierno Provincial local.

GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

En febrero de 2003, en cumplimiento de la Ley N° 25.018 de Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos, se creó en el ámbito de la CNEA el Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), que establece las estrategias de la



Sala de control del Reactor de investigación RA 3 del Centro atómico Ezeiza.

gestión de los residuos radiactivos provenientes de las actividades nucleares nacionales, sean éstas de carácter estatal o privado.

En línea con los objetivos enunciados, el PNGRR incluye:

- La cuantificación e identificación de los inventarios de residuos acumulados y la estimación de los previstos
- La adopción de las soluciones tecnológicas apropiadas para la gestión segura de dichos residuos
- La definición de responsabilidades y las interrelaciones entre las partes concernidas desde la producción de los residuos hasta el estadio último en su gestión
- La definición de las instalaciones necesarias para su gestión final
- La comunicación de sus actividades al público y la elaboración de la información que se requiera
- La estimación de los costes asociados a estas actividades, la determinación de las fuentes de financiación y los mecanismos de financiación

El PNGRR recoge y determina los métodos de tratamiento y los sistemas de almacenamiento definitivo para cada tipo de residuos. Cada tres años se realiza una revisión de este Plan en cumplimiento del mandato legal. Mediante estas revisiones se ofrece la oportunidad de incorporar las modificaciones derivadas de la optimización de los aspectos tecnológicos derivados de la experiencia operacional o por el desarrollo de tecnologías innovadoras y eventuales cambios en las líneas estratégicas relacionadas con el tratamiento del combustible gastado.

ORIGEN, CLASIFICACIÓN, E INSTALACIONES

Argentina genera, principalmente, sus residuos radiactivos en la operación de los tres reactores comerciales de potencia que tiene el país. La central nuclear de Atucha, que cuenta con un reactor de agua a presión con agua pesada de 340 MWe; la central nuclear de Atucha II, que tiene un reactor de agua a presión con agua pesada de 692 MWe; y la central nuclear Embalse, con un reactor tipo CANDU de 600 MWe.

Además, se generan residuos radiactivos en la operación y desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas vinculadas con actividades de producción de radioisótopos, investigación, medicina e industria localizados en todo el país.

Está previsto que en los próximos años se incremente la generación de residuos por la puesta en marcha de la futura segunda unidad en Embalse, las nuevas instalaciones de diseño avanzado, como el reactor modular CAREM 25 de 25 MWe, y por el paulatino fin de la vida útil de las instalaciones más antiguas, si bien se prevé que las tres centrales nucleares, actualmente en operación, extenderán su operación más allá de la próxima década.

Argentina utiliza la clasificación de residuos radiactivos definida por el OIEA, diferenciando:

- Residuos exentos, que cumplen los criterios de desclasificación, exención o exclusión del control regulatorio al objeto de protección radiológica.
- Residuos de vida muy corta, que pueden ser almacenados

por plazos limitados para su decaimiento natural.

- Residuos de muy baja actividad, que no llegan a cumplir los criterios de los residuos exentos, pero no requieren de un alto grado de aislamiento y confinamiento y, por lo tanto, pueden ser almacenados en instalaciones de almacenamiento en superficie bajo un control regulador limitado.
- Residuos de baja actividad, que están por encima de los niveles de desclasificación pero contienen cantidades limitadas de radioisótopos de vida larga. Estos residuos exigen aislamiento y confinamiento por periodos de varios cientos de años y se almacenan en



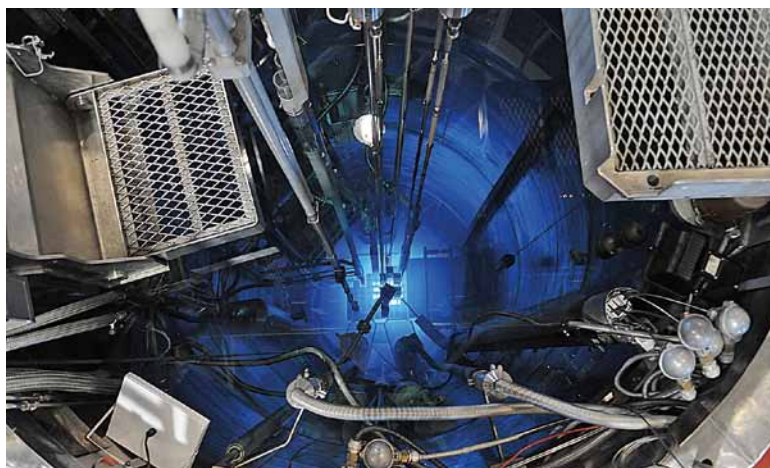
Manejo de combustible gastado en la instalación de Almacenamiento de Combustibles Irradiados de Reactores de Investigación (FACIRI).

instalaciones en superficie con barreras de ingeniería.

- Residuos de media actividad, son aquellos que por su contenido, particularmente de radionucleidos de vida larga, requieren de un mayor grado de confinamiento y aislamiento que la ofrecida por una instalación de almacenamiento en superficie. Por esta razón, este tipo de residuos precisa ser almacenado en instalaciones subterráneas.
- Residuos de alta actividad, que tienen niveles de concentración de actividad suficientemente altos como para generar calor en el proceso de decaimiento o residuos con grandes cantidades de radionucleidos de vida larga.

Esta clasificación se utiliza como referencia para la elaboración del inventario nacional y sus previsiones. Sobre esta base se determinará qué residuos y en qué condiciones serán aceptados para su gestión en las instalaciones de destino.

Argentina actualmente no cuenta con instalaciones para el almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos en operación.



Centro Atómico Bariloche. Vista del núcleo del reactor RA-6. Se observa la luminosidad azul característica del efecto Cherenkov.

Cada una de las centrales nucleares en operación tiene sus propias instalaciones para el almacenamiento temporal de los residuos de operación y estructurales que serán tratados y acondicionados en el futuro.

El CNEA posee tres centros atómicos: el Centro Atómico Constituyentes (CAC), donde está emplazado el reactor de investigación RA-1, el acelerador de iones pesados Tandem, la fábrica de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación (ECRI) y diversos laboratorios de investigación, desarrollo y producción. En el Centro Atómico Bariloche (CAB) se encuentra el reactor de investigación RA-6, dedicado a la formación. Y, finalmente, el Centro Atómico Ezeiza (CAE) donde funciona el reactor de investigación RA-3 –dedicado a la producción de radioisótopos para uso médico e industrial– y sus instalaciones asociadas. También está emplazada allí una planta de irradiación Semindustrial (PISI) y las instalaciones asociadas al Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, entre otros.

En Ezeiza, la CNEA cuenta con diversas instalaciones de almace-

namiento temporal para residuos de baja y media actividad que prestan servicios tanto a la propia CNEA como a los productores institucionales vinculados a instalaciones nucleares y radiactivas relacionados con la medicina, la investigación y la industria.

Este centro contó, hasta 2001, con una instalación de tipo trinchera para almacenamiento definitivo de residuos de baja y de media actividad. El Plan Estratégico de Gestión de Residuos Radiactivos contempla el diseño y construcción de una instalación para el almacenamiento definitivo similar a El Cabril, en cuyo diseño Enresa está colaborando con el CNEA.

GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO: POLÍTICA Y PRÁCTICAS

En Argentina, el Estado ejerce la titularidad y propiedad del material fisible contenido en el combustible gastado, independientemente de su origen: centrales nucleares comerciales o reactores experimentales o de investigación. A este respecto, la decisión sobre la posible reutilización de este material contenido en el combustible gastado no se adoptará antes de 2030. Se prevé que, en esa fecha, ya esté en operación un laboratorio subterráneo de investigación que facilite el diseño y construcción de una instalación para el almacenamiento geológico profundo de estos materiales, que debería estar en operación en 2060

Argentina contempla un primer estadio de almacenamiento en húmedo por el tiempo necesario para el enfriamiento y decaimiento que permita su posterior

almacenamiento temporal en seco.

En el caso de la central nuclear Embalse (tipo CANDU), el combustible gastado se almacena en la piscina durante seis años cuando se transfiere a los silos de almacenamiento de combustible gastado (ASECQ).

En la central nuclear de Atucha I, el combustible se almacena en la piscina de la propia planta. Adicionalmente, la capacidad de almacenamiento se ha ampliado mediante la construcción de una serie de silos verticales adyacentes a la piscina.

Por su parte, en Atucha II, el combustible gastado producido durante su operación también seguirá la misma práctica.

La estrategia argentina considera dos alternativas para el combustible gastado generado por la operación de reactores de investigación o para la producción de radioisótopos:

- Repatriación al país origen del combustible, si es posible
- Almacenamiento temporal en piscina para su ulterior tratamiento y acondicionamiento para almacenamiento definitivo.

En la actualidad, todo el combustible gastado de los reactores de investigación que contenía Uranio Altamente Enriquecido (HEU), ya se ha retornado a EE.UU., su país de origen. El resto del combustible gastado de estos reactores, conteniendo Uranio de Bajo Enriquecimiento (LEU), se almacena en las piscinas de cada instalación. Tras su enfriamiento y decaimiento, el CG se transfería al

Depósito Central de Material Fisionable Especial Irradiado (DCMFEI) localizado en el Centro Atómico Ezeiza y que finalizó su vida operativa. Este depósito fue reemplazado por la nueva instalación Facilidad de Almacenamiento de Combustibles Irrradiados de Reactores de Investigación (FACIRI), de tipo piscina ubicada en el mismo centro, a la espera de la decisión que determinará su gestión final.

DESMANTELAMIENTO Y RESTAURACIÓN MEDIOAMBIENTAL

El desmantelamiento de las centrales nucleares, reactores de investigación y todas las instalaciones radiactivas está recogido en la Ley Nacional de la Actividad Nuclear, que establece que la CNEA es responsable de las actividades de clausura de las instalaciones nucleares que lleguen al final de su vida. Por su parte, el ARN es el organismo encargado de otorgar las licencias para el desmantelamiento y clausura de las instalaciones.

Con respecto a los reactores de investigación, la CNEA es responsable de su funcionamiento y de proporcionar información para ejecutar el plan de desmantelamiento, considerando datos históricos de operación y flujo histórico de residuos. En lo que respecta a las centrales nucleares, la compañía Nucleoeléctrica Argentina SA (NA-SA), responsable de la producción y comercialización de energía eléctrica generada por las centrales nucleares Atucha I, Atucha II, y Embalse, debe proporcionar la información y los fondos necesarios para el desmantelamiento.

La minería del uranio y el tratamiento del mineral fueron actividades importantes para el desarrollo del programa y tecnología nuclear argentino. Hoy existen dos explotaciones en operación en Córdoba y San Rafael junto con otros siete emplazamientos mineros, cuya clausura y restauración medioambiental está en diferentes fases (Malargüe, Huemul, Los Gigantes, Pichiñan, Tonco, La Estela y Los Colorados).

RETOS DEL PROGRAMA

Entre los retos de futuro que se han marcado en Argentina, está completar los proyectos en curso, para garantizar la disponibilidad de capacidad de almacenamiento para el combustible gastado de las centrales nucleares Atucha I y II.

Además, las autoridades trabajan en avanzar efectivamente en los procesos de concertación pública, para estar en disposición de proponer emplazamientos candidatos para las instalaciones de almacenamiento.

Por otra parte, para la restauración de antiguos emplazamientos mineros se está trabajando en su caracterización y en la definición de medias técnicas para proyectos que, más allá de sus dificultades técnicas, tendrán que considerar aspectos sociales específicos en cada caso.

Finalmente, el Gobierno argentino trabaja en el establecimiento de mecanismos de financiación para actividades a largo plazo en la gestión de los residuos radiactivos, de manera que se garanticen las inversiones de futuro necesarias. ■

JOSÉ LUIS DOMINGO ROIG, FUNDADOR Y DIRECTOR DEL LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA Y SALUD AMBIENTAL

“ENTRE EL 90 Y 95% DE LOS TÓXICOS LLEGAN A TRAVÉS DE LOS ALIMENTOS”

Este catedrático de Toxicología en la Universidad Rovira i Virgili, José Luis Domingo Roig, está considerado como una de las mayores autoridades mundiales en este campo y sus investigaciones sobre contaminación alimentaria son citadas con frecuencia por los miembros de la comunidad científica internacional. Desde los laboratorios que gestiona, trabaja junto con su equipo de especialistas en el estudio de los contaminantes medioambientales y alimentarios. El objetivo, poder transferir conocimientos a instituciones y empresas, para que conozcan cómo pueden afectar determinadas actividades, y dotarles también de tecnología específica para incidir en la mejora de la salud y calidad de vida de la población, así como en la protección del medio natural.

Texto: **GERMÁN HESLES**

Fotos: **UNIVERSIDAD ROVIRA I VIRGILI**



Domingo Roig lleva 40 años en la facultad de Medicina de la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, primero como profesor titular y después como catedrático. Durante estos años, y todo su trabajo de investigación se ha centrado en el campo de la toxicología. De alguna forma, vivir en la provincia de Tarragona, donde se halla el complejo petroquímico más grande del Sur de Europa, y están instaladas un gran número de compañías del sector químico desde los años 60, y además de contar con la única incineradora de España de residuos especiales, tóxicos y peligrosos, pudo influir a la hora de decantar sus pasos hacia ese tipo de investigaciones. Incluso esa concentración industrial en la zona le convenció para que el Laboratorio de Toxicología se terminara convirtiendo en Laboratorio de Toxicología y Salud Medioambiental. Domingo Roig, como químico y doctor en toxicología, sabe que las empresas cumplen la legislación, pero cree que hay que analizar cómo afecta que haya muchas concentradas en un espacio concreto.

La definición de Toxicología ha cambiado con el paso del tiempo y con las investigaciones realizadas. ¿Cuál sería la más acertada?

La ciencia que define los márgenes de seguridad de cualquier sustancia. Existen sustancias prácticamente atóxicas y otras que son extremadamente tóxicas, pero todo depende de la dosis. El mejor ejemplo son los fármacos: hasta

cierto límite son beneficiosos, pero si se sobrepasa son perjudiciales. Las sales de oro se utilizan con muy buenos resultados para la artritis, pero el oro es tóxico.

¿Todo está interrelacionado en toxicología?

No hay nada estanco. La toxicología nació como una disciplina médica de la salud humana. Con el tiempo se ha ido extrapolando a la salud animal y al final, como es lógico, llega al estudio y cuidado del medioambiente. Lo ideal sería que el ser humano no inhalara el óxido de nitrógeno que emiten los automóviles, pero, como esto es imposible, se tendrán por tanto que marcar los límites que el hombre aguanta sin que se manifiesten efectos adversos para su salud.

¿Ha influido el desarrollo industrial en la exposición humana a los tóxicos?

No tiene que ver con la revolución industrial o tecnológica. El hombre primitivo, cuando hacía fuego dentro de una cueva, también estaba generando hidrocarburos, óxidos de carbono que le afectaban. El que bebía agua de un riachuelo que estaba cerca de unas minas de plomo o de mercurio también se estaba intoxicando. El estar en contacto con sustancias que pueden ser peligrosas es coyuntural. Otro asunto son los elevados niveles de contaminantes que genera nuestra actividad. Por ejemplo, se ha apostado por una agricultura intensiva con pesticidas y herbicidas y la toxicología reguladora ha ido estableciendo

Un investigador 'altamente citado'

José Luis Domingo Roig nació en Tortosa, Tarragona, en 1951. Es licenciado en Química y doctor en Toxicología, especialidad de la que fue profesor titular en la Universidad de Barcelona y en la Universidad Rovira i Virgili (URV), de la que es profesor distinguido desde 2006. En 1986, fundó el Laboratorio de Toxicología y Salud Ambiental (LTSM) de la URV, del que también es director y que, en la actualidad, se encuentra radicado en dos sedes: en la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, en Reus, y en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química, en Tarragona. Años después, y a partir de esta experiencia, nació TecnAtox, el Centro de Tecnología Ambiental Alimenticia y Toxicológica, como centro de investigación especializado en la innovación y transferencia de tecnología en el ámbito alimentario, ambiental y toxicológico.

Domingo Roig, autor, o coautor, de más de medio millar de artículos publicados en revistas internacionales, es uno de los científicos más citados en todo el mundo. Recibió el reconocimiento de Thomson Reuters, en 2014 y 2015, como Investigador Altamente Citado en el campo de las Ciencias Agrícolas.

“Hay que huir de comer grasas, no aportan nada a una persona de más de 50 años. Hacerlo es una buena prevención contra enfermedades cardiovasculares y, además, así se limita mucho la exposición a los contaminantes liposolubles que se acumulan en esas grasas”

unos límites de seguridad, pero eso, a su vez, ha generado otras consecuencias. Se está expuesto a una gran cantidad de sustancias que no son tóxicas por debajo de los límites marcados, pero se combinan tantas sustancias en la actualidad que es complicado establecer esos límites.

Entonces ¿cómo se está tratando esta cuestión en Europa por parte de las administraciones?

Habría que estudiar, antes que nada, país por país, con sus correspondientes legislaciones, pero en Europa está todo reglamentado respecto a la alimentación,

los contaminantes ambientales, el envasado o la contaminación microbiológica. Y las administraciones han creado agencias específicas para trabajar en cada uno de esos campos.

¿Entre los conceptos de contaminación y de toxicidad hay alguna relación? Y si efectivamente la hay, ¿cuál es?

Las dioxinas y otros elementos organoclorados son en buena medida favorecedores de cambios en el clima. Una de sus formas de degradación es fotoquímica y a mayor temperatura su degradación se aceleraría. Eso no sería una buena noticia, porque, a su vez, esas mismas dioxinas, cuando han sido emitidas, favorecerían esos cambios climatológicos.



José Luis Domingo Roig, químico y doctor en Toxicología, define a este último campo como la ciencia que determina los márgenes de seguridad de cualquier sustancia. Sustancias que pueden ser prácticamente atóxicas o extremadamente tóxicas, todo dependiendo de la dosis.

¿Cómo es el funcionamiento del Laboratorio de Toxicología y Salud Ambiental? ¿Recibe encargos o lleva a cabo análisis por su cuenta?

Sobre todo se trata de proyectos públicos, aunque, debido a la gran demanda que hay en la actualidad, también llevamos a cabo labores de consultoría. Eso sí, no somos consultores al uso. Hay una cláusula para todo aquel que nos contrate que consiste en permitir que los resultados se hagan públicos en revistas especializadas. Nuestra tarea es aportar datos, lo único que da credibilidad.

¿Las conclusiones a las que se llega con los estudios toxicológicos elaborados son efectivas?

Hay episodios, como el famoso caso de las vacas locas, en los que los alimentos vinculados con ello se apartaron de la dieta humana drásticamente. En cambio, en octubre de 2015, la Organización Mundial de la Salud publicó el informe sobre las carnes rojas y los embutidos que eran considerados cancerígenos... y no creo que se hayan dejado de comer.

¿Qué recomienda para llevar unos hábitos en alimentación lo más beneficiosos posible?

Nuestra recomendación es sencilla y siempre en el mismo sentido: huir de las grasas; no aportan nada nuevo, sobre todo a una persona de más de 50 años. Por una parte, es una buena prevención contra enfermedades cardiovasculares y, por otra, se limita mucho la exposición a los contaminantes liposolubles que se acumulan en esas grasas. También es conveniente comer mucha verdura y mucha fruta. Que sea ecológica

o no, depende del presupuesto alimentario de cada uno, pero, bien lavadas, además de contener vitaminas y aportar fibra nutricional o protectores contra el cáncer, no tienen grasa. Los cereales, legumbres y frutos secos también tienen pocos contaminantes. La leche y sus derivados, desnatados siempre que sea posible. La única duda es el pescado: por un lado tiene grandes ventajas nutricionales, por ejemplo los beneficiosos ácidos grasos omega 3 en el pescado azul. Pero el problema es que estos se encuentran en la parte grasa, la que acumula contaminantes, así que aquí influye en qué mar haya sido pescado. Entre el 90 y 95% de los tóxicos llegan al cuerpo humano a través de los alimentos, luego por la contaminación atmosférica con la inhalación y unos pocos a través de la piel.

¿Los procesos que ocurren en el ser humano pueden, de alguna manera, hacerse resistentes a ciertos tóxicos o, al menos, más tolerantes a ellos?

No lo creo. En el caso de los virus y las bacterias, el organismo sí que genera sus propias defensas contra ellos, pero con los tóxicos no hay defensa que valga. Un ejemplo sencillo sería el de las personas que ingieren una gran cantidad de alcohol. ¿Significa que por consumir más se hacen más resistentes al etanol? Evidentemente, no. Se puede decir que es al revés: una menor cantidad de etanol les afecta incluso más.

¿Todos los tóxicos son acumulativos?

Todos no. Hay algunos que tienen una degradación muy rápida, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos que se degradan

en semanas, e incluso en días. Los metales pesados, por ejemplo, sí necesitan mucho tiempo para eliminarse y se van acumulando. Entre los orgánicos existen los compuestos orgánicos persistentes, como los plaguicidas, las dioxinas o los furanos, que, como su nombre indica, son persistentes en el medio ambiente y en el organismo.

¿Cuáles son los efectos de los tóxicos sobre nuestro organismo?

El cáncer es el principal, pero también hay muchos disruptores endocrinos que alteran la fertilidad del individuo y pueden ocasionar durante el embarazo abortos espontáneos o gestaciones complicadas. También, en los primeros años de la vida de un ser humano, pueden producirse efectos neurológicos. Por otra parte, dependiendo de qué familia sea la sustancia que afecte al individuo, habrá efectos hepatotóxicos, nefrotóxicos...

¿Es difícil encontrar la solución... si es que la tiene?

Creo que antes seremos capaces de curar o cronificar el cáncer que de averiguar las causas que lo han provocado. Lo único que se puede hacer es prevenir. Algunas intoxicaciones se pueden tratar, otras muchas no.

¿Queda todavía mucho por investigar en el campo de la toxicología?

Ahora mismo estamos dando el primer paso para estudiar mezclas de contaminantes que no están investigadas. Conocemos la toxicidad de unos elementos, pero ¿qué ocurre cuando se suman e interactúan entre ellos? ■



En las cuevas volcánicas, como la de Queimada Terceira (Azores), aparecen estalactitas y estalagmitas formadas por minerales de silicatos y óxidos semiamorfos, en cuya génesis han intervenido las bacterias.

Están catalogados 2.550 minerales ‘raros’ que se encuentran en apenas cinco zonas de todo el planeta

LOS MINERALES COMO INDICIO DE EXISTENCIA DE VIDA

Algunos presentan particularidades tan singulares como descomponerse si reciben un rayo de luz o desaparecer si entran en contacto con el agua. Otros sólo se encuentran concentrados en una parte muy concreta de la Tierra. Son los llamados minerales raros, cuya formación se cree que se debe exclusivamente a que existe vida en el planeta, a la presencia de agua. Por tanto, si se hallasen pruebas de que otros cuerpos celestes contienen estos mismos minerales, que tienen tan alta diversidad mineral, podría ser un indicio de que en ellos también hay vida.

Texto: **LAURA PAJUELO**

Sin duda, la biodiversidad de la Tierra hace de ésta un planeta único en el Universo. Y las más de 5.000 clases de minerales existentes en sus cinco continentes forman parte de esta diferenciación. “La gran diversidad terrestre de minerales revela la existencia de vida y muchos de los llamados minerales raros son posibles, precisamente, porque nuestro planeta tiene vida. Por tanto, creemos que una forma de hallar vida en otros puede ser la de buscar e investigar en aquéllos que albergan una alta diversidad mineral”, explica Jesse Ausubel, investigador de la Universidad Rockefeller de Nueva York y que, junto con Robert Hazen, del Instituto Carnegie para la Ciencia de Washington, han logrado categorizar todos los minerales raros de la Tierra fechados hasta la actualidad y que suman un total de 2.550.

Su estudio *Sobre la naturaleza y significancia de la rareza en mineralogía*, publicado por la revista estadounidense *American Mineralogist*, resulta de especial interés, ya que pone de manifiesto la verdadera distinción entre la Tierra y el resto de los planetas que forman el sistema solar. Y el planteamiento que expone lo diferencia, así, de otros enfoques ya conocidos en la búsqueda de vida, como los relacionados con la exploración de moléculas biológicas, el agua o las señales de radio.

Eso sí, conocer esta gran variedad plantea otro reto: la dificultad para encontrarlos en otros planetas, pues se sabe –gracias al estudio de meteoritos– que la proliferación y diversidad en la Tierra es superior respecto a otros

sistemas menos evolucionados. “Tanto los minerales comunes como los raros, que se forman en condiciones especiales de presión, temperatura y espacio composicional, nos van a servir para encontrar análogos en los diferentes planetas”, comenta María Ángeles Bustillo, jefa del departamento de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. A este respecto, Bustillo recuerda lo importantes que han sido las técnicas para la caracterización –tanto química como estructural– de los minerales raros, ya que parte de esta tecnología puede incorporarse a las naves espaciales y desarrollar trabajos en remoto: “Evidentemente, si estas técnicas no se hubieran desarrollado para conocer los minerales de la Tierra, nunca podríamos haber llegado a su identificación en la exploración espacial”.

¿POR QUÉ SON ‘RAROS’?

Uno de los factores importantes relacionados con la formación de minerales es la presencia de agua en nuestro planeta. “El agua es un vehículo capaz de transportar eficazmente todo tipo de elementos químicos, desde la disolución de ciertos minerales hasta la precipitación de otros nuevos”, apunta el investigador Rafael Pablo Lozano, del Instituto Geológico y Minero de España. Además, hay que tener en cuenta sus condiciones físico-químicas o la presencia de elementos poco abundantes en la tabla periódica. Su poca abundancia en la Tierra es otro de los criterios con los que se suele trabajar, basándose para ello en el número de lugares en los que se encuentra el mineral en cuestión. Robert Hazen lo ex-

plica de la siguiente manera: “Los minerales raros se encuentran en cinco o menos localizaciones de todo el mundo. De ellos, alrededor de 12 solo yacen en un lugar, 800 en dos, 600 en tres y así sucesivamente”.

PRIMEROS REGISTROS

Documentos como el de Hazen y Ausubel facilitan, además, una respuesta mucho más precisa sobre el significado de esta riqueza mineral, no solo para la propia Tierra, sino también para su historia y origen. “Todo en nuestro planeta –los océanos, el aire, el suelo o la vida misma– proviene inicialmente de rocas y minerales. La vida los necesitó para comenzar y seguirá necesitando para sobrevivir”, asegura Hazen.

Los descubrimientos en este terreno han revelado la presencia de minerales relacionados con la vida de una manera muy estrecha, pues en su génesis participaron organismos vivos y sin ellos no serían posibles; es el caso del hierro, el manganeso o los carbonatos, entre otros. En concreto, los primeros registros bien preservados relacionados con el origen de la vida en la Tierra se localizaron en rocas de sílice en Australia, como recuerda Bustillo: “Dentro del cuarzo que constituye estas rocas, se han observado microesferas, filamentos o varillas con pocas micras de tamaño y que son atribuibles a bacterias. La edad estimada es de 3.200 a 3.500 millones de años”.

De igual forma, la Tierra ha experimentado un proceso de transformación hasta convertirse en un planeta estructurado en corteza, manto y núcleo, y las primeras

Los primeros microorganismos facilitaron la precipitación mineral, lo que demuestra que la vida interactúa con elementos químicos para formar minerales

formas de vida que lo poblaron fueron microorganismos capaces de facilitar la precipitación mineral con su actividad vital. “El registro geológico de esta precipitación se conoce como estromatolitos –rocas laminadas formadas por distintos tipos de minerales, como la calcita u óxidos de hierro– lo que demuestra que la vida también interactúa con los elementos químicos del planeta para formar diferentes minerales”, apunta Rafael Pablo Lozano, investigador del Instituto Geológico y Minero de España.

HERRAMIENTAS

Para llevar a cabo su investigación científica, Hazen y Ausubel han invertido seis meses de trabajo y han contando además con la participación de un grupo de 40 investigadores de diversos

países, más la colaboración de expertos en mineralogía así como de coleccionistas de minerales aficionados. ¿Cómo surge la idea de llevar a cabo el proyecto? Ausubel lo explica así: “Describí a mi compañero los criterios de rareza empleados en la diversidad biológica y cómo la ‘biósfera rara’ fue explorada en el Censo de Vida Marina entre los años 2000 y 2010. Robert apreció que los mineralogistas no habían desarrollado los conceptos referidos a la rareza tanto como los biológicos. Entonces, me propuso que podíamos aplicar y modificar esos conceptos utilizados para determinar la rareza de los animales y hacer lo mismo con los minerales”.

En cuanto a los métodos de trabajo y herramientas para reunir todos esos minerales raros y clasificarlos, recurrieron a métodos estadísticos y a la base de pro-

iedades minerales de la Asociación Mineralógica Internacional, creada y sostenida por el Proyecto RRUFF, una iniciativa que persigue crear una base de datos integrada de espectros Raman, difracción de rayos X e información química para minerales.

A este respecto, la información disponible en RRUFF ayuda a establecer un conjunto completo de datos espectrales de alta calidad de minerales perfectamente caracterizados, así como a desarrollar la tecnología necesaria para compartir esa información entre los investigadores. A partir de aquí, los datos recabados proporcionan un estándar a mineralogistas, geocientíficos, gemólogos y público en general para la identificación de los minerales, tanto en la Tierra como para la exploración planetaria. “Tras acordar los criterios relativos a la rareza, depuramos la base de datos”, puntualiza Ausubel.

CATEGORÍAS ESTABLECIDAS

Teniendo en cuenta que los minerales se definen como materiales cristalinos naturales y que cada especie posee una determinada estructura y composición química, el artículo ‘Sobre la naturaleza y significancia de la rareza en mineralogía’ también ahonda en los criterios aplicados para la ordenación de esos 2.550 minerales raros. Para ello, sus autores establecieron cuatro grandes categorías.

La primera hace referencia a las condiciones únicas que crearon el mineral y, en este sentido, Ausubel pone el ejemplo de un chef capaz de elaborar con ingredientes comunes una receta inusual y extraordinaria. La segunda está



© Museo Nacional de Ciencias Naturales

Balsa de agua en las minas abandonadas de Mazarrón, donde se generan minerales poco frecuentes y efímeros formados en medios extremos de pH por su acidez.

relacionada con las limitaciones planetarias, como la incorporación de elementos extraños; los minerales raros pertenecientes a este grupo lo son porque, necesariamente, sus componentes casi nunca se encuentran concentrados en la corteza terrestre. La tercera es la de los minerales efímeros: aquellos que se formaron bajo condiciones inusuales (por ejemplo, ambientes extremadamente fríos o secos), lo que explica que se fundan, evaporen o deshidraten cuando son expuestos a diferentes condiciones sobre la superficie. Finalmente, se encontrarían aquellos provenientes de regiones sub-mostradas. “Es el caso de los ambientes extremos, como los flancos de los volcanes en erupción, las regiones glaciales y remotas de la Antártida o los ríos más profundos de los océanos”, apunta Ausubel.

DE PEQUEÑAS A GRANDES CANTIDADES

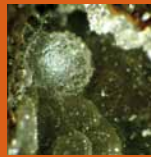
La mayoría de los minerales raros no tienen ningún valor económico y su utilidad, desde el punto de vista de la explotación industrial, es más bien escasa. Sin embargo, la situación ha cambiado en los últimos 50 años. “Los que incluyen en su composición las denominadas tierras raras – metales de transición en la tabla periódica – antes poco utilizados, hoy en día son parte esencial del progreso tecnológico del planeta”, dice Bustillo. Un ejemplo es el coltán, considerado una rareza mineralógica hasta que empezó a utilizarse de manera industrial. El coltán es un mineral que se forma a partir de la columbita y la tantalita, resultando fundamental en el desarrollo de ordenadores, móviles, implantes en medicina, industria aeroespacial... ■

10 minerales raros



© Volker Betz

1. Amicita: Formado por elementos comunes, lo que le hace especial es que su formación está ligada a condiciones de presión, temperatura y composición muy precisas.



© Robert O. Meyer

2. Boggsita: Sus poros, del tamaño de las moléculas, poseen diferentes tamaños. Para la química verde tiene un gran potencial, aunque apenas se han encontrado grandes cantidades de este mineral.



© BarahonaMicromunt

3. Cobaltarthurita: Es muy poco abundante, tanto que toda la cantidad existente se podría introducir en un dedal.



© Thomas Wizke

4. Edoylerita: Mineral perteneciente a la clase de los sulfatos y que al recibir luz se descompone.



© Brent Thorne

5. Fingerita: Tiene la particularidad de que desaparece con la lluvia. La fingerita forma parte del grupo de los vanadatos cúpricos (su formación revela cobre y vanadio) y solo se ha encontrado en el volcán Izalco (El Salvador).



© e-rocks

6. Hatrurita: Oxígeno, silicio y calcio son los componentes necesarios para su formación, que se logra a partir de temperaturas superiores a los 1.250 grados.



© R. Kristiansen

7. Hazenita: Solo se encuentra en el Lago Mono (California) y su formación resulta muy particular: se logra cuando el lago alcanza niveles de fósforo muy altos y los microbios que hay en el agua lo expulsan de sus células para poder sobrevivir.



© Paulo Bioagioni

8. Ichnusaite: Descubierto en la isla de Cerdeña en 2013, resulta de la unión del molibdeno, elemento químico, y el torio, metal radioactivo. Es un mineral químicamente puro, creado bajo la superficie terrestre y que no se ha localizado en ningún otro lugar.



© John Veevaert

9. Reidita: Yace sólo en cuatro lugares de todo el mundo y su formación se produce a altas presiones. El localizado en un cráter de Wisconsin (Estados Unidos) podría alojar luz sobre los efectos de los meteoritos en la naturaleza.



© Museo Geominero

10. Zaccagnaita-3R: Investigadores de la Universidad Complutense de Madrid y del Instituto Geológico y Minero de España lo descubrieron en la Cueva de El Soplao (Cantabria). “Hasta el momento, sólo se ha encontrado en los estromatolitos de manganeso y hierro de esta cueva, que se generaron gracias a la actividad de bacterias que oxidan el manganeso del agua”, apunta Rafael Pablo Lozano, investigador de este instituto. Y añade: “Aunque la formación del mineral no implica actividad orgánica alguna, sin la precipitación bacteriana no habría posibilidad alguna de encontrarlo”.



El microscopio electrónico JEOL JEM GRAND ARM 300 cF en las instalaciones del Centro Nacional de Microscopía Electrónica, en Madrid.

El microscopio electrónico *JEOL JEM GRAND ARM 300 cF* mide la distancia entre átomos

EL OJO ELECTRÓNICO QUE TODO LO VE

¿Imaginas poder ver un garbanzo que estuviera ubicado en la Luna y, además, determinar de qué está compuesto? Pues ésta es la resolución que puede llegar a alcanzar el microscopio electrónico *JEOL JEM GRAND ARM 300 cF*, con el que cuenta el Centro Nacional de Microscopía Electrónica (CNME) y que es uno de los tres que funcionan en el mundo. Su puesta en marcha ha abierto a los investigadores un sinfín de posibilidades para los estudios de materiales. Es capaz de 'ver', con una resolución de 0,5 Angström (Å) —la diez mil millonésima parte de un metro—, lo que ocultan sus átomos.

Texto: **ROSA M. TRISTÁN**

Con esa facultad de hacer visible lo que no lo era hasta hace poco, no sólo es posible mejorar cualquiera de los materiales sólidos existentes, sino también crear otros que incluso permitan levitar a objetos tan grandes como un tren, mejorar las baterías de los teléfonos móviles o descubrir con qué arcilla exactamente pintó Diego de Velázquez sus cuadros, de forma que puedan restaurarse con el mismo tinte que utilizó su autor hace más de cuatro siglos.

El microscopio *JEOL JEM GRAND ARM 300 cF* es de tecnología japonesa, pero con una configuración diseñada en España, y, aunque ya está disponible para su uso científico, todavía hoy los técnicos del país nipón visitan el Centro Nacional de Microscopía Electrónica, en el campus de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), para realizar unos últimos ajustes que mejoren sus capacidades.

Este instrumento, que mide las distancias entre los átomos, es tan sensible a cualquier mínimo cambio ambiental que ha sido ubicado dentro de una especie de 'jaula' para impedir incluso que le afecten las inapreciables –para el ser humano– vibraciones que produce el paso de trenes del metro de Madrid, una de cuyas líneas pasa cerca del centro. También se mantiene su temperatura estable gracias a unos equipos acondicionadores especiales en sus paredes y en la puerta. Justo antes de entrar en la sala, hay que pisar unas alfombrillas que atrapan las motas de polvo de

las suelas de los zapatos. Nada puede interferir en la tarea de una herramienta en la que se ha invertido nueve millones de euros y que está considerada como una de las 29 Instalaciones Científico-Tecnológicas Singulares (ICTS) de España.

AVANCE EN LA MICROSCOPIA

El desarrollo de la tecnología asociada a *JEOL JEM GRAND ARM 300 cF*, a principios de este siglo, supuso un salto fundamental en la microscopía electrónica mundial, que se encontraba estancada desde hacía más de una década. Aún hoy, tan solo hay otra herramienta como ésta operativa en el mundo, en concreto, en Dresde (Alemania), y otras dos se encuentran en instalaciones de Tokio (Japón) y Berkeley (Estados Unidos). Una empresa alemana, Thermo, también ha diseñado equipos similares, si bien no alcanzan la precisión de un *JEOL*.

“Si Ramón y Cajal levantara la cabeza, no creería lo que somos capaces de ver con este microscopio, pese a que en el fondo el mecanismo se basa en el mismo principio que el suyo: un haz de electrones que pasa por un objetivo”, explica el químico José González Calbet, director de esta instalación en la UCM.

Si este reconocido investigador español veía neuronas, con este equipo se es capaz de observar átomos y también la distancia que les separa. “Es el equivalente a que una persona se pusiera a 10 kilómetros de nosotros con una

cerilla en cada mano en mitad del desierto y distinguiéramos las dos pequeñas llamas. Antes de poder usar este *JEOL* solo se vería una luz. Una resolución que no se ha podido alcanzar hasta que no se han corregido las distorsiones de las lentes electromagnéticas, ahora incluso podemos diferenciar los elementos más ligeros y pequeños de la tabla periódica”, explica Calbet, quien argumenta que es un cambio fundamental. “Si queremos ver las propiedades de un material determinado hay que saber cómo están colocados sus átomos, y no solo verlos”.

Efectivamente, todos los investigadores que acuden al Centro Nacional de Microscopía Electrónica ya pueden observar cada uno de los átomos de sus muestras, saber a qué elemento de la tabla periódica corresponden y observar los defectos que hay en sus cadenas. En definitiva, conocer para poder transformar, mejorar o crear. “Si comprendes un defecto o propiedad en la materia puedes averiguar si es perjudicial o es justamente lo que le otorga una característica determinada para un fin. ¿Y cómo lo vemos? En realidad, el microscopio electrónico nos mide los electrones que rebotan en la materia, la energía que sale despedida de los átomos. Es una cantidad que varía según el elemento de que se trate. A menos longitud de onda de los electrones, más resolución se obtiene”, apunta Calbet.

Hoy no hay otra tecnología que alcance este nivel de precisión, ni siquiera los rayos X: “Este tipo de rayos también permite ver distancias entre átomos,

A principios de este siglo se descubrió que, al colocar un par de imanes a ambos lados de las lentes de los microscopios, se generan campos magnéticos que eliminan las distorsiones y así lograr una resolución de 0,5 angström

pero necesitan que el sólido a observar tenga sus átomos ordenados por encima de los 70 angström de resolución, porque en otro caso no los distingue. Sin embargo, este microscopio de última generación sí los ve y podemos obtener por tanto información a nivel muy local, además de la información de su estructura en un plano medio”, señala González Calbet.

INFRAESTRUCTURA SINGULAR

La historia de esta Infraestructura Científica Técnica Singular (ICTS) está muy ligada a González Calbet. Hasta que se propuso la apertura del CNME, en 1988, en España casi todos los microscopios electrónicos estaban instalados en los hospitales y se dedicaban a análi-

sis vinculados con la Medicina. Tan sólo había alguno con el que trabajar con materiales inorgánicos en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Ese año, junto a un grupo de profesores de la Facultad de Químicas, Calbet propuso a la Universidad Complutense tener sus propios microscopios para el estudio de materia no orgánica. “Primero se adquirió un microscopio de 400.000 voltios, con una resolución de 1,7 angströms, que era lo máximo que existía entonces y que es la resolución en la que se quedó estancada la tecnología durante más de una década”, recuerda este investigador.

Los microscopios electrónicos se conocen desde los años treinta del siglo XX. Fue el físico alemán Ernest Ruska el primero en desarrollar lentes electrónicas, por lo que acabó recibiendo el Premio Nobel en Física en 1986. Durante décadas, estos instrumentos fueron diseñándose para que fueran más precisos por el expeditivo método de aumentar su voltaje (a más voltios, más electrones y menos longitud de onda entre ellos, por lo tanto más calidad de imagen), hasta que llegó un momento en el que ya no fue posible mejorar la resolución, debido a las distorsiones de la propia lente.

Tras un periodo de estancamiento, a principios de este siglo la tecnología comenzó de nuevo a avanzar, con el desarrollo en Japón y Alemania de correctores capaces de subsanar esas anomalías. Se descubrió que al colocar unos imanes a ambos lados de las lentes, se generan campos magnéticos que eliminan las distorsiones. Gracias a ellos, hoy es posible ver las mencionadas reso-

Bajo la ‘lupa’ electrónica

Entre las peticiones que llegan al Centro Nacional de Microscopía Electrónica, hay de todo tipo: desde la Policía y la Guardia Civil, interesados en que analicen suelos relacionados con la comisión de delitos; hasta del equipo de restauración del Museo del Prado, para averiguar el origen de las arcillas de cuadros de Velázquez y así poder trabajar utilizando el material más parecido al original. También de investigadores de cualquier rama científica para que analicen todo tipo de componentes: óxidos de los que se utilizan en los cabezales de los ordenadores; muestras relacionadas con la catálisis de los motores diesel en la búsqueda de rebajar sus emisiones contaminantes; diminutos insectos amazónicos, en los que la diferencia entre una especie u otra es imposible de observar a simple vista porque depende de los microscópicos pelos de una pata; o fósiles de Atapuerca u otros yacimientos.

Cada uno de los 11 microscopios del CNME entra en actividad en función de las necesidades del trabajo. “No todos los servicios que nos piden requieren de un equipo como el GRAN ARM 300. Se dispone de otros microscopios muy potentes, requeridos por científicos de las áreas más dispares, hasta de odontólogos que quieren ver en profundidad los materiales que utilizan”, señala Calbet.

luciones de 0,5 angström donde antes se llegaba a 1,7. Es decir, ya es posible ver desde la Tierra el equivalente a un garbanzo sobre la superficie de la Luna. Y, además, con tal precisión, que se observan las columnas de átomos, ya sean grandes o pequeños, en su lugar exacto.

¿POR QUÉ EN ESPAÑA?

Cuando, en el año 2005, la Fundación de Ciencia y Tecnología (FECYT) preguntó a los científicos españoles cuáles eran sus necesidades tecnológicas para hacer uso de los fondos europeos de desarrollo regional (FEDER) disponibles, Calbet no tuvo dudas: era importante contar con uno de esos nuevos microscópicos electrónicos de sorprendente resolución atómica que se estaban desarrollando y, de ese modo, permitir situar al CNME como un centro puntero en el mundo.

Aunque con otras características, hay otra serie de grandes microscopios electrónicos en España. El Laboratorio de Microscopías Avanzadas, en Zaragoza, también otra de las ICTS, cuenta con un equipo de la empresa europea Thermo, cuyo uso está más centrado en investigaciones de electromagnetismo y por lo que su trabajo es complementario al de CNME. Asimismo, hay algunos microscopios electrónicos de gran potencia en el País Vasco, pero no alcanzan la del JEOL japonés.

El JEOL JEM GRAND ARM 300 cF es tan solo la mejor pieza de un complejo compuesto por dos piezas, que son dos microscopios con correctores de aberraciones. Si el JEOL corrige las anomalías de la lente del objetivo

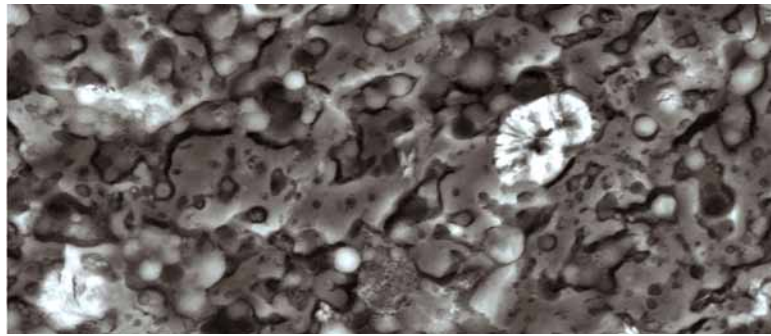
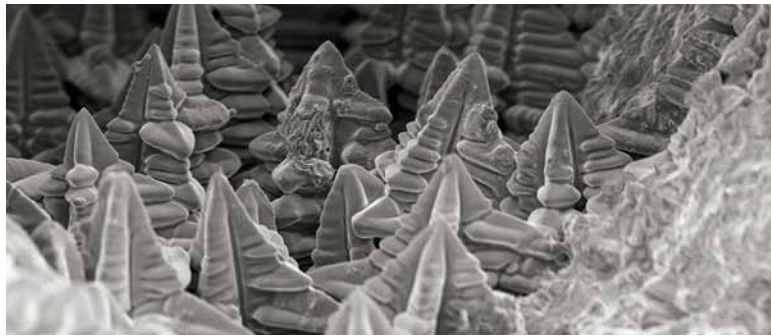


Imagen de un queso tomada a 1500X

© JEOL



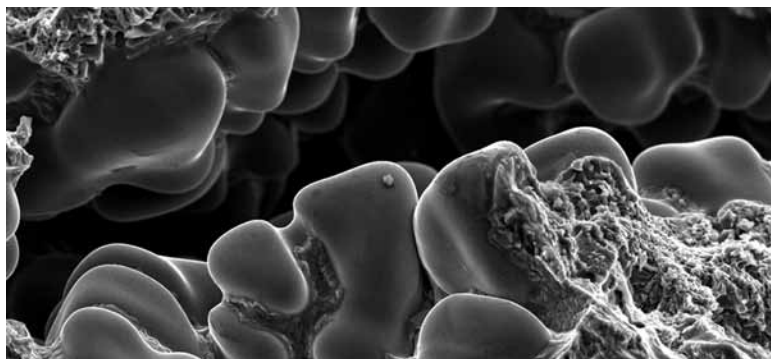
Condensador de montaje fundido en superficie, con titanato de bario y cristales de níquel, cobre y estaño

© Susan Kent, Continental AG



Gotas de hierro sobre un sustrato de aluminio

© Ezra Feilden, Imperial College de Londres



Aleación basada en Al-Si después de la prueba de tracción Microscopia

© Sugrib Kumar Shaha, Universidad de Waterloo



Nanoestructuras formadas por la oxidación húmeda en agua con cloruro de zinc

© Christian Mak Pelicano, Universidad de Filipinas

Mientras que el microscopio Grand ARM permite obtener información cristalográfica con resolución atómica, el modelo ARM 200 aporta datos de la composición porque su técnica es la de barrido

(que es la que toma la imagen), el que hay en una sala contigua del CNME –el JEM ARM200c– tiene instalado otro corrector para su lente condensadora de la luz. Juntos hacen un tándem hoy

difícil de superar: “Si el GRAND ARM es un microscopio que nos permite obtener la información cristalográfica con resolución atómica, el ARM 200 nos da la información de su composición

con resolución atómica, porque su técnica es de barrido. Podríamos haber puesto los dos correctores en un único microscopio, pero entonces no podrían funcionar los dos a la vez, así que pensamos en este diseño basado en un corrector en cada uno”, precisa Almudena Torres, científica de este centro y especialista en su manejo.

En la actualidad, en el centro trabajan 10 personas, casi todos técnicos de alto nivel, si bien, según su responsable, sería interesante ampliar esa plantilla para sacar el máximo provecho a la instalación. Ya antes de contar con estas nuevas herramientas, el CNME tenía una media anual de 850 grupos de investigación que requerían sus servicios, unas cifras que, previsiblemente, irán en aumento.

“Es el segundo equipo montado en el mundo”, precisa Calbet, quien explica que, aunque lleva poco tiempo en funcionamiento en España, apenas unos meses, ya se han recibido peticiones de Francia, Holanda, Suecia y otros países, casi siempre trabajando a distancia: “Nos envían sus muestras y les remitimos los resultados. Esta instalación abre infinitas posibilidades”. Un viaje al infinito de la ‘nano-realidad’. El futuro ya está a la puerta, y tras este ‘empujón’ tecnológico, en el CNME se tiene la vista puesta en los nuevos prototipos, con los que se trata de bajar el voltaje para poder manejar material orgánico sin que se deteriore, así como una mayor rapidez de espectroscopía. Ya se están diseñando microscopios a 15 megavoltios de gran precisión para poder observar material orgánico. Esa va a ser la siguiente revolución. ■



Detalle frontal de la pieza fundamental del microscopio.

GASTRONOMÍA DE HORNACHUELOS



© Ayo · Hornachuelos

Los platos que se elaboran en Hornachuelos permanecen fieles a esa riqueza natural de su sierra, de sus campos de cultivo, dehesas o cotos de caza: pierna de venado estofada, salmorejo al estilo cordobés, chorizo de jabalí, jamón ibérico, espárragos trigueros, cítricos de la Vega del Guadalquivir o meloja hecha con calabaza y miel.

Pág 40

II ENCUENTRO EDUCATIVO DE CREACIÓN AUDIOVISUAL FOCO

Los días 4, 5 y 6 de mayo se celebrará en Fuente Obejuna el *II Encuentro Educativo de Creación Audiovisual Foco* dedicado a cortometrajes y punto de encuentro entre jóvenes creativos cuyo objetivo es fomentar y difundir la creación audiovisual para usarla en el campo educativo, así como elemento socializador.

Pág 42

PROYECTOS PARA REACTIVAR LA RIQUEZA CULTURAL



© Thinking Competitions

Con el fin de poner en valor y reactivar la riqueza cultural de Hornachuelos, el Ayuntamiento y el equipo de reThinking Competitions pusieron en marcha el concurso *Hornachuelos Downtown Reactivation*, cuyo objetivo era buscar ideas sobre la forma de intervenir en el centro histórico de la localidad, para desarrollar un espacio habitable, nuevo y contemporáneo.

Pág 42

SIERRA ALBARRANA

El Cabril y su entorno



© Apícola Montoro

EMPRESAS CON PRODUCTOS DE HORNACHUELOS DISPONEN DEL SELLO 'PARQUE NATURAL DE ANDALUCÍA'

Apícola Montoro y Coforest son dos empresas que emplean materias primas de la Sierra de Hornachuelos en sus productos, concretamente la miel y el piñón piñonero, y a las que se les ha concedido incluir en ellos la marca 'Parque Natural de Andalucía', puesta en marcha desde 2002 y promovida por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Este distintivo es un reconocimiento a aquellas compañías que manufacturan productos artesanales y naturales que se elaboran con materias primas de los parques naturales de Andalucía, y que apuestan por el medio ambiente gracias a unas actividades empresariales sostenibles.

Pág 38



© Apícola Montoro

Parte de las colmenas de la compañía Apícola Montoro en los terrenos del parque natural.

APÍCOLA MONTORO Y COFOREST SON DOS DE LAS EMPRESAS QUE EMPLEAN PRODUCTOS DE LA SIERRA DE HORNACHUELOS

MARCA 'PARQUE NATURAL DE ANDALUCÍA': 14 AÑOS DE CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD

Este distintivo, promovido desde 2002 por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, se otorga tanto a productos artesanales y naturales que se elaboran con materias primas de los parques naturales de Andalucía como a los servicios turísticos que prestan en el interior de éstos o en sus áreas de influencia. Cerca de 1.500 empresas andaluzas disponen en la actualidad de este sello que les ayuda a potenciar su imagen y que se ha convertido en un método eficaz para lograr un crecimiento económico, comercial y turístico que asegure el desarrollo sostenible.

Texto: **CÉSAR DE ECHAGÜE**

Ya se ha demostrado en todos los años que lleva en funcionamiento la marca su efectividad al imprimir valor al producto o al servicio certificado, a la empresa que lo produce o presta y a la zona de procedencia”, asegura Lola Chacón, secretaria técnica de FASEPAN (Federación de Asociaciones de Empresas Licenciataria de la Marca Parque Natural de Andalucía), entidad sin ánimo de lucro que promociona, difunde y comercializa dicha marca y da visibilidad a los productos y servicios certificados.

Por una parte, con esta iniciativa se comparte con la población y las empresas radicadas en estos parques la importancia de estimar al territorio, reforzando la identidad



Piñones de pino recogidos y miel envasada, productos que disponen de la marca 'Parque Natural de Andalucía'.

y el apoyo a los emprendedores que apuestan por el desarrollo sostenible. Por otra, se ofrece a los visitantes productos y servicios naturales y artesanales elaborados respetando y potenciando los valores medioambientales de la zona. Asegurar la calidad de éstos así como la conservación y mejora del medio es la filosofía de la Junta de Andalucía para la marca Parque Natural de Andalucía.

REQUISITOS

Para obtener el distintivo, el producto ha de elaborarse en el ámbito territorial de uno de los parques naturales o en un municipio parcialmente incluido en ese entorno; los procesos de fabricación o prestación han de ser total o en parte manuales, primando la habilidad y experiencia del productor. Asimismo, instalaciones y procesos anejos tienen que cumplir la legislación medioambiental y, además, asumir un compromiso de mejora continua del comportamiento medioambiental con un objetivo anual relativo a sus actividades relacionadas con el producto. La licencia de uso de la marca, renovable, se concede por tres años, aunque sujeta a las auditorías que se llevan a cabo cada año y medio.

LA RIQUEZA DE HORNACHUELOS

Vinculados a la riqueza del Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos hay en la actualidad dos empresas con la licencia: Apícola Montoro y Coforest. La primera



es una empresa familiar que comenzó por la pasión de Lorenzo Ruiz por las colmenas: “Cuando terminaba mi jornada laboral me iba al campo a trabajar en las 7 colmenas que tenía. Hoy disponemos de 1.600 que producen entre 25 y 30 toneladas de miel seleccionada por su calidad”. En su caso, la sinergia entre marca, desarrollo económico y promoción de la zona es fuerte: se organizan excursiones de cata de miel a sus instalaciones y la Unión Europea ha planteado la necesidad de proteger a las abejas, indispensables en la polinización de los campos.

Por su parte, aprovechar, transformar y comercializar productos del ámbito forestal, sobre todo la piña, fruto del pino piñonero, es lo que caracteriza a Coforest. “La marca ha favorecido la imagen de la cooperativa, porque no vendemos al consumidor final sino a empresas de transformación”, comenta su gerente, Javier Martínez, quien colabora con diversas instituciones para mejorar la masa productora y quién en la actualidad está trabajando sobre 12 patrones botánicos diferentes del pino piñonero. ■

Parque Natural
de Andalucía

VENTAJAS QUE OFRECE EL DISTINTIVO

A través de la página web www.marcaparquenatural.com se ha creado una red para el intercambio de experiencias profesionales y empresariales; un vehículo para la promoción y difusión de productos y servicios y de acciones comunes, como la participación en ferias comerciales, exposiciones, congresos o edición de material promocional. También es una puerta hacia nuevos canales de difusión, comercialización y venta como son los puntos de venta de las instalaciones de uso público, los puntos de información turística y los hoteles y restaurantes adheridos a la marca Parque Natural de Andalucía.

DE PRIMERO, COCINA HORNACENSE

En estos tiempos de globalización, la gastronomía propia de cada zona ya no depende en mayor medida de los productos del entorno. Sin embargo, los platos que se elaboran en Hornachuelos permanecen fieles a esa riqueza natural de su sierra, de sus campos de cultivo y dehesas o de sus cotos de caza. Pierna de venado estofada, salmorejo al estilo cordobés, chorizo de jabalí, jamón ibérico, espárragos trigueros, cítricos de la Vega del Guadalquivir o meloja hecha con calabaza y miel son sólo una representación de la rica y variada gastronomía de esta localidad... que nadie debería dejar de degustar.

Texto: **RICARDO TAPIA**

Fotos: **AYTO. DE HORNACHUELOS**

Plato típico de Hornachuelos, estofado y elaborado con carne de venado.



Colasa, para medrar en nuestro oficio, es forzoso que haya en la casa reposo y a ninguno incomodar. Nunca meterse a oliscar quiénes los huéspedes son. No gastar conversación con cuantos llegan aquí. Servir bien, decir no o sí, cobrar la mosca y chitón". Estas recomendaciones de un posadero de Hornachuelos en La Fuerza del Sino, la obra de teatro de Ángel de Saavedra, el Duque de Rivas, fechada en 1835, es solo una anécdota que sirve para ilustrar la larga tradición hostelera tan vinculada al buen servicio, ofrecido en un ambien-



CÓMO IMPULSAR LA COCINA DE HORNACHUELOS

El Ayuntamiento de Hornachuelos, consciente de la importancia de la gastronomía dentro del desarrollo turístico, lleva a cabo desde hace años diversas iniciativas para poner en valor su cocina autóctona. Desde el fomento de la concienciación empresarial, sobre todo de restaurantes y bares, para la incorporación de productos de la zona en su oferta, cartas y menús. Hasta la comercialización de esos productos 'típicos'. Pasando por la recopilación de recetas, a través de la puesta en marcha de investigaciones o concursos; la creación de rutas gastronómicas; la celebración de jornadas gastronómicas; o impulsando, por ejemplo, la denominación de origen de la miel.

te de tranquilidad y saboreando los apetitosos productos de esta localidad cordobesa.

Una gastronomía marcada por su entorno: el monte y sus cotos de caza, con venados, jabalíes, conejos o perdices; los cursos de río o presas del Retortillo o Bembezar, con su patos silvestres, barbos o ánguila; las dehesas, con sus cerdos ibéricos de los que se obtiene el jamón y la paleta, algunos de los cuales participan de la denominación de origen Los Pedroches; las colmenas de abejas de donde se produce sus variantes de miel; los terrenos de la Vega del Guadalquivir para los cítricos; o sus huertas y, por ejemplo, sus espárragos trigueros.

CAZA MAYOR Y MENOR

Uno de los platos más típicos es el de pierna de venado estofada: la pieza de ciervo –marinada durante varios días con aceite, zanahoria, vino blanco y clavo, para suavizar el sabor de la carne de caza– se guisa con manteca y se acompaña con una salsa picante. De este animal, así como del jabalí, también se elabora un chorizo de gran sabor. Otro de los platos más significativos es el de conejo en pebre, una salsa que se elabora con aceite de oliva, ajos, pimienta, perejil y vinagre. El pato silvestre es protagonista de otra de las recetas más usadas y cuyos ingredientes son la manteca de cerdo, nuez moscada, vino, sal y pimienta. También hay gran variedad de platos con perdices, y ya dentro de la pesca, con barbos, anguilas o bogas.

CON DENOMINACIÓN DE ORIGEN

Los embutidos no podían faltar en la gastronomía de Hornachuelos, como los que se elaboran con la carne de caza, venado o jabalí. Tampoco, el jamón y la paleta de los cerdos de raza porcina ibérica –sólo se admite un cruzamiento que suponga un 25% de cerdo de la raza Duroc o Dyroc Jersey– que pueblan sus dehesas. Se trata del



Al ser una localidad de la provincia de Córdoba, no puede faltar el clásico salmorejo.



Lomo de venado, una carne similar a la de buey pero con unas fibras más tiernas y cortas.

jamón que de diversas zonas de la comarca se obtiene de cerdos adultos, nunca de verracos o cerdas reproductoras.

SALMOREJO Y POSTRES

Al ser una localidad de la provincia de Córdoba, no puede faltar en cualquier mesa el clásico salmorejo, ni tampoco toda una serie de platos en los que son ingredientes básicos el aceite oliva, el tomillo o el romero, acompañamientos como las setas o los espárragos trigueros silvestres, o los cítricos recolectados de la Vega del Guadalquivir y que son empleados en ensaladas, guisos y postres. Y hablando de postres, este apartado es uno de los más golosos de la gastronomía de Hornachuelos, en gran medida todos aquellos en los que la miel –recolectada de las colmenas situadas en la Sierra y con seis variedades– es pieza clave para su elaboración: hojuelas, pestiños, torrijas, tortas, bizcochos, roscos o melojas, este último elaborado a base también de cidra, calabaza confitera. ■

HORNACHUELOS

PROYECTOS PARA REACTIVAR LA RIQUEZA CULTURAL DEL MUNICIPIO



Maqueta de Hornachuelos diseñada por Cristian Ferrera Architecture.

Con el fin de poner en valor y reactivar la riqueza cultural de Hornachuelos, su Ayuntamiento y reThinking Competitions pusieron

en marcha el concurso *Hornachuelos Downtown Reactivation* cuyo objetivo era repensar las formas de intervenir y de poner en valor el centro

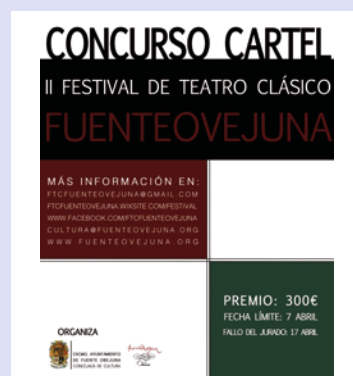
histórico para desarrollar un espacio habitable, nuevo y contemporáneo. Un certamen al que, desde agosto y hasta diciembre de 2016, pudieron participar estudiantes y profesionales de la arquitectura. Las propuestas más destacadas, de las 55 presentadas y analizadas por el Ayuntamiento y reThinking Competitions, podrán acceder según la viabilidad técnica de llevarlas a la práctica a una segunda fase. El primer premio se le concedió al proyecto 'Asomarse', de Carlos Gutiérrez y Elena Romero; el segundo, a 'Holn', de Federico Aru y Michaela Serra; y los terceros a 'Articulation', de Crawford, Kamblo y Lara; e 'I'm a cloud', de Dorta, Dharandas, González y Pérez. Entre las diez menciones de honor destacó el proyecto presentado por Cristian Ferrera Architecture con el nombre de 'Argentohol'. ■

© Ferrera Architecture

FUENTE OBEJUNA

CONCURSO PARA DISEÑAR EL CARTEL DEL II FESTIVAL DE TEATRO CLÁSICO

Con ocasión del *II Festival de Teatro Clásico Fuenteovejuna*, una iniciativa que pretende consolidarse como un referente cultural a nivel nacional y que se celebrará el próximo mes de julio, se ha puesto en marcha un concurso para diseñar el cartel del festival cuyo plazo finalizará el 7 de abril. Se puede conseguir más información en www.fuenteovejuna.org y a través de ftcfuenteovejuna@gmail.com ■



Cartel anunciador del concurso para el Festival de Teatro.

© Ayto. Fuente Obejuna



Lema de la segunda edición del festival de cortos.

© Colectivo Brumaria

LA CULTURA AUDIOVISUAL COMO INSTRUMENTO EDUCATIVO

Los días 4, 5 y 6 de mayo se celebrará el *II Encuentro Educativo de Creación Audiovisual Foco*, más conocido como Fuente Obejuna de Cortos (FOCO). Este punto de encuentro y colaboración entre jóvenes creativos busca, según los responsables del Ayuntamiento de la localidad, fomentar y difundir la creación audiovisual para usarla en el campo educativo, así como para convertirla en elemento socializador. Foco está dirigido a los alumnos de enseñanza secundaria de centros de toda España financiados con fondos públicos. El plazo de entrega es el 7 de marzo. Más información en www.festivalfoco.com ■

LAS NAVAS

INVERSIONES CON LOS PLANES SUPERA I Y III

La Diputación de Sevilla ha invertido alrededor de 500.000 euros en el municipio de Las Navas a través de los planes Supera I y III, que reinvierten en actuaciones municipales los excedentes presupuestarios de esta institución. Entre ellas destacan las mejoras en el colegio público para mantener la temperatura en las aulas, la reparación de los depósitos municipales de suministro de agua, la pavimentación en la barriada Pablo Iglesias, la reparación de instalaciones municipales de servicio público, el acondicionamiento en la zona recreativa de la ermita Virgen de Belén, la reurbanización de la Plaza Príncipe Felipe o la rehabilitación de parques y jardines. ■

AZUAGA

EL AYUNTAMIENTO MEJORARÁ LA RED LOCAL DE FIBRA ÓPTICA

La Secretaría General de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Junta de Extremadura ha otorgado una subvención –cofinanciada al 80% con fondos Feder– a Azuaga, junto con otros catorce ayuntamientos, para implantar, desarrollar, mejorar, desplegar o ampliar redes locales de fibra óptica. Azuaga, en concreto, recibirá 31.276 euros para este concepto. El objetivo es que el Ayuntamiento disponga de infraestructuras de comunicaciones de altas prestaciones para reforzar y mejorar los servicios que presta al ciudadano, y ayuden a la dinamización de la actividad económica. ■

PEÑARROYA- PUEBLO NUEVO

MEDIDAS PARA LA INSERCIÓN LABORAL

La Junta de Andalucía invertirá 492.000 euros y contratará a 83 desempleados en Peñarroya-Pueblonuevo dentro de una serie de medidas –que serán puestas en marcha en los próximos meses– para favorecer la inserción laboral. Se trata de 12 proyectos en ámbitos como el turismo, la cultura, el medio ambiente o las infraestructuras, a los que se podrán acoger desempleados de esta localidad y que busca que con dicha experiencia puedan mejorar su perfil laboral de cara a reincorporarse en el futuro a otros puestos de trabajo. ■

SE RESTAURARÁ LA FÁBRICA DE LA HARINA



Vista actual de la Fábrica-museo de Harinas.

Promociones Industriales, la empresa pública del Ayuntamiento de Peñarroya-Pueblo Nuevo, se encargará –con los 14.000 euros aportados por la Diputación– de restaurar el inmueble del Museo de la Fábrica de Harina así como a consolidar la maquinaria que contiene. Tras ello, el Ayuntamiento valorará los proyectos que particulares y colectivos presenten para encargarse de su gestión. ■

ALANÍS

GESTIÓN DE INCIDENCIAS URBANAS EN TIEMPO REAL



Imagen de la plataforma web desde la que comunicar las incidencias urbanas.

La localidad de Alanís se suma a ‘Cuida tu municipio’, una plataforma web regional de gestión de incidencias urbanas de la provincia de Sevilla, que busca poder solucionar con eficacia las incidencias que afecten a la imagen que la localidad ofrece tanto a habitantes como a turistas. A través de la página web o desde

una aplicación para teléfonos móviles, los vecinos pueden dar cuenta al Ayuntamiento en tiempo real de las deficiencias que descubran y así activar el proceso para la reparación que requiera hacerse. La app se puede descargar con el nombre “Cuida tu municipio” desde la página <http://cuidatumunicipio.dipusevilla.es/alanis> ■

Fe de errores: En el reportaje sobre la vía verde La Maquinita, publicado en el número 116 de Estratos, donde pone ‘Puerto Llano’, debe poner ‘Puertollano’.

El objetivo de la misión LISA Pathfinder fue escuchar el silencio del Universo

YA ES POSIBLE DETECTAR ONDAS GRAVITACIONALES

El 3 de diciembre de 2015, un cohete Vega despegó desde la Guayana francesa para situar a LISA Pathfinder, una sonda de la Agencia Espacial Europea (ESA), a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra con la finalidad de oír el silencio del universo para luego así captar su sonido. Apenas tres meses después, el 1 de marzo de 2016, los científicos comenzaron a operar la instrumentación y en su primer día de trabajo pudieron constatar que la misión había sido un éxito: la prueba corroboraba que la tecnología puesta en órbita era la adecuada para detectar desde el espacio exterior las perturbaciones en el espacio-tiempo.

Texto: **PABLO ALMERA**

Fotos: **ESA**



Módulo LISA pathfinder en el momento de ser encapsulado como carga útil en la cabeza de un cohete tipo Vega.



En 1915, Albert Einstein formuló la teoría de la Relatividad General. Los trabajos del genio alemán han mantenido durante más de cien años a científicos de múltiples ámbitos investigando para demostrar la validez de las predicciones de sus ecuaciones de campo, que describen las interacciones de la gravitación en ese tejido de cuatro dimensiones que es el ‘universo einsteiniano’ que se curva según la masa de los objetos que se mueven en él.

En estas ecuaciones, Einstein postulaba la existencia de las ondas gravitacionales –de muy baja frecuencia y muy difusas– definidas como perturbaciones en el espacio-tiempo causadas por el movimiento de la materia y la energía, que son propagadas en todas direcciones a la velocidad de la luz y que, a diferencia de ésta, son capaces de atravesar cualquier obstáculo. La existencia de estas ondas no fue corroborada hasta el pasado año,

Einstein postulaba la existencia de las ondas gravitacionales, definidas como perturbaciones en el espacio-tiempo causadas por el movimiento de la materia y la energía, propagadas en todas direcciones a la velocidad de la luz y capaces de atravesar cualquier obstáculo

convirtiéndose, según la revista Science, en el descubrimiento científico de 2016.

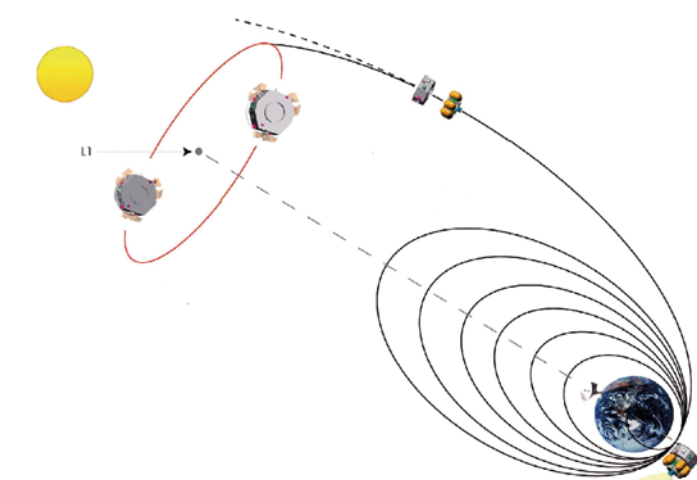
En febrero del pasado año, los científicos del Observatorio Gravitacional de Interferometría Láser (LIGO), en Estados Unidos, comprobaron por vez primera la existencia de las ondas gravitacionales desde dos ubicaciones separadas por 3.000 kilómetros de distancia, al detectar una señal de la fusión de dos agujeros negros, con unas 30 veces la masa del Sol, que se produjo hace 1.300 millones de años. Es decir, LIGO detectó las ondas gravitacionales producidas por un

suceso sumamente violento. Como explica Michele Armano, científico en operaciones y calibración de la misión Lisa Pathfinder en el Centro Europeo de Astronomía Espacial (ESAC, por sus siglas en inglés) de Villanueva de la Cañada (Madrid) “con los instrumentos de tierra estamos limitados a observar frecuencias muy altas o a fenómenos al final de su vida, cuando la energía se hace enorme, como ha sucedido con LIGO, que ha detectado las ondas gravitacionales de un agujero negro engullendo otro agujero negro”.

Paradójicamente, el siguiente paso, la detección y observación de ondas gravitacionales de frecuencias más bajas y durante más tiempo, se había comenzado a dar diez años antes, con el desarrollo de LISA Pathfinder, una sonda cuyo objetivo era preparar la futura misión LISA: un observatorio espacial de ondas gravitacionales sin las interferencias de la gravedad sísmica, termal y terrestre de la Tierra

EL SONIDO DEL SILENCIO

Para captar el verdadero sonido del universo, primero es necesario oír el silencio. Con LISA Pathfinder se ideó un dispositivo tecnológico con una misión: “Escuchar el me-



Desarrollo de la misión: la sonda fue soltada por un cohete Vega en una órbita elíptica baja, de 200 x 1.620 km y con una inclinación de 5,3 grados. Tras ello, y usando sus propios motores delta V, aumentó a una velocidad de 3,1 Km/s su altura de apogeo. Tres semanas después de escapar de la acción gravitatoria de la Tierra se situó, en una posición estable y a 1.500.000 kilómetros de la Tierra, cerca del punto de Lagrange (L 1) del sistema Sol-Tierra, momento en el que el módulo de propulsión fue eyectado y Lisa Pathfinder llevó a cabo sus operaciones durante seis meses.

por silencio posible para asegurar la afinación de nuestro oído y estar preparados para ir a la gran sala de conciertos que será LISA y disfrutar de la música, captando de dónde proviene cada sonido”, asegura Armano.

El 3 de diciembre de 2015, fue lanzada al espacio LISA Pathfinder, una nave circular de dos metros de diámetro por 60 centímetros de altura cubierta por un panel solar, para situarla en órbita a un millón y medio de kilómetros de la Tierra. En el interior se habían dispuesto dos cubos de oro y platino, iguales, de 2 kilogramos y 46 milímetros, separados por 38 centímetros, que experimentaron el efecto de una caída libre y quedaron flotando, protegidos de influencias externas, como es el caso del viento solar. Dos sensores inerciales, fueron ajustando constantemente su posición a los requerimientos del experimento.

“Con LISA Pathfinder medimos la distancia entre dos masas en caída libre –o sea, sin fuerza aplicada– con la precisión de un picómetro



Montaje de las piezas de la sonda en una sala blanca.

–10 -12 millonésimo–, más pequeño que el tamaño de un átomo. Y tenemos que entender todo lo que puede influenciar esta medición a este nivel para poder medir las ondas gravitacionales con el futuro satélite LISA”, explica Damien Texier, responsable de la misión LISA Pathfinder en el ESAC.

MAYOR PRECISIÓN

Dicho y hecho. Desde el primer instante en que Pathfinder estuvo operativa, se calificó la misión como un éxito al obtener una precisión capturando información del

espacio-tiempo local mayor de lo que se esperaba. Una precisión que con el trabajo posterior desde Tierra, se ha multiplicado por cinco. “Tenemos en nuestras manos la tecnología para detectar y medir ondas gravitacionales en el espacio en la futura misión LISA, cuyo lanzamiento está previsto en 2030, y que será como abrir una nueva ventana para estudiar el universo”, resume Texier, después de esgrimir más datos sobre la misión actual: “Los primeros dos meses muestran que, en el rango de frecuencias entre 60 Hz y 1 Hz, la precisión de LISA Pathfinder está limitada únicamente por el ruido de detección del sistema de medición láser utilizado para monitorear la posición y la orientación de los cubos”.

Una misión que ha finalizado su fase nominal de operación, pero que, hasta finales de junio de este año, seguirá trabajando en temas de caída libre. En principio, y como ha ocurrido con otras misiones espaciales, aunque la operación está limitada por el combustible de los cohetes, puede que siga funcionando durante años, lo que permitirá medir la térmica a bordo y su impacto en la caída libre.



Dos cubos, de oro y platino, alojados en la sonda, fueron expuestos al movimiento provocado por el efecto de la gravedad, recreando así el efecto de una caída libre, algo necesario para evitar influencias externas y calibrar la tecnología que detecta las ondas gravitacionales.

En el proyecto, a lo largo de los diez años de desarrollo y hasta

la puesta en órbita de pathfinder, se han invertido 300 millones de euros, pero el retorno industrial y tecnológico de la misión, para todos los Estados e industrias que han participado, se considera rentabilizado. “Algunos aspectos no serán visibles o medibles inmediatamente, pero llegarán; Lisa Pathfinder, por inversión y resultados, ya, en este momento, se lleva un diez”, aseguran desde ESAC.

REVOLUCIÓN

En lo que también coinciden todos los científicos es que la astronomía de ondas gravitacionales será una de las grandes revoluciones de este siglo, similar a lo que supuso para Galileo el uso del telescopio o, ya en el siglo XX, el acceso a otras bandas del espectro electromagnético, como el infrarrojo, las ondas de radio o los rayos X. “Sabemos más de las cuatro fuerzas fundamentales y vamos a hacer una cosmología que va más allá de la información

proporcionada por fotones y neutrinos, vamos a acercarnos a la historia y evolución del universo”, afirma Armano.

La gravedad es la fuerza más presente en el universo, ya que nunca se cancela, siempre se suma, no hay una masa negativa y positiva. La luz no puede atravesar ciertos obstáculos, la gravedad sí. Tanto es así que, hasta ahora, ver los primeros instantes de la formación del universo solo podía hacerse en base a la radiación, pero con las ondas gravitacionales tal vez se pueda explorar antes de que se produjera esa radiación; llegar más lejos.

Por otra parte, se espera recibir a través de las ondas gravitacionales de muchos de los objetos astrofísicos diferentes informaciones que hasta ahora se detectaban a través de fotones, con instrumentos como los telescopios, o con detectores de infrarrojos, de rayos x o rayos gamma. La información gravitatoria apor-

tará datos muy valiosos sobre la distancia y la rapidez con la que los objetos se alejan entre ellos para medir los coeficientes de aceleración, sobre si se sigue expandiendo el universo o si se va a contraer, o sobre la distribución de la materia oscura.

EL FUTURO

El éxito de test tecnológico de LISA Pathfinder asegura de alguna manera la misión LISA: el futuro observatorio espacial de ondas gravitacionales. “Un proyecto que, curiosamente, será más sencillo que lo que hemos hecho hasta ahora, que es demostrar que contamos con la tecnología para hacer astronomía y cosmología de ondas gravitacionales en el espacio”, afirma Armano.

A falta de algunos desarrollos técnicos ya en marcha para implementar en la misión pensada para el año 2030, como un laser más poderoso o reducir el ma-

Despegue del cohete Vega desde la Guayana francesa el 3 de diciembre de 2015.



terial de abordo, se pondrán en órbita tres satélites en formación triangular y en rotación para poder medir en dos direcciones no paralelas y diferenciarlas de las perturbaciones locales. De esta manera, cada masa de prueba estará alojada en su propia nave espacial, a millones de kilómetros de distancia de las otras, pero conectadas a través de láseres.

Si se suma la precisión alcanzada por LISA Pathfinder a un observatorio de ondas gravitacionales a gran escala en el espacio como el proyectado, se podrán detectar las fluctuaciones causadas por las fusiones de agujeros negros supermasivos en galaxias de cualquier parte del universo, conocer mejor la naturaleza de la gravedad, la naturaleza fundamental de los agujeros negros y su valor como fuentes de energía, la formación de estructuras no lineales, la dinámica de los núcleos galácticos, la formación y evolución de los sistemas binarios estelares y el universo temprano.

El papel español en la misión

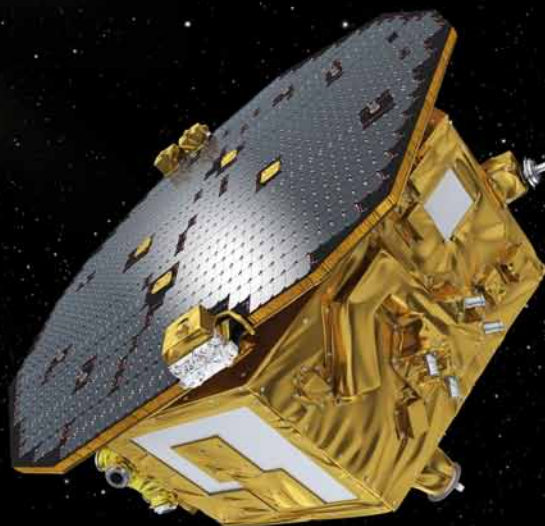
El Centro Europeo de Astronomía Espacial (ESAC), ubicado en el municipio madrileño de Villanueva de la Cañada, tiene un papel muy importante en la misión LISA pathfinder. En sus instalaciones se ha realizado la planificación de todas las investigaciones y en sus servidores se guarda el archivo de todos los datos que se están recibiendo. Datos que, desde octubre de 2016, están disponibles para toda la comunidad científica.

La plantilla del ESAC está compuesta por científicos, ingenieros y técnicos de todo el mundo y es, además, y desde hace 30 años, un centro de referencia para los astrónomos, ya que, como en el caso de esta última misión, custodia los archivos científicos de todas las misiones planetarias de la Agencia Espacial Europea (ESA) y de algunos de los telescopios espaciales que más información han aportado al conocimiento del cosmos.

En definitiva, LISA Pathfinder es la misión precursora del observatorio espacial de ondas gravitacionales que –usando la metáfora musical que emplean sus creadores– permitirá escuchar la sinfonía completa del universo y distinguir las notas de cada instrumento en esa gran melodía.

Las ondas gravitacionales existen, ya se ha demostrado. Se pueden observar en el espacio, como LISA pathfinder ha testado. Una vez sean captadas con la precisión necesaria y decodificadas empezarán a engrosar la enciclopedia universal de la historia del cosmos. ■

Recreación artística de LISA pathfinder operando en el espacio.





Los primates suelen ingerir sin masticar determinados tipos de hojas para combatir la infección por parásitos.

© Azadam

Existe un gran número de casos registrados de animales que se automedican

LA ‘FARMACIA ANIMAL’

El ser humano no es el único que sabe que en la naturaleza hay elementos —sobre todo en la composición de las plantas, aunque también en la de minerales— que ingiriéndolos sirven para curar enfermedades o aliviar algunos de los síntomas asociados a ellas. El mundo animal está lleno de ejemplos que muestran la capacidad que tienen muchas especies —desde mamíferos hasta insectos— para tomar estos remedios con la intención de combatir infecciones o alergias, emplearlos como ungüentos que sirven como repelentes o, entre otros muchos casos, para facilitar el proceso del parto o evitar la acidez estomacal.

Texto: **ANA AYALA**

Rinocerontes y elefantes emplean tratamientos tópicos para curar enfermedades de su piel; los primates, por su parte, buscan raíces que tienen aceites para tratar picaduras de insectos; y los chimpancés ingieren carbonato cálcico para controlar procesos diarreicos. La capacidad de los animales de automedicarse, seleccionando principios naturales para aliviar y curar dolencias, se conoce como zoofarmacognosia, término que deriva de las palabras griegas ‘zoon’ (animal), ‘pharmakon’ (medicamento) y ‘gnosis’ (conocimiento). Y no sólo ocurre en el mundo salvaje, también es cotidiano en los animales domésticos, como los perros, que cuando comen hierba en el parque o en el campo: se están automedicando por un malestar estomacal o un parásito.

EL ORIGEN

La rama científica de la zoofarmacognosia es bastante reciente y la mayoría de los estudios que se han hecho al respecto se centran sobre todo en los grandes simios. A principios de la década de los 70, Richard Wrangham, primatólogo en la Universidad de Harvard, observó que los chimpancés del Parque Nacional de Gombe –la reserva natural de Tanzania donde la famosa etóloga Jane Goodall estudió a los simios– ingerían unas hojas con poco valor nutricional: la aspilia, una planta con flor de la familia de las asteráceas. Por la misma época, el antropólogo japonés Nishida Toshisada comprobó el mismo comportamiento en los chimpancés de los Montes Mahale, ubicados también en ese mismo país.

En ambos casos, curiosamente, los primates comían estas hojas sin masticarlas. Es más, ambos investigadores también advirtieron que el consumo de las hojas de estas plantas se incrementaba durante la época de lluvias, cuando más posibilidades hay de riesgo de infección por parásitos. Su asociación con la automedicación llegó gracias a un análisis de las heces de estos simios realizado por Eloy Rodríguez, bioquímico de la Universidad de Cornell (en Nueva York, Estados Unidos), quien pudo comprobar que las hojas de la aspilia son ricas en un tipo de aceite que acaba con bacterias y parásitos intestinales. De hecho, fue el propio Rodríguez quien acuñó el término de la zoofarmacognosia.

CUÁNDO ES AUTOMEDICACIÓN

Uno de los principales investigadores de la zoofarmacognosia –en concreto, la relacionada con primates– es el estadounidense Michael Alan Huffman, biólogo y profesor asociado en la Universidad de Kyoto (Japón), quien a mediados de la década de los noventa se interesó por esta disciplina cuando observó cómo un chimpancé con problemas de estreñimiento comía hojas de una planta tóxica y al día siguiente estaba completamente recuperado. Al analizar las hojas que había comido descubrió que funcionaban como una especie de ‘velcro’ al que se pegaban los gusanos y así los podía expulsar. Huffman también es el responsable de establecer los criterios que determinan cuándo un animal se está automedicando: la planta que consume no forma parte de su dieta habitual, apenas tiene valor nutricional, la ingiere cuando tiene mayor abundancia de larvas y parásitos, y se trata de una actividad en la que no participan otros animales del grupo.

¿SE APRENDE O ES INSTINTIVO?

“Se sabe, gracias a las investigaciones en medicina y farmacología humana, que ciertas sustancias químicas y actividades están estrechamente vinculadas por el gusto y el olfato. Son esas propiedades de sabor y olor las que seres humanos y animales buscan en las plantas cuando se sienten enfermos, porque saben con bastante certeza que su ingesta favorece ciertos resultados fisiológicos. Un fuerte sabor amargo se asocia con toxicidad si se trata de altas dosis, pero también con un gran valor medicinal en el caso de pequeñas porciones: contra parásitos, para hacer disminuir la fiebre o para aumentar el apetito”, explica Huffman, quien opina que los animales ya a una edad temprana parecen aprender que su consumo bajo ciertas condiciones es algo positivo –su instinto no les alerta de que deban evitarlo– y reafirman esa idea tanto viendo el comportamiento de sus madres como por el alivio que experimentan de primera mano cuando están enfermos.

Durante mucho tiempo se pensó que la capacidad de los animales para automedicarse se trataba sólo de un comportamiento aprendido que se adquiría a través de la experiencia, porque los primeros ejemplos se vieron en primates. “Debido a esto se supuso que sólo podría ocurrir en los animales con capacidad de observar y aprender. Sin embargo, los científicos han estudiado casos de automedicación innata en los insectos, lo que demuestra que este comportamiento no siempre tiene que ser aprendido”, explica Fernanda Ferreira, participante en el programa de Virología de la Universidad de Harvard (Cambridge, Massachusetts, Estados

Los bonobos que viven en la cuenca del Congo ingieren hojas y tallos de un arbusto de la familia de las lianas para eliminar parásitos, mientras que los babuinos de Etiopía toman hojas de plantas para combatir a los gusanos planos

Unidos), en un artículo de la publicación *Stin*.

En este sentido, la hormiga negra, *formica fusca*, que vive en las zonas templadas de Europa, Asia y América, se automedica cuando sabe que está infectada por hongos incluyendo en su dieta peróxido de hidrógeno – que puede hallarse en plantas o en cadáveres de otros insectos– y lo hace además en la cantidad exacta, ya que si la hormiga está sana este elemento resulta mortal. Es decir, toma la dosis adecuada para matar solo a

los patógenos fúngicos. Así se desprende de una investigación llevada a cabo por especialistas de la Universidad de Helsinki (Finlandia). Otros insectos que se automedican son las moscas de la fruta que, cuando descubren que una avispa ha puesto sus huevos dentro de su cuerpo, ingieren alimentos ricos en alcohol, como son las frutas podridas o fermentadas, ya que saben que acabará con las larvas de la avispa parasitaria. Y las abejas emplean una resina de plantas con un componente antimicrobiano que, al mezclarla con la

cera, permite obtener un propóleo, una especie de antibiótico con el que cubren las paredes de la colmena para combatir bacteria o virus.

Otra posibilidad barajada respecto a cómo se transmite el conocimiento de los valores medicinales de las plantas es la de que en el mundo animal haya individuos que ejerzan de *médicos*, pero no parece probable. “Hasta la fecha, no se conoce ningún ejemplo de un animal que dé plantas medicinales a otro, aunque tampoco existe impedimento para que pudiera darse esta situación. En cualquier caso, cuando comparten plantas es siempre en un caso concreto: se ofrece algo que uno está comiendo y que el otro desea. Nunca ocurre que un animal que no esté tomando una planta en determinado momento la entregue a otro, ni que un individuo solicite una planta medicinal cuando otro de sus congéneres la esté tomando”.

VARIADOS EJEMPLOS

En África, las elefantas embarazadas comen las hojas de algunos árboles de la familia de las borrajas para inducir el parto, según la investigadora Holly Dublin, de la organización conservacionista World Wildlife Fund (WWF), quien observó cómo una de las hembras de esta especie recorría más de 25 kilómetros en un solo día para poder consumirlas con esa finalidad. En el caso de los simios, los bonobos que viven en la cuenca del Congo (África) ingieren hojas y tallos de un arbusto de la familia de las lianas para eliminar los parásitos. También los babuinos de Etiopía comen hojas de plantas para combatir los gusanos planos.



Las elefantas embarazadas recorren kilómetros para tomar hojas de la familia de las borrajas que les ayudan a inducir el parto

© Reino Animalia

Incluso los monos capuchinos abren los frutos de diferentes cítricos –como la lima– o cebollas para mezclar su pulpa con saliva y se lo aplican como un ungüento sobre la piel para repeler insectos, como descubrió Mary Baker, antropóloga de la Universidad de California. Por su parte, macacos japoneses o gorilas de montaña comen polvo de minerales para evitar la acidez estomacal o combatir problemas intestinales. Sin ir más lejos, determinadas arcillas son ricas en caolinita, un mineral que se usa en muchos anti-diarréicos.

Hasta los lagartos comen raíces para contrarrestar el veneno de las mordeduras de serpientes. Pero, eso sí, los remedios medicinales en el mundo animal no sólo consisten en ingerir plantas, algunos tipos de aves –como estorninos, arrendajos o tejedores– se posan en los hormigueros para que las hormigas les liberen de pará-



© Sanja

La hormiga negra se automedica cuando sabe que está infectada por hongos incluyendo en su dieta peróxido de hidrógeno.

sitos gracias al ácido fórmico que producen. Por su parte, gorriones y pinzones recogen colillas de cigarrillos para reducir las infecciones de ácaros en sus nidos. Y es que no solo los remedios los utilizan los individuos para ellos mismos, sino también para proteger a su comunidad, como ocurre con las mariposas monarcas –conocidas por su espectacular

migración anual desde Estados Unidos hasta México– y que, según una investigación llevada a cabo por biólogos de la Universidad Emory (Atlanta, EEUU), los ejemplares que están infectados por parásitos prefieren poner sus huevos en plantas con altos niveles de sustancias tóxicas precisamente para que las larvas se alimenten de ellas y funcionen a modo de vacuna.

¿Nos pueden enseñar los animales?

Los biólogos que estudian la zoofarmacognosia se centran en la actualidad en cómo el observar la conducta de los animales puede ayudar a obtener nuevos medicamentos y, por tanto, mejorar la medicina humana. Algo que ya hicieron nuestros ancestros. “Hay muchos ejemplos de medicamentos cuyo origen está en la observación de animales salvajes. En la medicina moderna, uno que destaca es el de la vernonia amygdalina, la planta medicinal que usan los chimpancés en Mahale, Tanzania, y que es el primer caso en el que se demostró claramente el valor medicinal de una planta tras tomarla un animal enfermo y recuperarse al poco tiempo”, dice el biólogo Michael Alan Huffman, quien describe que esta planta contiene una serie de compuestos bioactivos y uno, en particular, el vernodalin, que se han utilizado en humanos con buenos resultados por sus propiedades antimalaria, antitumoral y nematocida. Ya hay patentes basadas en el líquido que se extrae de esa planta y orientadas a tratar el cáncer de mama u otras formas de cáncer.

El consumo de ‘medicamentos’ por parte de los animales llega hasta al extremo de disponer de métodos para impedir el embarazo: Karen Stier, científica de la Universidad de Wisconsin (EEUU), observó hace años en la selva amazónica de Brasil que una hembra de la especie del mono muruquí cambiaba su dieta tras dar a luz e ingería hojas de *apulcia leiocarpa* y *platypodium elegans* –plantas con isoflavoides– y así resultar menos fértil, para, meses después, volver a tomar frutos de *enterolobium contortisiliquim* que, con toda probabilidad, le permiten incrementar sus posibilidades de quedar de nuevo embarazada. Parece que con la zoofarmacognosia se cumple aquello de que la naturaleza es sabia. ■

Hallados en una cueva de Lekeitio, Vizcaya, más de 50 grabados realizados durante el Paleolítico Superior

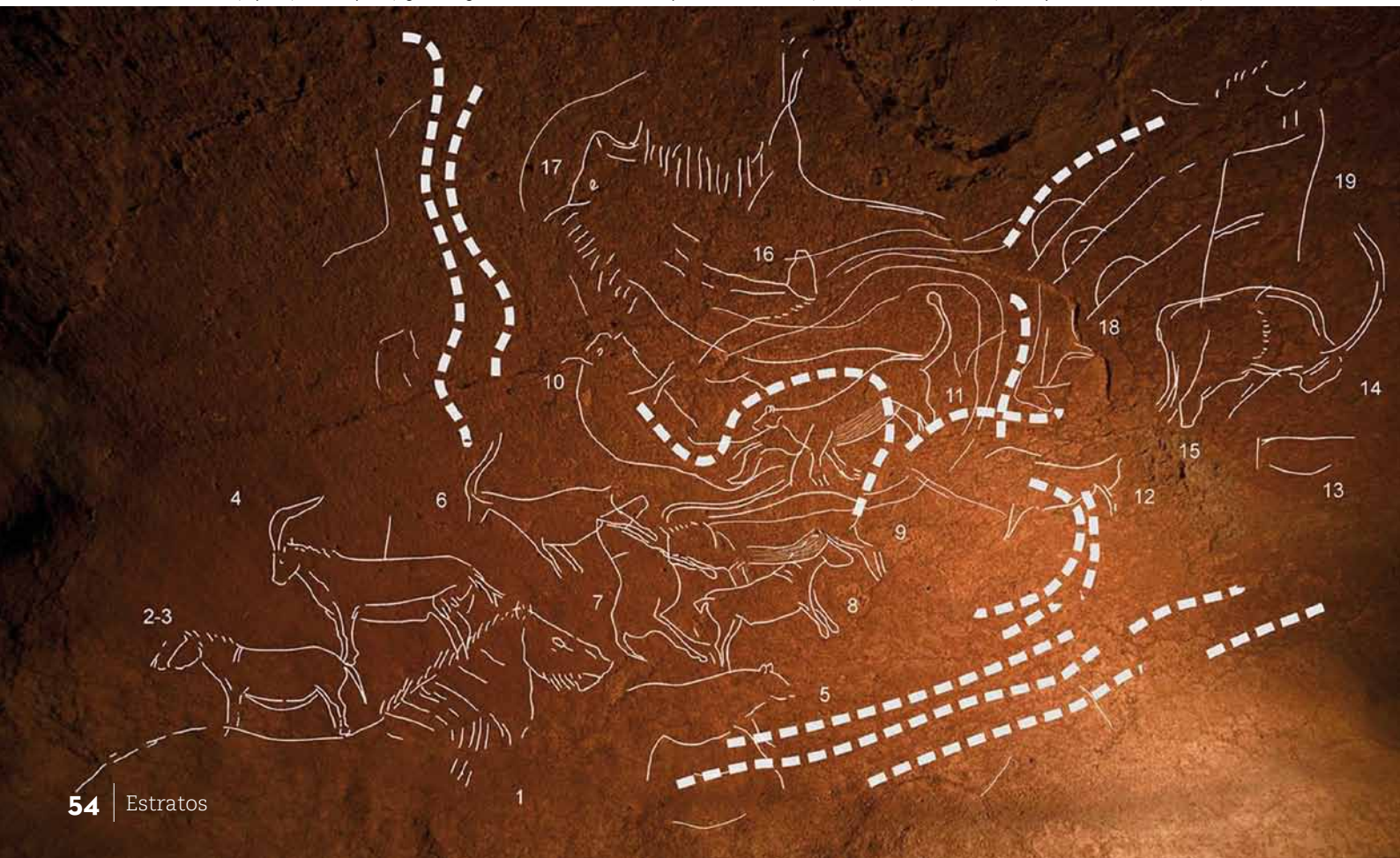
ARMINTXE, OTRA 'CAPILLA SIXTINA' DEL ARTE RUPESTRE

Un gran tesoro pictórico del Paleolítico Superior ha sido descubierto recientemente bajo una comunidad de viviendas en la localidad de Lekeitio, Vizcaya. Concretamente en la cueva de Armintxe, donde cincuenta grabados representando a animales, en su mayoría, y realizados con aparente sentido simbólico, han permanecido ocultos tras haber sido elaborados hace aproximadamente entre 12.500 y 14.000 años. Todo un gran hallazgo logrado gracias al trabajo conjunto de arqueólogos y espeleólogos, y que sitúa al País Vasco en un lugar destacado en el mapa internacional del arte rupestre.

Texto: **ELENA GARCIA QUEVEDO**

Fotos: **DIPUTACIÓN FORAL DE VIZCAYA**

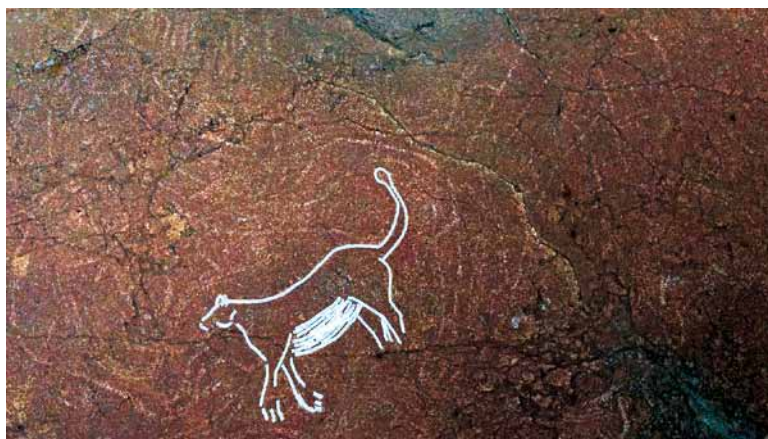
Figuras –resaltadas en la fotografía para su mejor observación– conservadas en el panel de la cueva: 1, 2, 3, 7 y 8 (caballos), 11 (león), 4, 6, 9 y 14 (caprino), 13, 18 y 19 (signos magdalenenses de semicírculos y líneas discontinuas), 10 (bisonte), 5, 11, 12 (cuadrúpedos indeterminados)



Estamos frente a uno de los hallazgos recientes más impactantes y espectaculares de la Península Ibérica”, afirma Mikel Urzueta, arqueólogo de la Diputación Foral de Vizcaya, al hablar de los grabados ancestrales encontrados en la cueva de Armintxe, situada en la localidad costera de Lekeitio. “Es impresionante y está muy bien conservado”, destaca este científico. Y no es para menos. El tiempo se detuvo en las ‘tripas’ de Lekeitio hace entre 12.500 y 14.000 años, que es tanto como el tiempo que ha pasado desde que fueron realizados los más de 50 grabados hallados por el grupo de espeleólogos vascos pertenecientes a la Asociación Deportiva Espeleológica Saguzarrak (ADES) en una de sus exploraciones a cuevas de la Comarca de Lea-Artibai o de la Comarca Cántabra.

Conocida su existencia desde tiempos inmemoriales, las cuevas de Armintxe parecían haber ‘desaparecido’ debido a la construcción de edificios de viviendas a finales del siglo XX. No obstante, los grabados magdalenienses realizados mediante una técnica de microdesconche en una superficie de aproximadamente 15 metros, permanecían como si de una Capilla Sixtina se tratase bajo una casa del barrio de Latraukua.

“Hay que descender por una escalera de varios metros de altura, deslizarse entre estrechas paredes de roca y arrastrarse entre gateras”, describe Urzueta. “Lo llamamos santuario porque está situado en la zona interior de la cueva. Se consideran estos sitios lugares de culto, pero no sabemos realmente su sentido o signifi-



Grabados –resaltados en la fotografía– de caballo, león y cabra.

cado. Quizá nunca lo sepamos”, añade el investigador.

Los grabados ancestrales de unos 50 animales se funden con la roca bajo la bóveda de 15 metros. El trazo es perfecto y está hecho a base de arrastrar el percutor y levantar la superficie con micro roturas. “El efecto es casi pictórico. Sientes perple-

jidad ante todas esas figuras distribuidas con tanta armonía sobre el techo. Está todo preparado como si dentro de unos días vinieran a pintarlo. Quien hizo esto era un completo artista. No hay error en los dibujos, que a veces tienen un solo trazo. Tampoco parece haber habido dudas en la mano que los hizo”, apostilla Urzueta.

Los grabados ancestrales de los animales que se funden con la roca bajo la bóveda de 15 metros están distribuidos de forma armoniosa. No hay error en sus dibujos y el trazo es perfecto, está hecho a base de arrastrar el percutor y levantar la superficie con micro roturas, un efecto casi pictórico

En concreto, del legado de Armintxe sobresalen un caballo y un bisonte de grandes dimensiones situados en cada extremo de la composición, como si protegieran al resto de imágenes. Hay también 18 caballos, cinco cabras y dos bisontes de menores dimensiones. Pero son los grabados de leones los que marcan una diferencia clave del valor artístico-histórico de esta cueva respecto a otras de la zona. “Los dos leones están perfectamente dibujados. Uno de ellos tiene la cola levantada. Son figuras no halladas hasta ahora en el

arte paleolítico del Cantábrico”, apunta Urzueta, para quien otro de los grandes símbolos que definen este santuario son los grabados abstractos con forma de clavo o de ‘p’: “Son signos que también se encuentran en cuevas fechadas en este periodo en el sur de Francia, pero ignoramos por completo su significado. Es admirable la labor de estos artistas del pasado, capaces de crear arte en las tripas de la tierra pese a poseer solo las herramientas más básicas. Se iluminaban con antorchas y utilizarían cuerdas para trepar”.

YACIMIENTO DE ATXURRA

El yacimiento de Armintxe no es el único ni el más sorprendente de los hallados en la zona. Apenas a cinco kilómetros ‘duermen’ los grabados milenarios del yacimiento de Atxurra, que es otro santuario de inmensa belleza. “Este es el segundo yacimiento de grabados de arte rupestre más importante de los encontrados en los últimos años, que está a la par en importancia con el primero”, comenta el científico vasco acerca de los dos yacimientos.

Para Mikel Urzueta ambos hallazgos son el resultado de un largo trabajo realizado sobre el legado que dejaron los investigadores vascos de principios del siglo XX, y también de la cooperación actual entre arqueólogos y espeleólogos, que ha hecho posible encontrar otros trece yacimientos de arte rupestre en el País Vasco en los últimos años.

“Hemos trabajado para leer de nuevo ‘el libro de la tierra’ con



Espeleólogos de la Asociación Deportiva Espeleológica Saguzarrak (ADES) observando los grabados.

técnicas de análisis nuevas. Nuestra intención fue mejorar el conocimiento del paisaje antiguo. Hemos realizado un programa de arte paleolítico con espeleólogos, que antes no podían reconocer los grabados en la pared, pero que ahora han aprendido a hacerlo. El resultado del trabajo realizado se ve ahora”, concreta el investigador.

ZONA RICA EN ARTE RUPESTRE

En cualquier caso, gracias a los últimos hallazgos el arte rupestre en el País Vasco se ha colocado en un lugar de importancia dentro del mapa nacional e internacional, cuando hace pocos años no parecía ser de relevancia. “Hemos pasado del vacío en arte rupestre a destacar, y aún queda por explorar el valle del Deva y del Nervión”, afirma Joseba Rios-Garaizar, arqueólogo del Centro Nacional de Investigación de Evolución Humana (CENIEH) –un consorcio gestionado por el Ministerio de Economía y Competitividad y la Consejería de Educación de Castilla y León para la investigación de la evolución humana en el Neógeno superior y en el Cuaternario– quien dirige las excavaciones de la cueva de Atxurra.

Rios-Garaizar forma parte de un equipo coral de investigadores que han trabajado para sacar a la luz este legado y también para interrelacionar los datos que se obtienen de los diferentes yacimientos. “El arte rupestre del País Vasco tiene que ver también con una cuestión geográfica. Estos terrenos fueron zona de paso del Continente al Cantábrico y al Valle del Ebro. En el País Vasco se ven las influencias entre el sur de Francia y la zona



Parte del panel con grabados correspondientes a los equinos de mayor tamaño.



Detalle de los grabados correspondientes a equinos y cabras.

Cántabra. Esto es muy interesante, porque se ve la movilidad y las relaciones culturales más allá de la cuestión artística. De hecho, gracias a ello sabemos que los cazadores y recolectores tenían una gran movilidad. Eran nómadas y ocupaban amplios espacios de hasta 150 kilómetros de distancia. El territorio por el que se movían era muy amplio y diversificado”, dice el arqueólogo Rios-Garaiza.

Es un hecho que el mapa del País Vasco está hoy repleto de

arte rupestre de distinta índole, pero también lo es que los científicos ignoran todavía la función que el arte jugaba en las sociedades prehistóricas. Los que fueron nuestros primeros antepasados hicieron arte al aire libre, en espacios comunes de vida cotidiana y dentro de las cuevas. “Es difícil interpretar el objetivo del arte rupestre”, añade Rios-Garaiza: “El arte tiene una carga simbólica. Es bello y sientes la responsabilidad que hay en él”. ■

Dentro del programa *Life*, la Unión Europea ha fomentado una iniciativa de ‘cultivos para la mejora de suelos’

¿ES VIABLE UNA AGRICULTURA SIN PESTICIDAS?

Mantener la fertilidad y evitar la erosión de los suelos, así como evitar el uso de productos químicos para abonar o para combatir plagas, son algunas de las metas de la agricultura ecológica. Una modalidad que aboga por un regadío no agresivo y por una gestión flexible de la tierra que contemple los cambios de ciclo, el barbecho o la rotación de los cultivos e incluya la reintroducción de cultivos tradicionales como los garbanzos y las lentejas. Todo ello, incluso en esos terrenos semiáridos de secano que tanto abundan en España, con el objetivo de que resulte rentable comercialmente.

Texto: **BÁRBARA GORDO**

Fotos: **PROGRAMA LIFE**

Las simientes que se emplean en la agricultura ecológica no están tratadas y no resultan más costosas que las usadas en la convencional.



La agricultura ecológica ya se aplica, cada vez con mayor frecuencia, en cultivos intensivos, a gran escala, y ha tenido éxito cuando se han rotado leguminosas y hortalizas. Pero a este tipo de agricultura le corresponde ahora salvar las dificultades de labrar sin irrigación para afrontar también los característicos cultivos de la agricultura extensiva de secano, no maximizando la productividad del suelo a corto plazo, mediante productos químicos o con drenajes y apoyándose en los recursos naturales.

En este sentido, demostrar que es posible desarrollar prácticas agrícolas orgánicas, sostenibles, haciendo que se incremente en proporciones similares la fertilidad del suelo y la rentabilidad del cultivo ecológico en terrenos semiáridos ha sido el objetivo del proyecto 'Cultivos para la mejora de los suelos', cofinanciado con 3,7 millones de euros por la Unión Europea y Transati, compañía española especializada en el suministro de cereales, semillas y legumbres ecológicas.

Se trata de una iniciativa que está englobada dentro del programa Life, gestionado en España por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; y destinado a favorecer soluciones y prácticas respetuosas con el medio ambiente así como a la promoción de tecnologías que busquen ese objetivo. En este caso, se busca, entre otros objetivos, frenar la degradación de suelo que se produce cuando el riego erosiona el terreno –y por tanto hacerlo más productivo– mediante la rotación de cultivos.



Agricultores trabajando en uno de los campos ecológicos que han formado parte de 'Cultivos para la mejora de los suelos'.

“Al trabajar en agricultura sobre una primera capa de la tierra, la siguiente se está convirtiendo en una especie de ladrillo a la que le cuesta mojarse más. Por eso hay problemas de erosión. Y cuanto más duro el terreno, menos productivo”, explica Juan Pablo del Monte Díaz, ingeniero agrónomo y profesor en la Universidad Politécnica de Madrid.

EN QUÉ HA CONSISTIDO

El proyecto 'Cultivos para la mejora de los suelos', puesto en marcha en 2011, y en el que han participado agricultores voluntarios de Castilla-La Mancha, Aragón, Castilla y León y Cataluña aportando 400 hectáreas para llevar a cabo la investigación, ha demostrado que es viable sustituir el empleo de productos químicos sintéticos (pesticidas y herbicidas) por los trabajos mecánicos y métodos 'de antaño' que recuperan la agricultura ecológica. Especialistas de la Universidad Politécnica de Madrid han sido los encargados de analizar tanto los suelos como los cultivos. De este modo se abre una vía significativa para el impulso de cultivos sin pesticidas en un país como España, con grandes extensiones de terrenos semiáridos, con suelos pobres y vulnerables, así como tierras

abandonadas o ya fuertemente erosionadas.

En cualquier caso, no se trata de comenzar una batalla entre la agricultura convencional y la ecológica respecto a lo saludables o no que pueden resultar para el ser humano los alimentos de ambos tipos de cultivos. Las composiciones químicas que se emplean en la agricultura extensiva para combatir las plagas en los campos están reguladas y testadas. “Si algún alimento afecta a la salud humana es porque los productos químicos usados en su cultivo no se han sabido manejar correctamente o porque mientras se han empleado no se tenía constancia científica de que tenían unos efectos negativos”, explica del Monte.

MÉTODOS ECOLÓGICOS

¿Viejos usos para nuevos cultivos? Casi se podría decir que así se sintetiza la filosofía de los cultivos ecológicos. Las diferentes técnicas de manejo de la tierra, junto con la eliminación de pesticidas, son las que marcan en gran medida la diferencia entre los distintos tipos de agricultura. “De lo que se trata es de cambiar ciclos y periodos, de gestionar bien el suelo, de moverlo, de manejarlo en franjas y con arado en

El proyecto ‘Cultivos para la mejora de los suelos’ ha demostrado que es viable sustituir el empleo que en abonos y tratamientos hace la agricultura convencional de productos químicos sintéticos por una serie de trabajos mecánicos y métodos ‘de antaño’

púas, de mantenerlo en barbecho o incorporando diversos cultivos. Con una rotación de, por ejemplo, siete años, puede evitarse el problema de la aparición de las malas hierbas en determinadas situaciones. Es necesario evitar que arraiguen esas hierbas antes de que acaben convirtiéndose en plagas y compitan con el cultivo por el agua o los nutrientes, o, al menos, reducir su efecto a la mínima expresión. Si el agricultor no puede poner nitratos, entonces que use una leguminosa que surta un efecto similar. Hay

que buscar algún sustitutivo a eso que no se puede emplear”, comenta el ingeniero agrónomo.

Muchos agricultores pueden pensar que el sistema ecológico es más trabajoso que el convencional, donde basta con comprar el herbicida adecuado y extenderlo en el terreno, pero no radica ahí la diferencia y sí en que hay que dedicar más tiempo a vigilarlo: “El agricultor ecológico siempre tiene que estar atento al sistema, debe saber en todo momento qué le falta, cuándo y cómo usarlo,

para mantenerlo en buenas condiciones, pero esa atención que debe prestar no es exclusiva del agricultor ecológico. En cualquier otra actividad en la que el ser humano modifica un escenario debe controlar todos los efectos que tienen sus acciones sobre éste”, asegura del Monte.

Pasarse a la agricultura ecológica no requiere ni más ni mayor inversión, al agricultor le sirven su clásico tractor y sus herramientas tradicionales. Ni son más costosas las semillas que debe emplear, sólo necesita asegurarse de que éstas no están tratadas. Como ocurre también en la agricultura convencional, en la ecológica el agricultor tiene que calcular el beneficio que le queda de lo cultivado, restando el porcentaje que corresponde al transportista o al distribuidor, y sopesar si necesita producir más cantidades para que le resulte rentable. Lo fundamental, para del Monte, es decantarse por un cultivo de calidad y pensado para



Momento en el que se verifica la calidad de la raíz del cultivo.

consumo humano, no obsecarse en determinados cultivos, como es el caso de los cereales, que al final deben destinarse para alimentar a animales.

¿HAY MERCADO?

En Alemania se calcula que hay un incremento anual del 10% en el consumo de productos ecológicos, sobre todo porque sus ciudadanos, y por tanto los consumidores, están muy sensibilizados e interesados en comprarlos. Optar



Para los análisis se emplearon un rhoc, que mide la densidad total aparente del suelo, y un penetrómetro, que determina la profundidad de las raíces del suelo.

En defensa de suelos más fértiles

El reduccionismo de los monocultivos y un manejo inadecuado de las tierras agrícolas ha ocasionado que se haya incrementado el número de suelos pobres, secos y poco productivos. Terrenos cuya composición química y biológica ha cambiado y ha favorecido que los suelos no resulten fértiles. Restaurar esa composición para que vuelvan a ser productivos en el futuro es una de las prioridades de proyectos como 'Cultivos para mejorar los suelos'. Iniciativas que apuestan por soluciones que no requieran de riego y fomenten la rotación entre leguminosas, oleaginosas y cereales, de modo que sea posible frenar la degradación del suelo en áreas donde se han aplicado prácticas agrícolas erosivas, en áreas semiáridas con suelos pobres y vulnerables, y en tierras agrícolas abandonadas.

en España por la agricultura ecológica requiere elaborar un estudio de mercado previo, analizar la competencia en otros países y, por ejemplo, centrarse en cultivos que, por cuestiones climáticas, no resultan viables en otras zonas de Europa. Esa es la vía que permite acceder con ciertas garantías al mercado de productos ecológicos.

En el proyecto 'Cultivos para mejorar los suelos', se determinó que, tanto para mejorar la calidad del suelo como para crear nuevos nichos de mercado, se deberían reintroducir cinco cultivos tradicionales, entre ellos las lentejas, los garbanzos, y el trigo, duro o blando. "Es lógico, porque, incluso sin entrar ya en cuestiones medioambientales, no se comprende que en las grandes superficies comerciales de España todas las legumbres que se venden provengan de otros países de Europa o de Estados Unidos, cuando en España han sido cultivos tradicionales. Es importante fortalecer los cultivos propios del país, por razones medioambientales que permitan

disminuir la contaminación que supone el transporte del producto y, también, por evitar la desruralización y todo lo de negativo que ello conlleva", afirma del Monte.

Por último, el agricultor debe tener en cuenta que han de pasar tres años desde el momento que comienza con esta modalidad agrícola sostenible hasta que el producto que obtenga se considere ecológico, ya que es la fórmula que garantiza que el terreno cultivado ya no pueda tener antiguas trazas de productos químicos. Y, ya en ese punto, tendrá que obtener las certificaciones correspondientes con el costo que ello supone.

El agricultor tiene dos opciones para pasarse a la agricultura ecológica: hacerlo directamente o de forma gradual dedicando solo una parte de sus hectáreas para así sopesar pros y contras. Unas ventajas o trabas que son todavía las que condicionan dar el paso y apostar por los métodos biológicos y mecánicos o mantenerse en el uso de productos sintetizados. ■



Pigmentos de dióxido de titanio (TiO₂), un mineral que en contacto con la luz solar es capaz de reducir los gases contaminantes existentes en el aire.

La fotocatalisis está llamada a ser una tecnología fundamental del urbanismo para reducir la polución en las ciudades

IMITANDO A LA NATURALEZA

Si las plantas al entrar en contacto con el sol absorben CO₂ y producen oxígeno, lo que se conoce como fotosíntesis, por qué no fabricar materiales de construcción o elementos mobiliarios que lleven a cabo una función similar. La fotocatalisis lo permite. Sólo hay que recubrirlos con una capa de un mineral seguro, como el titanio, que al entrar en contacto con la luz inicia un proceso de oxidación que captura los óxidos, dióxidos u otros contaminantes que se encuentran en la atmósfera y los transforma en materia orgánica molecular inocua, como por ejemplo vapor de agua.

Texto: **PURA C. ROY**

La contaminación en las ciudades debido a la polución atmosférica es un fenómeno que supone graves riesgos para el medio ambiente y la salud de las personas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la contaminación urbana del aire ocasiona al año más de ocho millones de muertes en todo el mundo. Pero ésta puede minimizarse con la fotocatalisis, un proceso natural, que se conoce desde los años setenta y que es muy similar a la fotosíntesis de las plantas. Un mineral seguro y común, generalmente titanio o TiO_2 , recibe los rayos de luz ultravioleta que hacen desencadenar un proceso químico de oxidación seguro e instantáneo y lo convierten en materia orgánica, como vapor de agua y sales, elementos inocuos para las personas. Los expertos en este campo aseguran que el efecto descontaminador es, si se aplica sobre un metro cuadrado de superficie, equivalente al efecto purificador de un árbol durante cinco años.

“La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación

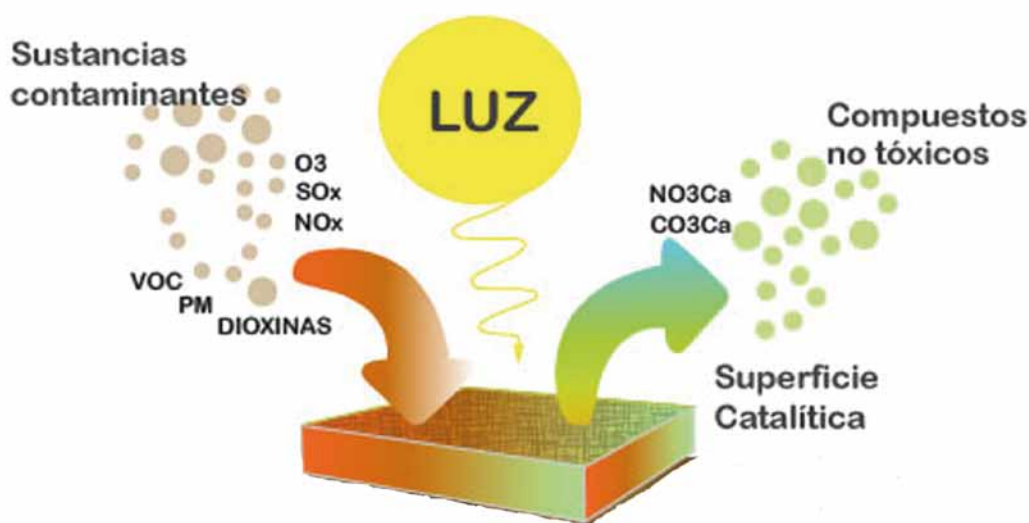
de la propia naturaleza. Al igual que la fotosíntesis, y gracias a la luz solar, es capaz de eliminar CO_2 para generar materia orgánica. La fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son los óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de azufre (SO_x), y compuestos orgánicos volátiles (COVs), mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar, gracias a un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. De esta forma se promueve la eliminación de la mayor parte de los contaminantes en las ciudades”, explica Santiago V. Luis, catedrático de Química Orgánica e Inorgánica de la Universidad Jaume I de Castellón. Es decir, el contaminante se absorbe en la superficie del material y el compuesto inerte generado es eliminado de la superficie del material generalmente por efecto de la lluvia.

DEL ESPACIO A LA TIERRA

La NASA fue pionera en el desarrollo de tecnologías fotocatalíticas como un medio para el

mantenimiento y limpieza de módulos espaciales. El organismo espacial estadounidense estudió los beneficios de la fotocatalisis para la purificación del agua, el aire y las cámaras de crecimiento de plantas. Este sistema permite mantener las superficies no sólo limpias, sino también crear ambientes potencialmente libres de gérmenes. Como purificador de aire, se utiliza ahora en la preservación de los productos desinfectantes y en las salas de operaciones o salas blancas.

Con el sistema fotocatalítico es posible elaborar una amplia gama de materiales de construcción, tales como adoquines, pavimentos, cerámicas, tejas, cubiertas o cementos. La Asociación Ibérica de Fotocatalisis (AIF) promueve su uso en las grandes ciudades a través de un concepto innovador llamado ‘islas fotocatalíticas’, que consiste en elegir zonas urbanas claves donde usar estos materiales así como para la construcción de nuevas viviendas. Los ensayos de laboratorio indican que una de estas ‘islas fotocatalíticas’ sería capaz de eliminar hasta 300 kg. de NO_x anuales (óxidos de nitrógeno), es decir, ‘limpiar’ 8.000 millones



© Soluciones Espec.

Proceso esquemático de la fotocatalisis

En una calle de Valencia en la que se han empleado baldosas anticontaminación se ha logrado reducir un 72% el monóxido de nitrógeno y casi un 30% el dióxido de nitrógeno

de m³ de aire, lo que equivaldría a eliminar la contaminación que generan unos 80.000 vehículos.

Estas sustancias fotocatalíticas ya han sido usadas en los pavimentos urbanos de distintas ciudades españolas como prueba piloto de cara a comprobar su eficacia. Por ejemplo, las baldosas anticontaminación empleadas en las aceras de algunas calles de Valencia –gracias a una iniciativa de la Fundación Inndea, una entidad promovida por el Ayuntamiento de Valencia para apoyar e incentivar el desarrollo de la ciudad mediante la innovación– han permitido reducir el 72% del monóxido de nitrógeno en una zona del centro de la ciu-

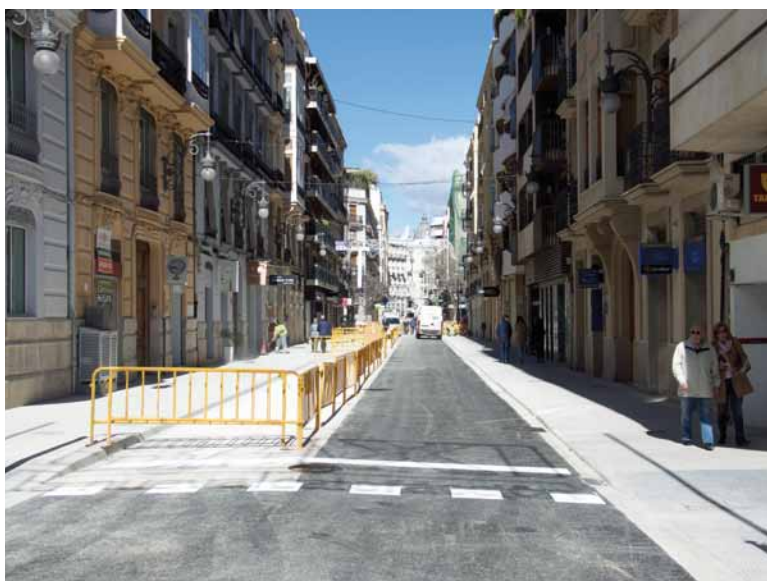
dad, mientras que el dióxido de nitrógeno se ha reducido casi un 30%, según datos de la agencia pública Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC).

Por otra parte, en el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) –centro instaurado gracias al convenio entre la Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AIEC) y la Universidad Jaume I de Castellón– investigan para que las compañías cerámicas se adapten a los objetivos marcados por la Unión Europea para orientar su actividad empresarial hacia una economía hipocarbónica. Por ello, promueven el uso de materiales descontaminantes y autolimpiables en la cerámica a través de la

fotocatálisis, ya que, si se aplican a una calzada de 1,5 km de longitud, esto equivaldría a plantar árboles en una superficie equivalente a dos estadios de fútbol. Este producto se extiende directamente sobre el pavimento y, para que su carácter anticontaminante permanezca, debe aplicarse de forma regular.

Un equipo del Instituto Eduardo Torroja, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha conseguido demostrar en pruebas de laboratorio que la fotocatalisis también puede acabar con elementos alérgicos. Como el polen es muy complicado de eliminar, debido a que su capa externa es muy resistente, prácticamente solo se puede desintegrar por oxidación. De este modo, el material oxidante se inyectaría en el hormigón y se construirían edificios con la fachada a prueba de virus y polen. El Ayuntamiento de Madrid, por ejemplo, ha diseñado toda una calle, en el distrito de Villaverde, con pavimento fotocatalítico. Se trata del proyecto Life para reducir la contaminación, una iniciativa en la que el Instituto Eduardo Torroja se está ocupando de las mediciones, con el objeto de comprobar si, efectivamente, se reduce la contaminación hasta niveles significativos. Si supera esta fase de ensayo, el material fotocatalítico se aplicará también en edificios y en mobiliario urbano, en formato de spray o pintura para que su aplicación resulte más fácil y rápida.

Los edificios también pueden ser aliados para conseguir una ciudad más limpia. Para que sea así, es tan sencillo como pintar una fachada o, incluso, las paredes interiores de los inmuebles. Un edificio considerado 100% fotocatalítico podría eliminar casi el



Proyecto en la calle Félix Pizcueta, de Valencia, para la pavimentación con cementos fotocatalíticos

89% de las partículas de NOx de su entorno. Y el coste básico de dichos materiales es tan solo un 5-10 % mayor que los convencionales. En la Gran Vía madrileña ya hay inmuebles revestidos con pintura fotocatalítica, gracias a lo cual su exterior permanece limpio más años. La AIF califica este proceso como 'la fotosíntesis de las superficies urbanas'.

ELIMINAR ELEMENTOS NOCIVOS

Hace menos de tres años, un consorcio de 18 empresas europeas puso en marcha el proyecto Osirys, que lidera el Centro de Investigación Aplicada de Tecnalia, organismo internacional centrado en el fomento del desarrollo económico y social a través del uso y el impulso de la innovación. Este proyecto busca eliminar elementos nocivos del aire, mejorar la calidad del aire y lograr un 25% de ahorro energético. Tras superar las pruebas de laboratorio, se van a implantar productos fotocatalíticos en dos

Depuración del agua

Otro potencial uso de la fotocatalisis es el utilizado en la oxidación de materia orgánica presente en aguas contaminadas (POA, o Procesos de oxidación avanzada), donde se emplean oxidantes tales como agua oxigenada u ozono, luz ultravioleta y dióxido de titanio como catalizador. Entre los POAs, la Reacción de Fenton se ha utilizado ampliamente para la oxidación de muchos compuestos orgánicos, y puede emplearse eficazmente para el tratamiento de micro-contaminantes, como los productos farmacéuticos. Asimismo, el proceso puede mejorarse al irradiar luz con una longitud de onda entre 300 y 650 nm, lo que se conoce como proceso foto-Fenton. La luz ultravioleta/visible mejora la eficiencia del proceso produciendo más radicales hidroxilo y permitiendo la regeneración del catalizador.

edificios de nueva construcción, uno en San Sebastián dedicado a vivienda habitual y el otro en Tartu (Estonia) para uso deportivo. Se estima que una fachada de 1.000 metros cuadrados podría equivaler a todo un bosque de 1.000 árboles purificando el ambiente.

Los productos fotocatalíticos, generalmente pintura, no sólo se fabrican para constructoras o compañías de mobiliario, los particulares también los pueden adquirir en el mercado para sus propias viviendas. Este tipo de pintura contiene una sustancia química acuosa y transparente que convierte los toldos, persianas, estores o celosías en elementos purificadores. Incluso, si en la vivien-

da habitan inquilinos fumadores, es posible reducir en apenas 20 minutos la cantidad de nicotina en el aire en un 84%. Por esta razón, ha sido reconocido por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) como producto apropiado para aplicar en entornos donde vivan niños con enfermedades respiratorias y como una solución idónea para hospitales, colegios, hoteles y restaurantes. "Cuanta más radiación solar, más eficaz y rápido es el proceso. En interiores, se puede acelerar mediante lámparas de luz ultravioleta", explica Santiago V. Luis, quien recomienda que sea un especialista el que confirme si los productos fotocatalíticos que se quieren emplear son viables en cada caso, ya que no son eficaces en cualquier superficie: "Aunque los árboles transforman mejor el CO₂, estas sustancias serán cada vez más utilizadas y manifestarán mejor sus propiedades al utilizarlas en grandes superficies".

El prototipo de ciudad fotocatalítica ya está en marcha. París abrió hace unos meses un concurso público para que estudios de arquitectura presentasen proyectos con los que impulsar la ciudad hacia el futuro. Entre ellos destaca Paris Smart City 2050, del arquitecto Vincent Callebaut. Denominado, que incorpora los *antismog towers*, rascacielos contruidos con materiales que filtran y reducen la contaminación. ■



© Persax

Gracias a una sustancia química acuosa y transparente es posible convertir los toldos, persianas, estores o celosías en elementos purificadores.

HALLADOS MÁS DE MIL AGUJEROS NEGROS EN UNA IMAGEN DE RAYOS X



Agujeros negros en la constelación de Fornax.

© NASA

El telescopio Chandra, puesto en el espacio por la NASA en 1999 para estudiar los fenómenos energéticos del universo en rayos X, ha obtenido una imagen ultraprofunda –con una exposición de 7 millones de segundos, unas 12 semanas– de una parte del cielo de Fornax tras apuntar 102 veces a dicha constelación. Esta imagen –conocida como el Campo Profundo de Chandra– es la más profunda de las obtenidas en la historia de la astronomía

de rayos X gracias a esa exposición tan prolongada y en ella se han detectado más de mil fuentes emitiendo fotones de rayos X provenientes de agujeros negros supermasivos. La información que aporta de la distribución espectral de la energía emitida por cada fuente es fundamental para conocer la evolución de estos agujeros en el universo temprano, cuando estaban creciendo. ■

UN MICROORGANISMO DEL INTESTINO CONDICIONA EL NIVEL DE SEROTONINA

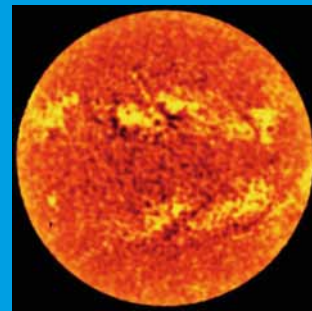


Imagen microscópica de una bacteria en el intestino.

© NIAD

La activación de TLR2, el elemento que reconoce los cambios en la cantidad y calidad de la flora intestinal, condiciona el nivel de serotonina (neurotransmisor relacionado con los estados de ánimo o la inflamación intestinal) del que el cuerpo humano puede disponer. Este descubrimiento, realizado por investigadores de la Universidad de Zaragoza y de Exter (Inglaterra) y respaldado por la Fundación

para el Estudio de Enfermedades Inflamatorias Intestinales en Aragón y el Ministerio de Ciencia e Innovación, permite comprender mejor la conexión entre el intestino y el cerebro a través de la microbiota y por tanto cómo determinadas bacterias intestinales pueden afectar a la salud o dar origen a enfermedades como el Parkinson. ■



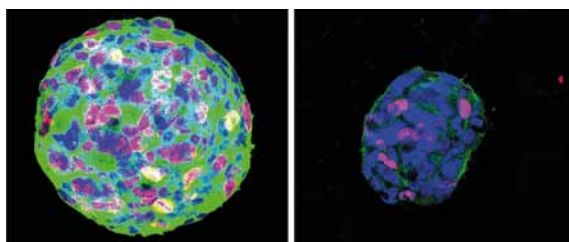
© ALMA

El Sol, captado por el telescopio ALMA

LAS MANCHAS SOLARES TIENEN TEMPERATURA MÁS BAJA QUE EL RESTO DEL SOL

Determinar que la temperatura es más baja en los fenómenos transitorios conocidos como manchas solares y que se producen allí donde la actividad magnética es intensa ha sido posible con las imágenes captadas por el radiotelescopio Alma, ubicado en el desierto de Atacama (Chile) y que está diseñado para que pueda estudiar el Sol sin que su intensidad de luz y calor lo dañen. Analizar el espectro electromagnético completo del Sol, no sólo lo que se conoce de él en la luz visible, resulta vital para entender el comportamiento de la estrella, de su superficie dinámica y de su atmósfera energética. ■

IDENTIFICADA UNA PROTEÍNA CLAVE EN LA PROGRESIÓN DE LOS TUMORES



Células con alta proteína WIP (izqda.) y con baja (dcha.).

© WIP/CBMSC

La proteína WIP es un regulador de la actina, elemento del esqueleto celular esencial para la

formación, proliferación, adhesión y migración de las células. Recientemente, investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) han identificado el papel esencial que desempeña esta proteína al alterar el crecimiento y la invasividad de las células iniciadoras de tumores. Gracias al estudio del CSIC, será posible proponer nuevas dianas terapéuticas para el tratamiento de tumores altamente invasivos como los gliomas, un tipo de tumor que se produce en el cerebro y en la médula espinal. ■