



Entrevista con Manuel Aguilar, físico: "España no acaba de ser un socio fiable en ciencia"



Medio ambiente: los Juegos Olímpicos de Londres buscan el oro en sostenibilidad

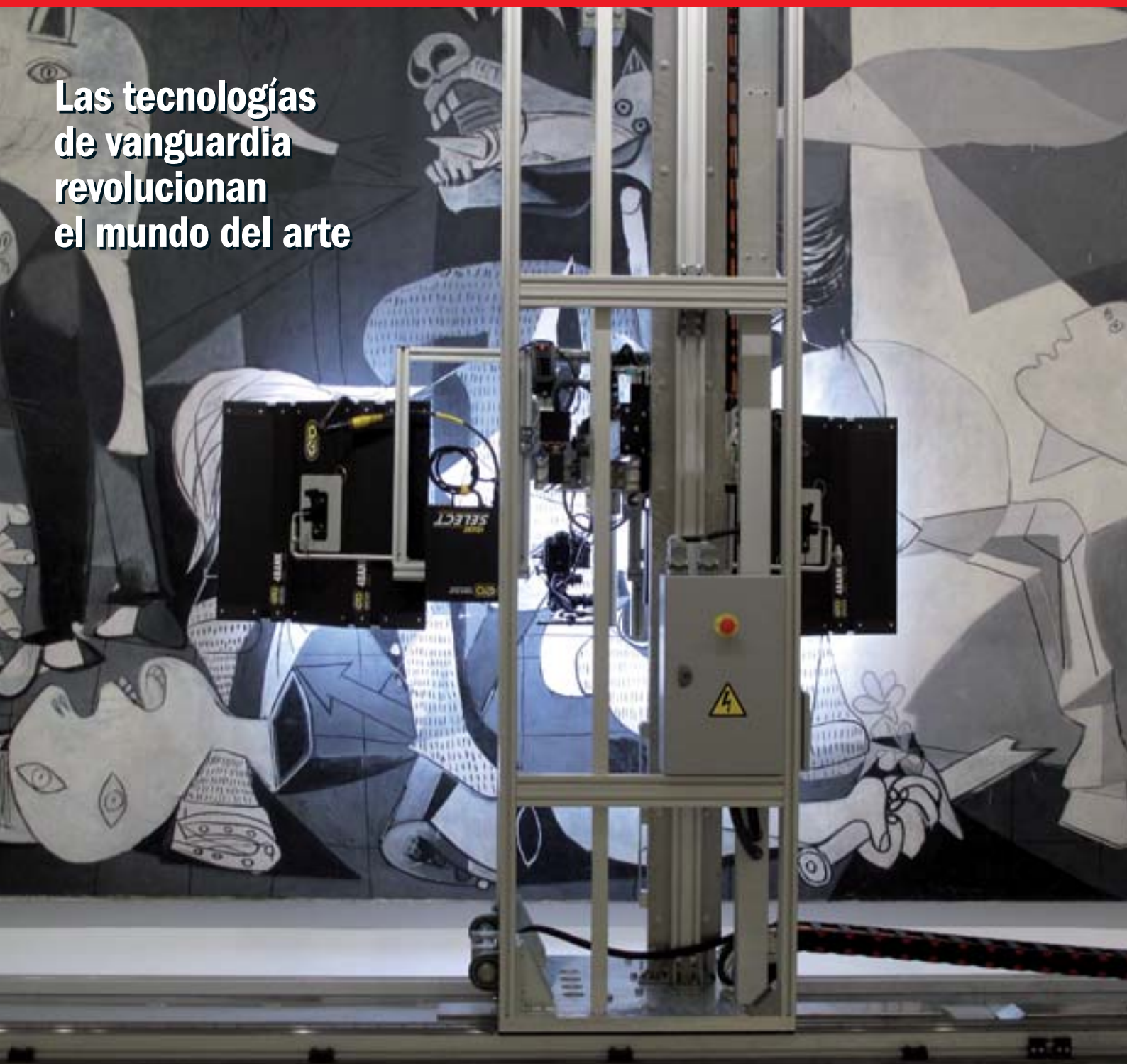


Caracterización: Enresa desarrolla un proyecto de I+D para detectar isótopos de difícil medida

estratos

**Empresa Nacional de Residuos Radiactivos
N.º 102
Primavera 2012**

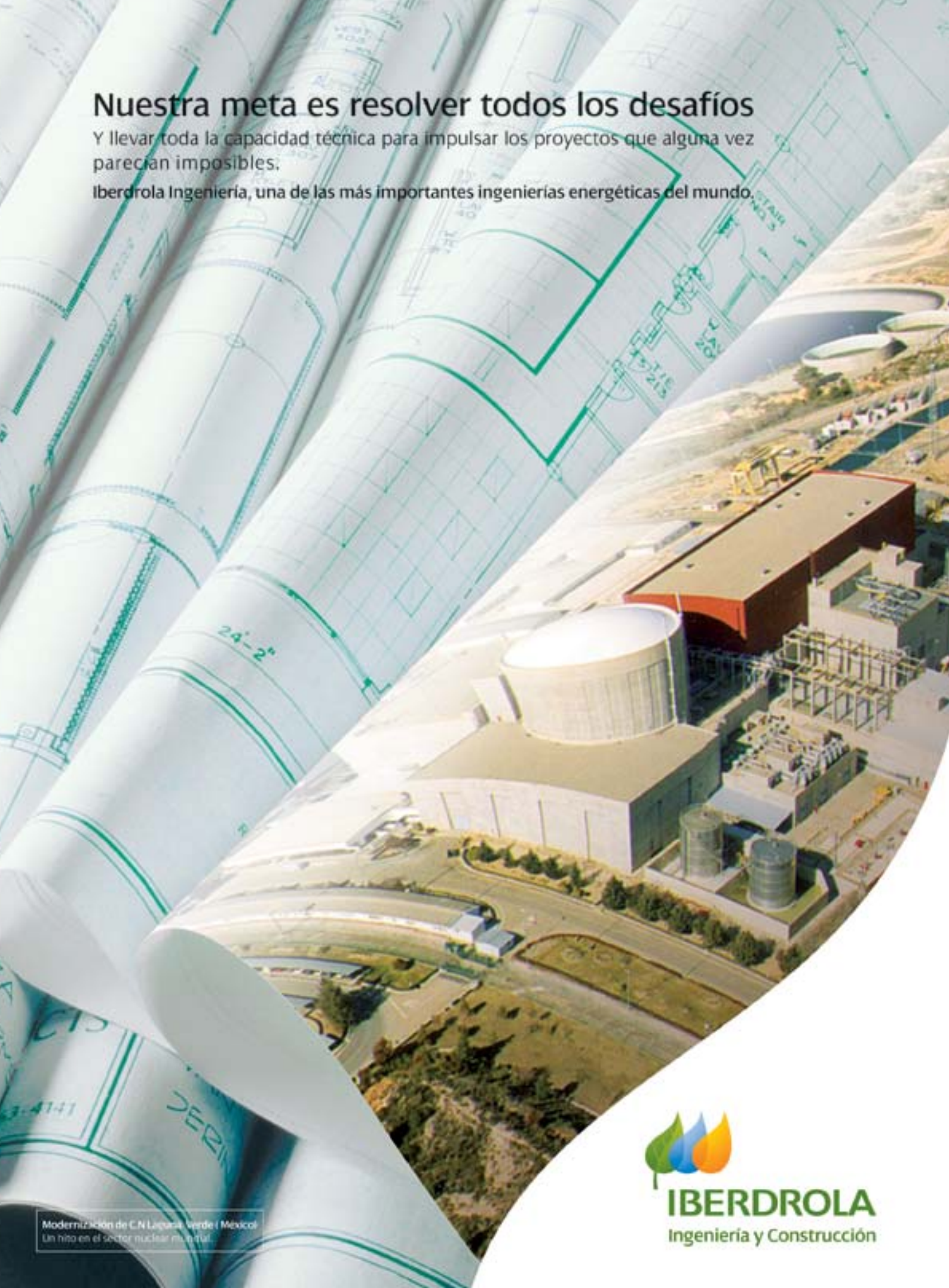
Las tecnologías de vanguardia revolucionan el mundo del arte



Nuestra meta es resolver todos los desafíos

Y llevar toda la capacidad técnica para impulsar los proyectos que alguna vez parecían imposibles.

Iberdrola Ingeniería, una de las más importantes ingenierías energéticas del mundo.



Modernización de C.N. Laguna Verde (México)
Un hito en el sector nuclear mundial.



IBERDROLA
Ingeniería y Construcción

De oyentes a asesores



LA ACTIVIDAD INTERNACIONAL DE Enresa se inició poco después de su creación a finales de los años ochenta. Inicialmente estaba dirigida a adquirir unos conocimientos que formaran y pusieran al día a sus técnicos, en un terreno en el que otros países se encontraban más adelantados. La experiencia acumulada en los más de veinticinco años transcurridos ha hecho que el papel de nuestra compañía haya evolucionado, adquiriendo cada vez mayor protagonismo en la escena exterior y consolidando esta seña de identidad como una de sus características primordiales, además de decisiva para el cumplimiento de sus cometidos como empresa.

El núcleo esencial de las actividades internacionales de Enresa lo constituye la participación institucional en los organismos internacionales más relevantes en la gestión de residuos radiactivos: comités y grupos de trabajo de la Unión Europea (UE), la Agencia de la Energía Nuclear (AEN/OCDE) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Estas relaciones, que se desarrollan bajo la figura de la cooperación, son la garantía de acceso a la transferencia de conocimientos y de una presencia institucional en diversos ámbitos supranacionales.

El núcleo esencial de las actividades internacionales de Enresa lo constituye la participación institucional en los organismos internacionales más relevantes en la gestión de residuos radiactivos: comités y grupos de trabajo de la Unión Europea (UE), la Agencia de la Energía Nuclear (AEN/OCDE) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Estas relaciones, que se desarrollan bajo la figura de la cooperación, son la garantía de acceso a la transferencia de conocimientos y de una presencia institucional en diversos ámbitos supranacionales.

A esta labor en organismos internacionales se une la red de contactos que la empresa ha establecido con agencias y organizaciones extranjeras, cuyas responsabilidades en sus respectivos países son similares en los campos de la gestión de residuos radiactivos y clausura de instalaciones. Se trata de relaciones que se articulan a través de acuerdos de colaboración y asistencia mutua. En este apartado, hay que destacar el papel que Enresa ha obtenido como referente internacional en las áreas de gestión de residuos de baja y media actividad y de desmantelamiento de instalaciones nucleares. Los desarrollos en El Cabril (Córdoba) y los trabajos realizados en su momento en la central nuclear Vandellós I (Tarragona), junto a los que actualmente se llevan a cabo en la central nuclear José Cabrera (Guadalajara), son seguidos con atención en todo el mundo y des-

piertan el interés de expertos de todos los países, por ser España uno de los primeros en abordar con éxito proyectos de esta envergadura.

La actividad exterior de Enresa se desenvuelve también en el ámbito de la asistencia técnica, en materia nuclear, a países en desarrollo. Un campo de gran interés para España, dado que estas actividades de asesoría generan retornos económicos.

En ese entorno se enmarcan las actividades del consorcio financiado por la Comisión Europea (CE), que Enresa liderará en los próximos meses para asesorar al Gobierno mexicano en materia de gestión de residuos radiactivos y que contará con la participación de las agencias responsables de la gestión de residuos radiactivos de Holanda y Bélgica, así como de diversas ingenierías españolas. El objetivo de esta iniciativa es apoyar a las autoridades de México en el desarrollo de una estrategia destinada a la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad, un proyecto que ya está en marcha.

En la actualidad, Enresa participa también en otro consorcio, promovido por el Banco Europeo para la Reconstrucción y Desarrollo (BERD), que tiene como objeto preparar el diseño técnico y el informe preliminar de seguridad para una instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad en Bulgaria.

La presencia internacional de nuestra empresa, y el prestigio indiscutible de sus técnicos, constituyen la recompensa al enorme esfuerzo que Enresa tuvo que hacer en su momento para ponerse al día en materia de tecnologías y desarrollos que, por aquel entonces, parecían muy alejados de sus capacidades actuales. ■

José Alejandro Pina
Presidente de ENRESA

estratos

Nº 102 PRIMAVERA 2012

26

El bosque sumergido

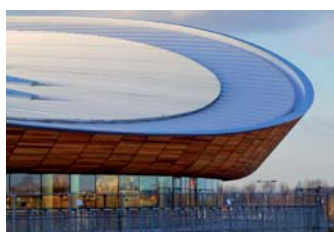
José María Montero



36

Londres busca el oro en sostenibilidad

Maruxa Ruiz del Árbol



51

Vitoria, sostenible y humana

Belén Tobalina



31

Mecanismos de toma de decisiones en los países de la OCDE para el emplazamiento de instalaciones de residuos radiactivos (y III)

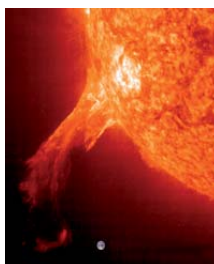
Mariano Molina



42

Cuando el Sol 'se acatarra'

Manuel Toharia



56

'Gure Izar' o cómo surcar los mares en silla de ruedas

Jesús Vicenti

4 Actualidad

60 ATyC
A tenedor y cuchara

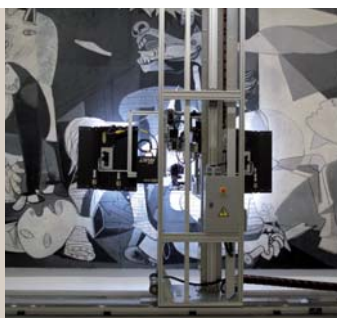
62 Libros

64 Una imagen, cien palabras

46

La saga de los cristales

Pablo Francescutti



Automatismo robotizado instalado frente al *Guernica* para su estudio (Departamento de Restauración, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía)

Presidente: José Alejandro Pina.
Consejo Editorial: José Alejandro Pina, Ester Gómez, Arturo González, Alejandro Rodríguez, Álvaro Rodríguez Beceiro, Armando Vezanzones, Máximo Taranilla, Manuel Toharia y José Pons.
Director: Máximo Taranilla.
Redactor jefe: Jorge Fernández.
Seguimiento: Teresa Palacio.

Redactores y colaboradores: Leticia Arenas, Julio Astudillo, Concha Barriós, Ignacio F. Bayo, Ángel Díaz, Pablo Francescutti, Emilio García, Luis Guijarro, Emilio Jarillo, Cristina López-Quero, Roberto Loya, Mariano Molina, José María Montero, Manuel Muñoz, Arantza Prádanos, Nuria Prieto, Maruxa Ruiz del Árbol, Mónica Salomone, Belén Tobalina y Jesús Vicenti.

9

I+D para detectar isótopos de difícil medida

Enresa y el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) de Sevilla trabajan conjuntamente en un proyecto de investigación que mejorará la seguridad de los centros de almacenamiento de residuos radiactivos. Se trata de detectar isótopos difíciles de medir con las técnicas aplicadas hasta ahora.

R & D to detect difficult to measure isotopes (page 10)

Texto: J. M. López, E. Chamizo, J. M. Gómez, J. I. Peruchena, I. Ortega, M. C. Jiménez y J. L. Leganés



CNA

I6

“España no acaba de ser un socio fiable en ciencia”

El físico Manuel Aguilar dirige el Departamento de Investigación Básica del Ciemat. Además de ser el científico español más citado, es el responsable de la participación de este organismo en el experimento AMS del CERN, el más importante de la historia en la búsqueda de antimateria y “materia oscura” en el Universo. Aguilar se lamenta de que los recortes puedan afectar a la reputación de nuestro país en el panorama científico internacional.

Texto: Concha Barrigós



JORGE FERNÁNDEZ

20

‘CSI’: se investiga cuadro famoso

Leonardos perdidos que salen a la luz, copias menospreciadas ascendidas a primera división, *goyas* y *van goghs* con sorpresa, viajes en 3D por el interior de cuadros emblemáticos... Algo bulle en las grandes pinacotecas y en los cenáculos del arte con mayúsculas, gracias a los hallazgos propiciados por el uso de sofisticadas tecnologías de última generación, que muestran a los expertos y al público lo que el ojo no ve. Quién sabe si semejantes avances no conseguirán reescribir más de un capítulo de la Historia del Arte.

Texto: Arantza Prádanos



MUSEO DEL PRADO

Edita: Enresa, Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.

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

Correo electrónico: registro@enresa.es

Página web: www.enresa.es

Administración: Nieves Sánchez.

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

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

Diseño y maquetación: CerezoDiseño. Genil, 4. 28002 Madrid. Tel.: 91 561 65 14.

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

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

Depósito Legal: M-7 411-1986.

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

Presentación de los datos de operación de 2011

El Cabril, al 65,9% de su capacidad para residuos de baja y media actividad

El almacén centralizado de El Cabril (Córdoba) recibió durante el pasado año 1.956,55 metros cúbicos de residuos: 684,43 de baja y media actividad y 1.272,12 de muy baja actividad. Con estas cantidades, el centro se encuentra al 65,9% de su capacidad para residuos radiactivos de baja y media actividad, y al 9,9% en la primera estructura de almacenamiento de residuos de muy baja actividad. Estos datos operativos de la instalación fueron presentados el pasado 22 de marzo por la directora del almacén, Eva Noguero, en el marco de la V Jornada de Comunicación al Aire Libre de El Cabril. En el transcurso de la misma, más de medio centenar de periodistas, directivos de medios de comunicación cordobeses, empresarios, alcaldes y ediles de las poblaciones del entorno, así como representantes de diversos colectivos sociales, tuvieron la oportunidad, un año más, de conocer de cerca el funcionamiento del centro, que este año cumple dos décadas de operación.

Los residuos recibidos en 2011 llegaron a la instalación cordobesa a través de 241 expediciones, que transportaron 1.859,02 me-

tros cúbicos provenientes de instalaciones nucleares, y 97,53 metros cúbicos procedentes de instalaciones radiactivas.

Por otro lado, las actividades llevadas a cabo en el periodo considerado han generado 287 empleos directos, a los que hay que

añadir un centenar de empleos indirectos. Los trabajadores proceden en su mayoría —un 83%— de la provincia de Córdoba y el porcentaje restante de las provincias cercanas.

En 2011, El Cabril se sometió a 25 auditorías externas, 11 de ellas del Con-

sejo de Seguridad Nuclear (CSN), completándose el control del centro con otras 7 auditorías internas y 376 inspecciones de garantía de calidad.

En cuanto a visitas, fueron 4.670 personas las que se interesaron el año pasado en conocer la instalación cordobesa, destacando especialmente los grupos de bachilleres y universitarios, de delegaciones técnicas internacionales, de periodistas y de asociaciones vecinales.

Vigilancia radiológica

Durante la V Jornada de Comunicación al Aire Libre de El Cabril, el jefe del Servicio de Protección Radiológica y Medio Ambiente, Luis Fuentes, profundizó en uno de los aspectos que aseguran la buena convivencia de la instalación con su entorno: el Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA).

El PVRA de El Cabril es una herramienta imprescindible para confirmar que la gestión de residuos de baja y media actividad que se realiza en la instalación cordobesa no causa impacto radiológico alguno en su entorno. Lo certifican las cerca de un millar de muestras y mediciones realizadas cada año, desde hace



Luis Fuentes y Eva Noguero, durante la presentación de datos.



Luis Fuentes toma una muestra en un punto de El Cabril.

más de cuatro lustros, por los técnicos del Servicio de Protección Radiológica y Medio Ambiente de la instalación.

Las muestras que se toman con más frecuencia son las de aire, recogidas semanalmente; con periodicidad trimestral se recogen las de agua subterránea, agua superficial y radiación directa; y con periodicidad anual, las de sedimentos, suelos, vegetación, pesca y caza. Respecto a los alimentos, se analizan la miel de Hornachuelos y la carne de oveja de Fuente Obejuna.

Todas las muestras recogidas se envían para su análisis a un laboratorio independiente especializado. Además, un 20% de ellas son objeto de análisis paralelos para contrastar resultados y garantizar la calidad de las mismas. Los resultados de los análisis se remiten a la Unidad Técnica de Protección Radiológica de Enresa, que los evalúa, contrasta y compara con los valores de referencia, para elaborar un informe que es enviado anualmente al CSN y al Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

El PVRA de El Cabril se puso en marcha antes del inicio de las actividades de almacenamiento, con el denominado "PVRA pre-operacional", mediante el cual se establecieron los valores de referencia del entorno. Desde entonces, hace ya más de dos décadas, los resultados verifican año tras año la ausencia de impacto de la instalación en el medio ambiente del entorno. ■

Ramón Aguirre, nombrado presidente de SEPI

Fernando Martí Scharfhausen, secretario de Estado de Energía

El pasado 30 de diciembre, el Consejo de Ministros nombró a Fernando Martí Scharfhausen (Cartagena, 1955) nuevo secretario de Estado de Energía. Martí Scharfhausen es licenciado en Ingeniería por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y MBA en Economía y Dirección de

de la escala de administradores financieros y tributarios de la Consejería de Economía y Hacienda del Gobierno de Canarias, Hernández Bento ocupó anteriormente distintos puestos de responsabilidad en la Dirección General de Tributos de Canarias. El nuevo subsecretario fue también delegado especial del Ministerio de Economía y Hacienda en la Zona Franca de Gran Canaria e interventor general del Gobierno autonómico.

Por otra parte, el Consejo de Ministros celebrado el pasado 20 de enero nombró a Jaime Suárez Pérez-Lucas (Madrid, 1956) director general de Energía. Suárez Pérez-Lucas es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y diplomado en el Curso Superior en Negocio Energético por el Instituto Universitario de Administración y Dirección de Empresas (ICADE) y el Instituto Español de la Energía (IEE). Como funcionario de la escala de técnicos facultativos superiores, ha trabajado en el Ministerio de Industria desde 1991, ocupando distintos puestos técnicos relacionados con el sector eléctrico.

Finalmente, el Consejo de Ministros del 13 de enero nombró a Ramón Aguirre Rodríguez (Madrid, 1953) presidente de la So-

ciedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI). Aguirre, que releva a Enrique Martínez Robles, fue presidente del Instituto de Crédito Oficial (ICO) entre 2000 y 2004, durante la segunda legislatura de José María Aznar, y consejero delegado de Metro de Madrid entre 2005 y 2008. Diputado del Partido Popular por Guadalajara, Aguirre cuenta con una dilatada experiencia parlamentaria, ya que fue portavoz del PP en varias comisiones de contenido económico. ■



El ministro de Industria, José Manuel Soria, flanqueado por Jaime Suárez Pérez-Lucas (izda.) y Fernando Martí Scharfhausen.



María Dolores de Cospedal, Soraya Sáenz de Santamaría y Cristóbal Montoro, en la toma de posesión de Ramón Aguirre.

Empresas por el IESE de la Universidad de Navarra; ha trabajado en el Grupo Inisel, Gysa y Repsol, y en 1999 se convirtió en consejero de la Comisión Nacional de la Energía (CNE), para ocupar desde 2000 el cargo de vicepresidente.

En el mismo Consejo de Ministros, Enrique Hernández Bento fue nombrado subsecretario de Industria, Energía y Turismo. Licenciado en Derecho por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y funcionario de carrera

El proyecto del ATC, en marcha con la licitación pública de los estudios de caracterización de los terrenos en Villar de Cañas

Las licitaciones públicas realizadas recientemente para la contratación de los diversos estudios de caracterización de los terrenos de Villar de Cañas (Cuenca) han puesto en marcha el proyecto de Almacén Temporal Centralizado (ATC) español. Se trata del punto de partida de un proceso administrativo que continuará, por parte de Enresa, con la realización del proyecto detallado de las instalaciones y la solicitud, ante el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, de las autorizaciones de emplazamiento y construcción de la instalación, así como con el informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Culmina así un proceso iniciado hace siete años, cuando la Comisión de Industria instó al Gobierno a disponer de un ATC donde se gestionase de manera centralizada el combustible gastado de nuestro país.

La construcción de la instalación se realizará en tres fases. La primera de ellas estará operativa dentro de cinco años, aproximadamente; para esta fase se estima una inversión de 900 millones de euros, además de la intervención de 300 a 500 trabajadores en la construcción, y de 150 en la operación.

De acuerdo con la legislación española, la caracteriza-

ción del emplazamiento y de su entorno es el paso previo a la autorización de construcción, ya que la información obtenida permitirá determinar los valores de los parámetros que se han de utilizar para definir las bases de diseño de la instalación en el lugar concreto. Luego, se presentará el estudio preliminar de seguridad al CSN, ya que la instalación tendrá que ser capaz de hacer frente a los escenarios que se postulan en el estudio de seguridad.

Una vez realizados la caracterización y el proyecto detallado, el proceso para la construcción del ATC ha de seguir los siguientes pasos: Enresa deberá presentar al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, por separado o al mismo tiempo, la solicitud de autorización de emplazamiento y la de construcción; una vez recibidas dichas solicitudes, el Ministerio pedirá un informe al CSN, se ocupará de obtener la DIA y enviará su informe a la Comunidad de Castilla-La Mancha, para que pueda presentar sus alegaciones; por fin, recibidos ambos informes, el Ministerio concederá las autorizaciones de emplazamiento y construcción. El plazo estimado de este proceso es, aproximadamente, de dieciocho meses. A partir de ese momento, y obtenida la licencia municipal de obras, empezará la construcción del ATC. ■

El presidente de SEPI se reúne con la dirección de Enresa

El presidente de la Sociedad Española de Participaciones Industriales (SEPI), Ramón Aguirre, acompañado de su vicepresidente, Federico Ferrer, ha mantenido un encuentro de trabajo con la dirección de Enresa para conocer de primera mano los proyectos más importantes en los que está trabajando la empresa. SEPI es uno de los dos accionistas de referencia de Enresa, junto con el Ciemat. El encuentro ha sido calificado de "histórico" y de gran relevancia, ya que se trataba de la primera vez en la que un presidente de SEPI visitaba las instala-

ciones de la empresa pública encargada de la gestión de los residuos radiactivos en España.

En el transcurso del encuentro, y entre otros asuntos, Ramón Aguirre ha recibido información sobre la

marcha del proyecto del Almacén Temporal de Combustible (ATC), que está previsto que se construya en Villar de Cañas (Cuenca); sobre el avance del desmantelamiento de la central nuclear de José Cabre-



José Alejandro Pina y Ramón Aguirre.

JORGE FERNÁNDEZ

ra (Guadalajara) y sobre la gestión del Almacén Centralizado de Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad de El Cabril (Córdoba). Ramón Aguirre manifestó su interés por conocer algunas de estas instalaciones, y está previsto que, acompañado por directivos de SEPI, visite próximamente El Cabril. ■

Enresa presenta los avances del desmantelamiento al Comité de Información de la central nuclear José Cabrera

Enresa participó el 23 de marzo en la reunión del Comité de Información de la central nuclear José Cabrera, celebrada en Almonacid

de Zorita (Guadalajara). El encuentro contó con la presencia de representantes del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, del Consejo de Seguridad Nuclear y de Protección Civil, así como del subdelegado del Gobierno en Guadalajara y la presidenta de la Comisión de Industria, Energía y Turismo de las Cortes de Castilla-La Mancha. Asimismo, asistieron representantes de diferentes ayuntamientos del entorno de la central, asociaciones y empresarios de la zona.

Este comité, que se reúne de manera anual, tiene como objetivo informar de la evolución del proyecto de desmantelamiento y clausura a los representantes institucionales, los vecinos y los representantes sociales y



Reunión del Comité de Información de la central nuclear José Cabrera.

económicos del entorno. Antes de la reunión, los participantes y organizadores del comité visitaron la central, donde conocieron detalladamente la evolución del proyecto de desmantelamiento. ■

Convocatoria del Programa Marco de Euratom para el bienio 2012-2013

Tras adoptar el Programa Marco Euratom para 2012-2013 y los programas específicos correspondientes, la Comisión Eu-

ropea (CE) ha aprobado sus programas anuales que definen el alcance técnico y económico de aquel y presentan las bases para la participación.

En este sentido, las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) en el Programa Marco de Euratom comprenden dos áreas temáticas bien definidas: por una parte, la Fusión Nuclear, y por otra, la Fisión Nuclear, Seguridad y Protección Radiológica.

En el área de Fusión Nuclear, el objetivo genérico es el desarrollo de bases de conocimiento para, con la realización del ITER como mayor reto, crear prototipos de reactores comerciales que sean seguros, sostenibles, medioambientalmente res-

AUTÓNOMOS Y PYMES

ICO
Instituto de Crédito Oficial

financiación

Líneas ICO 2012 de apoyo a empresas y autónomos:

- > Desarrollo empresarial
- > Internacionalización
- > Inversión
- > Liquidez

BMN **CAJAMURCIA**



Enresa lidera un proyecto para elaborar una propuesta de gestión de residuos radiactivos y combustible gastado destinada a México

Enresa lideró, del 10 al 13 de abril, la reunión de lanzamiento del proyecto para elaborar una propuesta de política y estrategia de gestión de residuos radiactivos destinada a México, celebrada en las instalaciones del Ins-

tituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México (ININ) y del consorcio internacional liderado por Enresa. El proyecto incluye aspectos legislativos, normativos, tecnológicos, financieros e institucionales. Tras este análisis, el proyecto elaborará un documento detallado de estrategia, equivalente al Plan General de Residuos Radiactivos español, pero haciendo especial hincapié en la gestión en la central nuclear de Laguna Verde, en Veracruz, la única que existe en México.



Los representantes del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México (ININ) y del consorcio internacional liderado por Enresa.

tituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) de este país, en la localidad de Toluca. La asistencia que proporcionará Enresa a las autoridades mexicanas consistirá en una evaluación de su sistema actual de gestión, que

El proyecto está financiado por la Dirección General para el Desarrollo y la Cooperación de la Comisión de la Unión Europea (UE) y el beneficiario es el ININ. En estos trabajos, Enresa actúa como líder de un consorcio formado por otras tres empresas españolas —Iberdrola Ingeniería y Construcción, Empresarios Agrupados Internacional y Westinghouse Spain— y dos extranjeras —Covra y Belgoprocess—. Durante los tres años que durará el proyecto, se pro-

pondrán soluciones y se harán recomendaciones para dotar a México de los sistemas más actuales de gestión, siguiendo las principales directrices y normativas internacionales y de la UE. ■

pensables y económicamente viables.

Por lo que se refiere al área de la Fisión Nuclear, Seguridad y Protección Radiológica, el objetivo es establecer una base técnica y científica que permita acelerar los desarrollos para la gestión segura de los residuos radiactivos de vida larga, mejorar la seguridad nuclear y garantizar un sistema robusto y socialmente aceptable para la protección del hombre y el medio ambiente frente a los efectos de la radiación ionizante. ■

Canadá crea un grupo de revisión para el proyecto de almacenamiento en profundidad de residuos de baja y media actividad

El Ministerio de Medio Ambiente de Canadá y la Comisión Canadiense para la Seguridad Nuclear (CNSC, por sus siglas en inglés) han anunciado la creación de una comisión a fin de revisar el proyecto, promovido por Ontario Power Generation, para construir y gestionar una instalación con vistas al almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media

actividad, a una profundidad de 680 metros, en el emplazamiento de la central nuclear de Bruce, en el municipio de Kincardine.

El propósito de esta comisión de expertos es el estudio de las consecuencias medioambientales del citado proyecto a la luz de la legislación aplicable, así como la identificación de la información necesaria para solicitar la licencia de construcción de este centro de almacenamiento.

Con tal objetivo, el pasado 3 de febrero se inició el periodo de alegaciones,

que durará seis meses, y que permitirá a la citada comisión, al público, los agentes interesados y las comunidades aborígenes expresar su opinión sobre la idoneidad y cumplimiento de los requisitos establecidos en las guías, publicadas en enero de 2009, para este proyecto. Además, podrán estudiar los documentos presentados en la Declaración de Impacto Ambiental (EIS, por sus siglas en inglés) y el Informe de Seguridad Preliminar (PSR, por sus siglas en inglés). ■

Enresa y el Centro Nacional de Aceleradores participan en un proyecto que mejorará la seguridad de la gestión de residuos radiactivos

I+D para detectar isótopos de difícil medida

Desde que el Centro Nacional de Aceleradores (CNA) abriera sus puertas en 1997, los investigadores españoles cuentan con un laboratorio de referencia para estudiar la caracterización y modificación de materiales. Uno de los proyectos que allí se desarrollan consiste en medir isótopos radiactivos, lo que con las técnicas empleadas hasta ahora no se había conseguido. Se trata de un estudio en el que coopera Enresa, empresa con la que el CNA selló un convenio de colaboración en 2008, y cuyos resultados contribuirán a mejorar la seguridad en el almacenamiento de los residuos. ■ POR José María López Gutiérrez, Elena Chamizo Calvo, José Manuel Gómez Guzmán, Juan Ignacio Peruchena, Inés Ortega Feliú, María del Carmen Jiménez Ramos, CNA, y José Luis Leganés Nieto, ENRESA.

ENRESA COLABORA CON EL CENTRO Nacional de Aceleradores (CNA) de Sevilla mediante la financiación de diversos proyectos de investigación aplicados a la caracterización de residuos de media y baja actividad (RMBA). Esta cooperación se ha traducido en la firma de dos convenios de apoyo técnico, que comenzaron a ejecutarse a partir de 2011. El CNA es un centro mixto participado por la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y está considerado por el Ministerio de Economía y Competitividad como una Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS), dedicada a la investigación interdisciplinar.

Las instalaciones del CNA

El CNA es un organismo pionero que pone a disposición de la comunidad científica varios aceleradores de partículas para la investigación. En la actualidad dispone de tres, junto con las técnicas asociadas a los mismos: un acelerador de

tipo Tándem van de Graaff de 3 MV —el primero en instalarse, en 1998—; un Ciclotrón, que proporciona protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV, y un acelerador de tipo Tándem Cockcroft-Walton de 1 MV (llamado Tandetrón) para Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS). En la primera mitad de 2012 se instalará un nuevo acelerador también para espectrometría de masas dedicado exclusivamente a ^{14}C . Los investigadores cuentan así con tres herramientas únicas, además de con las técnicas IBA (Ion Beam Analysis) para la caracterización de materiales, las de modificación e irradiación de materiales, la de producción de radionúclidos PET (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) y la espectrometría de masas con aceleradores (AMS), de la que deriva un servicio de datación por ^{14}C .

Estos aceleradores se pueden aplicar a campos tan variados como las ciencias ambientales y de materiales, la física nuclear y de partículas, la instrumentación, el tratamiento de imágenes

médicas, la investigación biomédica y la imagen molecular. Para realizar sus estudios, los expertos disponen de laboratorios en los que preparan muestras con suficiente material y utilizan las técnicas más avanzadas.

El primer acelerador que se puso en marcha en el CNA es un Tándem de tipo Pelletron, modelo 9SDH-2, de National Electrostatics Corporation (NEC). Está dedicado principalmente a la caracterización y modificación de materiales mediante el uso de técnicas IBA. Los iones se obtienen de tres fuentes. La primera (Alphatross) está basada en el uso de radiofrecuencias y genera iones negativos a partir de gases (H, He, N...). La segunda es la de bombardeo con cesio (SNICS), que genera iones negativos a partir de una muestra sólida. Y la más reciente es una fuente tipo Duoplasmatron, que es muy estable y proporciona un haz de alto brillo. Las tres están conectadas mediante distintos puertos a un deflector magnético que selecciona la masa



Figura 1. Líneas de haz del acelerador Tándem de 3 MV.



Figura 2. Ciclotrón Cyclone 18/9 del CNA.

deseada. En el tanque de aceleración, mediante transporte mecánico de carga con pellets, se aceleran los iones seleccionados previamente, siendo el voltaje máximo en el terminal de 3 MV. Con el conjunto de herramientas necesarias, el haz de iones se dirige, focaliza y monitoriza tras su paso por el acelerador. Al final de la línea experimental, el haz puede pasar directamente a la línea de 0° o puede ser desviado por un deflector magnético hacia una de las siete líneas de trabajo disponibles, dedi-

cadadas a caracterizar y modificar materiales, así como a realizar investigaciones en física nuclear básica (figura 1).

IBA es un término genérico que engloba un conjunto de técnicas específicas, las principales son: espectrometría de retrodispersión Rutherford (RBS), análisis por detección de retrocesos elásticos (ERDA), análisis por reacciones nucleares (NRA), emisión de rayos-γ inducidos por partículas (PIGE) y emisión de rayos X inducidos por partículas (PIXE). Todas ellas tienen un funda-

mento común, cuando una muestra se expone a un haz de iones se inducen diferentes procesos atómicos y nucleares. Como fruto de estos procesos se generan varios productos, y cada producto aporta información sobre las propiedades del material (composición, estructura...). Las aplicaciones fundamentales de las técnicas IBA son caracterización de la composición elemental de materiales, localización de impurezas, perfiles en profundidad, modificación de materiales por irradiación, etcétera.

Enresa and the National Accelerator Centre are participating in a project that will improve the safety of radioactive waste management

R & D to detect difficult to measure isotopes

Since the National Accelerators Centre (NAC) opened its doors in 1997, Spanish researchers have had use of a reference centre to study the characterisation and modification of materials. One of the projects developed there has been to measure radioactive isotopes that have not been measured using the techniques employed to da-

te. This study involves the cooperation of Enresa, with which the NAC established a collaboration agreement in 2008, and the results of which may help to improve the safe storage of waste. ■

BY José María López Gutiérrez, Elena Chamizo Calvo, Juan Ignacio Peruchena, Inés Ortega Feliú, María del Carmen Jiménez Ramos, CNA, and José Luis Leganés Nieto, ENRESA.

Enresa is collaborating with the National Accelerator Centre (NAC) in Seville by funding research projects applied to characterising low and intermediate level radioactive waste (LILW). This cooperation has resulted in the signing of two agreements for technical support, which became operational in 2011. The NAC is a joint centre involving the participation of the University of Seville, the Andalusian Regional Government and the Higher Council for Scientific Research

(CSIC) and is regarded by the Ministry of Economy and Competitiveness as a Singular Scientific-Technical Facility (*Instalación Científico-Técnica Singular ICTS*), dedicated to interdisciplinary research.

The NAC installations

NAC is a pioneering centre which provides the scientific community with several particle accelerators for research purposes. Currently there



Figura 3. Laboratorio de producción de FDG.

El Ciclotrón Cyclone 18/9 fabricado por Ion Beam Applications (IBA, Bélgica) es el segundo acelerador de partículas que se alojó en el CNA, en 2004 (figura 2). Consigue acelerar iones en órbitas de radio y energía crecientes mediante la aplicación combinada de un campo eléctrico oscilante y un campo magnético. El Ciclotrón Cyclone 18/9 es capaz de acelerar protones

y deuterones a 18 y 9 MeV, respectivamente. Las intensidades de corriente máximas que pueden ser extraídas en el blanco son de $80 \mu\text{A} \pm 10\%$ para protones y de $35 \mu\text{A} \pm 10\%$ para deuterones. Asimismo, el Ciclotrón Cyclone 18/9 permite la irradiación sobre un único blanco o, simultáneamente, con la misma partícula sobre dos blancos diametralmente opuestos (Dual Beam Mode). Este acelerador cuenta con ocho puertos de irradiación, de los cuales siete están dedicados a la producción de radionúclidos emisores de positrones. Con esta herramienta, el CNA ofrece la posibilidad de producir los radioisótopos más empleados en la modalidad de imagen médica PET (tomografía por emisión de positrones).

Asociados al Ciclotrón Cyclone 18/9 existen dos laboratorios, el de producción de ^{18}F -FDG y el de investigación, donde se preparan radiofármacos PET para ensayos clínicos y preclínicos (figura 3). A estos se suma el laboratorio de control de calidad, donde se analiza la calidad de los radiofármacos sintetizados siguiendo los requerimientos de la farmacopea. Tras



Figura 4. Sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) del CNA.

obtener las correspondientes autorizaciones de los anteriores ministerios de Industria (como instalación radiactiva) y de Sanidad (como laboratorio farmacéutico), y dentro del marco de acuerdo con la empresa farmacéutica IBA Molecular, se comenzó la fabricación y distribución de ^{18}F 2-fluoro-2-desoxi-D-glucosa (FDG) al propio CNA y a centros externos (Andalucía, Castilla-La Mancha, Portugal...) a partir de mayo de 2005.

El tercero de los aceleradores con los que cuenta hasta el momento el CNA es un Tandem Cockroft-Walton de 1 MV (figura 4) para espec-

are three, together with the associated techniques: a 3 MV Tandem Van de Graaff type accelerator - the first installed in 1998; a Cyclotron that provides 18 MeV protons and 9 MeV deuterons, and a 1 MV tandem Cockcroft-Walton type accelerator (called a Tandetron) for Accelerator Mass Spectrometry (AMS). During the first six months of 2012, a new accelerator will be installed also for mass spectrometry dedicated exclusively to ^{14}C . Researchers will also be equipped with three unique tools and IBA (Ion Beam Analysis) techniques for the characterization of materials, modification and irradiation of materials, production of PET radionuclides (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) and accelerator mass spectrometry (AMS), from which a ^{14}C dating service is derived.

These accelerators can be applied to fields as diverse as environmental and materials sciences, nuclear and particle physics, instrumentation, medical imaging, biomedical research and molecular imaging. For their studies, experts use laboratories to prepare samples with sufficient material and using the most advanced techniques.

The first accelerator commissioned at the ANC was a Tandem-type Pelletron, model 9SDH-2, from the National Electrostatics Corporation (NEC). It is mainly dedicated to characterising and modifying materials using IBA techniques. Ions are obtained from three sources. The first (Alphatross) is based on the use of radio frequencies and

produces negative ions from gases (H, I, N, etc.). The second uses bombardment with caesium (SNICS), which generates negative ions from a solid sample. The latest is a Duoplasmatron type source, which is very stable and provides a high-brightness beam. The three are connected through different ports to a magnetic deflector which selects the desired mass. In the acceleration tank, by means of mechanical transportation of load with pellets, the ions previously selected are accelerated, and the maximum voltage at the terminal is 3 MV. Using all the necessary tools, the ion beam is directed, focused and monitored after passing through the accelerator. At the end of the experimental line the beam can be sent directly to the 0° line or can be diverted by a magnetic deflector to one of the seven work lines available, dedicated to characterizing and modifying materials, and for conducting basic nuclear physics research (Figure 1).

IBA is a generic term that encompasses a set of specific techniques, the principal ones being: Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA), Nuclear Reaction Analysis (NRA), Particle Induced Y-ray Emission (PIGE) and Particle Induced X-ray Emission (PIXE). The basic principle on which they are all based is that when a sample is exposed to an ion beam, different atomic and nuclear processes are induced. As a result of these ▶

trometría de masas con aceleradores, instalado en 2005. La AMS es una técnica nuclear destinada a la detección de radionúclidos muy poco abundantes en las muestras de interés. En concreto, se aplica a aquellos isótopos que son muy difíciles de detectar mediante técnicas radiométricas debido a que tienen una semivida muy larga, a que generalmente son emisores Beta o Alfa sin la emisión simultánea de radiación Gamma de fácil detección, y a que presentan una muy baja concentración en el medio a medir. En la AMS no se detecta la radiación que emiten estos isótopos, sino la señal que ellos mismos producen en un detector nuclear después de haber sido seleccionados de un haz mediante campos eléctricos y magnéticos. La presencia de un acelerador de partículas tipo Tandem permite aumentar sensiblemente la energía de los iones hasta valores en el orden del MeV/uma. De este modo, es posible utilizar propiedades nucleares para discriminar unos isótopos de otros. Además, en el *strip-per* del acelerador se produce la rotura de las moléculas de la misma masa que el isótopo de interés, lo cual permite

reducir aún más las interferencias. Estas cuestiones hacen que la AMS posea una mayor sensibilidad que cualquier otra técnica de detección de radionúclidos, lo cual la hace eficaz en multitud de problemas científicos imposibles de abordar de otro modo. Los núcleos que se pueden detectar mediante la AMS son variados, aunque limitados. En el caso de la instalación del CNA, el sistema se diseñó originalmente para la medida de ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I e isótopos de Pu. En los últimos años, las líneas más activas se han centrado en los análisis de muestras para la detección de ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I e isótopos de Pu, aunque han comenzado las pruebas para estudiar la capacidad del equipo para la detección de nuevos radioisótopos como el ^{41}Ca y el ^{36}Cl .

En breve, la capacidad de medida de ^{14}C en el CNA se verá ampliada por la instalación de un pequeño espectrómetro de masas con acelerador de 200 kV para datación y otras aplicaciones de este radioisótopo. Se trata de un equipo diseñado y construido en el Instituto de Física de Partículas del ETH Zúrich y que ha sido bautizado

por sus creadores como MICADAS (Mini Carbon Dating System).

La colaboración con Enresa

La Universidad de Sevilla y Enresa firmaron en 2008 un convenio en el que se especifica la necesidad del estudio y control de isótopos radiactivos relacionados con los residuos de centrales nucleares. En este sentido, la aportación de los científicos de la Universidad de Sevilla al CNA se ha dirigido hacia la caracterización de residuos radiactivos de baja y media actividad. Por una parte, han investigado la detección de radionúclidos de periodo de semidesintegración grande, que son muy difíciles de detectar mediante técnicas de recuento; por otra, se han aplicado las técnicas IBA a la determinación de la composición química de este tipo de muestras. Ambos proyectos se han gestionado a través de la Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla (FIUS) como contratos de investigación 68/83.

Hasta el momento se han financiado tres proyectos de investigación:

— Desarrollos de metodologías en AMS de baja energía con aplicación a

► processes, several products are generated and each product provides information about the properties of the material (composition, structure, etc.). The fundamental applications for IBA techniques are to identify the elemental composition of materials, the location of impurities, depth profiles, the modification of materials by irradiation, etc.

The Cyclone 18/9 cyclotron manufactured by Ion Beam Applications (IBA, Belgium) is the second particle accelerator which was installed at the NAC in 2004 (Figure 2). This can accelerate ions in orbits of increasing radius and energy through the combined application of an oscillating electric field and a magnetic field. The Cyclone 18/9 cyclotron is capable of accelerating protons and deuterons to 18 and 9 MeV, respectively. The maximum current that can be extracted at the target is $80 \text{ A} \pm 10\%$ for protons and $35 \text{ A} \pm 10\%$ for deuterons. Furthermore, the Cyclone 18/9 cyclotron enables irradiation of a single target or two diametrically opposed targets simultaneously with the same particle (Dual Beam Mode). This accelerator has eight irradiation ports, of which seven are dedicated to producing positron emitting radionuclides. Using this tool the NAC makes it possible to produce the radioisotopes most widely used in PET medical imaging modality (positron emission tomography).

There are two laboratories associated with the Cyclone 18/9 cy-

clotron, one producing ^{18}F -FDG and one for research, where PET radiopharmaceuticals are prepared for pre-clinical and clinical trials (Figure 3). In addition there is a quality control laboratory, which analyzes the quality of radiopharmaceuticals synthesized in accordance with the requirements of the pharmacopea. After obtaining the corresponding authorizations from the previous ministries of Industry (eg. the radioactive facility) and Health (eg. the pharmaceutical laboratory), and as part of the framework agreement with the pharmaceutical company, IBA Molecular, the manufacture and distribution of ^{18}F 2-fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) commenced at the NAC itself and at external centres (Andalusia, Castile-La Mancha, Portugal, etc.) in May 2005.

The third accelerator used to date at the NAC is a 1 MV Cockcroft-Walton Tandem (Figure 4) for accelerator mass spectrometry, which was installed in 2005. AMS is a nuclear technique aimed at detecting very low radionuclide abundance in the target samples. Specifically, it is applied to those isotopes that are very difficult to detect using radiometric techniques because they have a very long half-life, are generally Beta or Alpha emitters without the simultaneous emission of easily detected gamma radiation, and because they present a very low concentration in the medium to be measured. AMS does not detect the radiation emitted by these isotopes, but the signal they produce in a nuclear detector

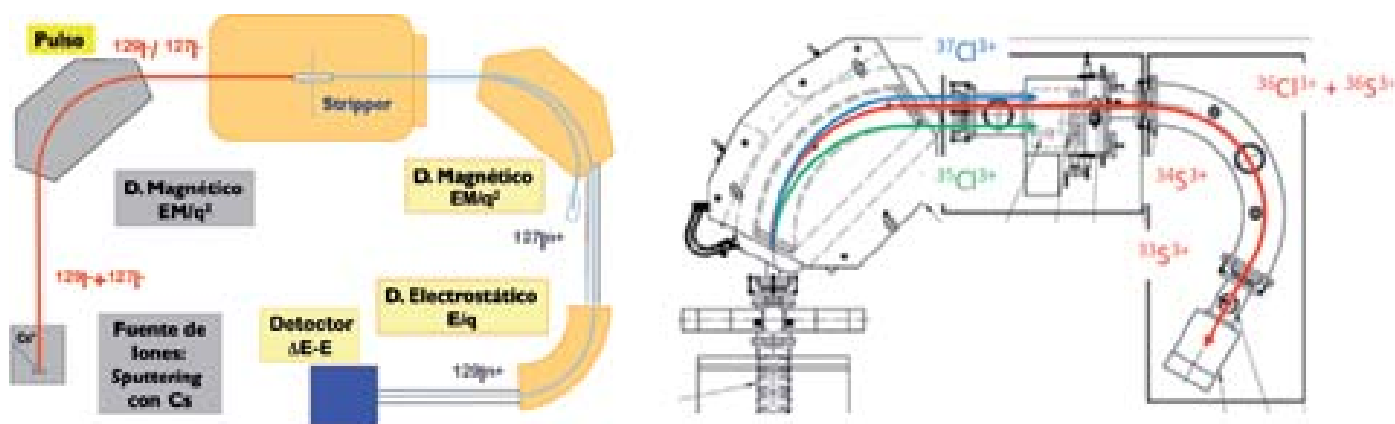


Figura 5. Esquema de detección ^{129}I y ^{36}Cl .

problemas de residuos radioactivos (2009).

— Nuevos desarrollos de metodologías en AMS de baja energía (2010).

— Detección de ^{36}Cl , ^{243}Am y ^{236}U mediante espectrometría de masas con aceleradores de baja Energía (2011).

Ya se ha comentado la capacidad de la técnica de la AMS para detectar radionúclidos que se encuentran en concentraciones muy pequeñas en las muestras de interés. En el caso de los residuos nucleares, la evaluación de la presencia de radionúclidos como el ^{129}I o el ^{36}Cl , combinada con las características de sus

formas de desintegración, hace muy difícil detectar directamente las partículas emitidas en su desintegración debido a su baja actividad. La alternativa es la detección directa de los núcleos mediante espectrometría de masas (figura 5).

En los proyectos mencionados anteriormente se ha intentado desarrollar la metodología para la detección de algunos de estos radionúclidos en residuos nucleares de media y baja actividad. Estos desarrollos han tenido una doble vertiente. En primer lugar, en cuanto a la detección mediante AMS, ya que cada radioisótopo posee sus

características de masa, número atómico, isóbaros o núcleos estables cercanos en masa, etcétera. Esto implica que las condiciones de medida cambien considerablemente de un isótopo a otro. Por tanto, es necesario un importante trabajo previo de puesta a punto del sistema cada vez que se quieren estudiar las posibilidades de un sistema para la detección de un isótopo. En segundo lugar, para realizar la AMS es necesario que la muestra en cuestión se introduzca en la fuente de iones en una forma química concreta, y eso implica un proceso radioquímico pre-

after being selected from a beam by electric and magnetic fields. The presence of a Tandem type particle accelerator can significantly increase the energy of the ions to values in the order of MeV/amu. It is therefore possible to use nuclear properties to differentiate one isotope from another. Furthermore, rupture of the molecules from the same mass of the target isotope takes place in the accelerator stripper, which enables the interferences to be further reduced. These aspects provide AMS with greater sensitivity than any other radionuclide detection technique, which makes it effective in numerous scientific problems that cannot otherwise be tackled. The nuclei that can be detected using AMS are varied, yet limited. In the case of the NAC installation, the system was originally designed to measure ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I and Pu isotopes. In recent years, the most active lines have focused on analysing samples to detect ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I and Pu isotopes, although tests have begun to study the equipment's ability to detect new radioisotopes such as ^{41}Ca and ^{36}Cl .

Soon, the ability to measure ^{14}C at the NAC will be extended by installing a small mass spectrometer with a 200 kV accelerator for dating and other applications in relation to this radioisotope. This is a unit of equipment designed and built at the ETH Zurich Institute of Particle Physics, and has been named MICADAS (Mini Carbon Dating System) by its developers.

Collaboration with Enresa

In 2008 the University of Seville and Enresa signed an agreement to study and control radioactive isotopes associated with nuclear waste. For this, scientists from the University of Seville at the NAC have been working to characterise low and intermediate level radioactive waste. Firstly, they have investigated the detection of radionuclides that have a large half-life, which are very difficult to detect by counting techniques; and secondly, they have applied IBA techniques to determine the chemical composition of these types of samples. Both projects were managed through the Research Foundation of the University of Seville (FIUS) by means of research contracts 68/83.

Three research projects have been funded to date:

- Development of low energy AMS methodologies for application to radioactive waste problems (2009).
- New developments in low-energy AMS methodologies (2010).
- Detection of ^{36}Cl , ^{243}Am and ^{236}U using mass spectrometry with low-energy accelerators (2011).

The ability of the AMS technique to detect radionuclides in very small concentrations in target samples has already been mentioned. In the case of nuclear waste, the assessment of the presence of radionuclides such as ^{129}I or ^{36}Cl , combined with the characteristics of their forms of disinte- ▶

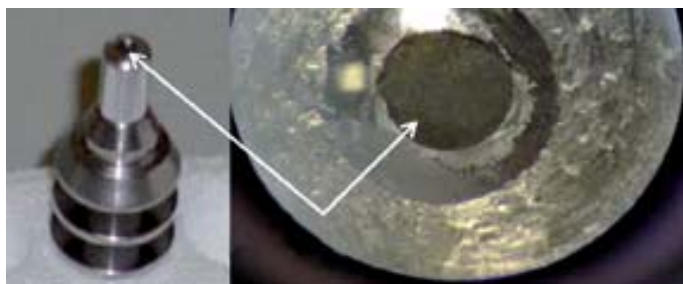


Figura 6. Cátodo para la medida de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS). Alrededor de un miligramo de muestra es prensado en el espacio central.

vio que, lógicamente, dependerá de la matriz, además de las propiedades químicas del radioisótopo. Este es el segundo aspecto metodológico en el que se ha investigado durante estos años, aplicándolo a resinas, lodos desecados, filtros, etcétera.

El primer proyecto, que es de 2009, se centró en la detección de ^{129}I en ciertos tipos de muestras —lodos, desecados y resinas—. Se llevó a cabo el estudio de preparación de muestras desde un nivel muy básico, ya que no se tenía prácticamente información de qué niveles de ^{129}I podían presentar las muestras recibidas en el CNA (figura 6). Se estudiaron procesos de digestión diversos (digestión ácida en flujo de N_2 y digestión por microondas) y se realizaron las primeras

medidas de este radionúclido en estas muestras en el CNA. Los valores obtenidos (en el orden de 0,001 a 0,1 mBq/g) resultaron típicamente inferiores al límite de detección por técnicas de recuen-

to, si bien se detectaron altos grados de inhomogeneidad.

En estas muestras también se estudió la presencia de ^{239}Pu y ^{240}Pu . Si bien la actividad total de los dos isótopos es detectable mediante espectrometría α , no es posible conocer la relación $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, o lo que es lo mismo, no es posible medir sus actividades independientemente. Asimismo, la AMS ofrece límites de detección más bajos que la espectrometría α . El cociente $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ es un indicador muy relevante, porque está relacionado con el origen del Pu en la muestra. Es distinto, por ejemplo, para diferentes tipos de centrales nucleares. En las muestras analizadas se obtuvieron valores entre 0,1 y 0,3 para el cociente anterior, caracte-

rísticos de centrales que no usan Pu como combustible, aunque reflejaron variabilidad entre las distintas alicuotas como en el caso del ^{129}I .

En este primer proyecto se analizó la presencia de ^{14}C en grafito virgen, con el objetivo de analizar cuál era el nivel original de este radionúclido antes de su utilización en las centrales nucleares. No fue necesario en este caso realizar preparación radioquímica, ya que para la medida del ^{14}C por la AMS la forma química utilizada es precisamente el grafito. El resultado fue de $(0,130 \pm 0,016 \text{ mBq/g})$.

El segundo proyecto, del año 2010, extendió la detección de ^{129}I a muestras con actividad residual muy baja —tierras, escombros y hormigones, entre otros materiales— e incluyó el inicio del estudio de dos nuevos isótopos: el ^{237}Np y el ^{36}Cl . Este último es muy difícil de detectar correctamente en instalaciones de la AMS de baja energía, como la del CNA, por la presencia de su isóbaro estable, el ^{36}S . Esto se debe a que la diferencia en su poder de frenado, la clave para que la AMS pueda discriminar isóbaros, es muy pequeña a las

► gration, makes it very difficult to directly detect particles emitted as part of their decay due to their low activity. The alternative is the direct detection of nuclei using mass spectrometry (Figure 5). The aforementioned projects have been used to attempt to develop methodology for detecting some of these radionuclides in low and intermediate level nuclear waste. These developments have been twofold. Firstly, by means of detection using AMS, because every radioisotope has its mass, atomic number, isobars or near stable bulk nuclei characteristics, etc. This implies that the measurement conditions change significantly from one isotope to another. Therefore, indispensable preliminary work is to set up the system every time it is necessary to study the ability of a system to detect an isotope. Furthermore, to perform AMS, the sample in question must be introduced into the ion source in a particular chemical form, and this implies a prior radiochemical process which logically will depend on the matrix in addition to the chemical properties of the radioisotope. This is the second methodological aspect which has been investigated during this period, applying it to resins, dried sludge, filters, etc.

The first project, in 2009, focused on the detection of ^{129}I in certain types of samples, dried sludges and resins. The sample preparation study was carried out from a very basic level, as there was virtually no information about what levels of ^{129}I the samples received at

the NAC might present (Figure 6). Various digestion processes were studied (acid digestion in flowing N_2 and microwave digestion) and the first measurements of this radionuclide were made using these samples at the NAC. The values obtained (of the order of 0.001 to 0.1 mBq/g) were typically less than the detection limit using counting techniques, although high degrees of inhomogeneity were detected.

The presence of ^{239}Pu and ^{240}Pu was also studied in these samples. Whilst the total activity of the two isotopes is detectable using spectrometry, it is not possible to find the ratio $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$, or in other words, it is not possible to measure their activities independently. Also, AMS provides detection limits lower than spectrometry. The ratio $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ is a very important indicator because it is related to the origin of Pu in the sample. It is different, for example, for different types of nuclear plants. Values between 0.1 and 0.3 for the above ratio were obtained in the analyzed samples, characteristic of plants that do not use Pu as fuel, while reflecting the variability between the different proportions as in the case with ^{129}I .

The presence of ^{14}C in virgin graphite was measured as part of this first project, with the aim of analyzing the original level of this radionuclide before its use in nuclear power plants. Radiochemical preparation was not necessary in this case, as to measure ^{14}C using

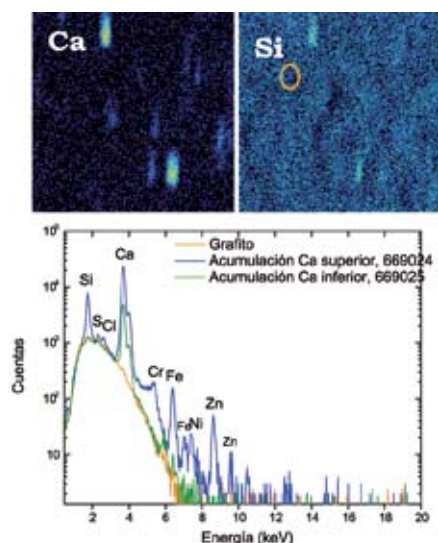


Figura 7. Mapa tomado de una muestra de grafito virgen con la cámara de microsonda del CNA y espectros adquiridos.



Los doctores José María López y Elena Chamizo.

energías que se pueden alcanzar en este sistema.

Se cumplieron los objetivos de detección del ^{129}I en las muestras mencionadas. Por ejemplo, se aplicó la técnica a muestras de frotis procedentes de la central nuclear José Cabrera, obteniéndose valores de actividad de ^{129}I entre 0,4 y 600 μBq . Estos resultados fueron presentados en la Conferencia Internacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores, celebrada en marzo de 2011 en Wellington, Nueva Zelanda. También se desarrolló la metodología para la determinación de ^{237}Np en resinas, con resultados entre 0,020 y 2,03 mBq/g. En cuanto al ^{36}Cl , que nunca había sido detectado previamente en el CNA, se llevaron a cabo los primeros ajustes del sistema y las primeras medidas, en los que se constató la dificultad de discriminarlo del ^{36}S .

En la actualidad se realizan trabajos del tercer proyecto, en el que se ha incluido la detección del ^{236}U y del ^{243}Am como nuevos isótopos de interés. En ambos casos se desarrolla la metodología radioquímica y de medida para su detección por AMS.

Como parte de la caracterización de los residuos, se han llevado a cabo en diversos tipos de matrices medidas mediante la técnica de PIXE, que permite realizar un análisis multielemental de la composición de la muestra. En la figura 7 se observa un análisis con microsonda de protones de una muestra de grafito, en la que se encontraron trazas de Ca, Si y otros elementos.

El equipo

José María López Gutiérrez, profesor titular del Departamento de Física Aplicada I de la Universidad de Sevilla y coordinador de la Unidad de Investigación en la AMS del CNA, ha dirigido todos los proyectos. Han colaborado con él Elena Chamizo y José Manuel Gómez Guzmán, especialistas en la medida por la AMS de actínidos y de ^{129}I , respectivamente. De los trabajos radioquímicos se ha encargado Juan Ignacio Peruchena, licenciado en Química, y de las medidas IBA, Inés Ortega Feliú y María del Carmen Jiménez Ramos, ambas de la Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones del CNA.

AMS the chemical form used is graphite. The result was $(0.130 \pm 0.016 \text{ mBq/g})$.

The second project, in 2010, extended the detection of ^{129}I to samples with very low residual activity, earth, gravel and concrete, among other materials, and incorporated the start of a study of two new isotopes: ^{237}Np and ^{36}Cl . The latter is very difficult to detect correctly in low energy AMS installations, such as the NAC, because of the presence of its stable isobar, ^{36}S . This is because the difference in stopping power, the key used by AMS to differentiate isobars, is very small at the energies that can be achieved in this system.

The ^{129}I detection objectives were achieved in the samples referred to. For example, the technique was applied to swab samples from the José Cabrera nuclear power plant, producing values of ^{129}I activity between 0.4 and 600 Bq. These results were presented at the International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, held in March 2011 in Wellington, New Zealand. Also a methodology was developed to determine ^{237}Np in resins, with results between 0.020 and 2.03 mBq/g. With regard to ^{36}Cl , which had never been previously detected by the NAC, the initial system adjustments and first steps were taken, during which it was found difficult to differentiate ^{36}S .

Currently work is being carried out on the third project, which has included the detection of ^{236}U and ^{243}Am as new isotopes of interest. In both cases radiochemical and measurement methodology for detection using AMS has been developed.

As part of the waste characterization, measurements were carried out using the PIXE technique on various types of matrices, which facilitates an elemental analysis of the composition of the sample. Figure 7 shows a microprobe analysis of protons from a graphite sample, in which traces of Ca, Si and other elements were found.

The team

José María López Gutiérrez, professor, Department of Applied Physics, University of Seville and coordinator of the AMS Research Unit of the NAC, has directed all projects. Elena Chamizo and José Manuel Gómez Guzmán, specialists in the AMS measurement of actinides and ^{129}I respectively, collaborated with him. For the radiochemical work Juan Ignacio Peruchena, Chemistry graduate, was commissioned, and for the IBA measurements, Inés Ortega Feliu and María del Carmen Jiménez Ramos were commissioned, both from the NAC Research Unit on Analysis Techniques and Material Modification using Ion Beams.

Visibilidad. Esa es la clave del éxito del trabajo de un investigador y no la cantidad, y lo dice quien, con más de seiscientas publicaciones, es el científico español más citado. Se trata del físico Manuel Aguilar Benítez de Lugo (Madrid, 1943), director del Departamento de Investigación Básica del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). Aguilar es el responsable de la participación de dicho organismo en el experimento del Espectrómetro Magnético Alpha (AMS, por sus siglas en inglés), instalado en la Estación Espacial Internacional (ISS), en mayo de 2011. Tal experimento es el más importante de la historia en la búsqueda de antimateria y “materia oscura” en el Universo. Además, este miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas es una de las voces más críticas contra los recortes en investigación científica. “Si hay que reducir recursos, habrá que descontentar a muchos y priorizar la excelencia”, sostiene. ■ POR Concha Barrigós, PERIODISTA.

Manuel Aguilar,
director del Departamento
de Investigación Básica
del Ciemat

“España no acaba de ser un socio fiable en ciencia”

—Desconcierta que sepan ustedes cómo era el Universo a los tres minutos del Big Bang y no sepan si hay antimateria.

—De acuerdo con la teoría del Big Bang, cuando se crea el Universo hace casi 14.000 millones de años, se tuvo que producir igual cantidad de materia que de antimateria, ya que esto surge de la fluctuación mecánico-cuántica del vacío y el vacío es eléctricamente neutro. Por alguna razón, el Universo ha evolucionado desde esa configuración simétrica a otra donde no parece haber trazo de antimateria. Las medidas sobre la existencia de antimateria se restringen a nuestra galaxia, pero en el Universo hay del orden de 100.000 millones de galaxias y cada una tiene 100.000 millones de estrellas. No nos podemos conformar con mirar solo nuestra galaxia. El experimento del AMS [Espectrómetro Magnético Alpha] es tan potente que nos va a permitir mirar muy

lejos, casi al inicio del Universo y a lo mejor encontramos señales distantes de antimateria.

—¿Eso sería “lo más de lo más” que podrían averiguar?

—Sí, pero en ciencia es mejor ser prudente.

—¿El descubrimiento de antimateria produciría una conmoción científica?

—No necesariamente, ya que confirmaría la teoría del Big Bang. Sería más intrigante aún si no se encontrasen restos de antimateria, porque entonces habría que buscar otra teoría para esa evolución asimétrica.

—Entonces, se encuentre o no se encuentre antimateria...

—Será un resultado muy importante. Nuestra idea es coleccionar mil millones de núcleos de helio, el más abundante en la radiación cósmica después del núcleo de hidrógeno. Si en esos mil mi-

llones encontramos diez antinúcleos de helio será un resultado excepcional, aunque más excepcional aún sería si encontráramos algunos antinúcleos de carbono.

—¿Cambiaría nuestra vida?

—Probablemente no; pero no hay que olvidar que la ciencia produce resultados que, con frecuencia, desafían la intuición humana y tienen consecuencias extraordinarias para la sociedad. Cuando hace ochenta años Paul Dirac propuso la existencia de antimateria, todo el mundo creía que era un brillante ejercicio académico e intelectual y hoy día, gracias a esa idea, tenemos la Tomografía por Emisión de Positrones [PET, por sus siglas en inglés]. Dentro de veinticinco años una persona de cada dos estará afectada por un tumor y el 50% será tratado con un haz de partículas producidas artificialmente en un acelerador.



—Hace casi un año del lanzamiento al espacio del AMS, proyecto en el que España juega un papel muy relevante y en el que colaboran dieciséis países. A fecha de hoy, ¿qué se ha conseguido?

—El AMS se lanzó al espacio el 16 de mayo de 2011, y el 19 se acopló a la ISS; ese mismo día empezaron a llegar los datos a la Tierra. Ahora mismo, tenemos del orden de 14.000 millones de rayos cósmicos registrados y listos para ser analizados. En ese tiempo, hemos sido capaces de coleccionar más datos de rayos cósmicos que desde que se descubrieron hace cien años.

—¿Cuántos datos podrá obtener el AMS al año?

—Unos 16.000 millones, de los que solo se utilizarán el 5%, porque seleccionaremos los *golden events*, es decir, los sucesos perfectos para su análisis posterior. El instrumento debería funcionar hasta

que en 2028 la ISS se desorbite. En principio, el AMS ya no retornará a la Tierra, aunque si los resultados fueran extraordinariamente relevantes se podría pensar en bajar el instrumento de la misma forma que se subió y donarlo, por ejemplo, a la Smithsonian Institution [Washington DC, EE.UU.] o a una entidad científico-cultural de esa naturaleza.

—¿Funciona el AMS tal y como se esperaba?

—Sí, pero el control de los cambios de temperatura es más complicado de lo que creíamos. Cada noventa minutos, el tiempo que tarda la ISS en completar una órbita alrededor de la Tierra, hay un ciclo térmico debido a la orientación del vector solar que hace que la temperatura cambie de -50 °C a 50 °C. En el instrumento hay del orden de 1.200 sensores de temperatura que se leen todo el tiempo y permiten hacer luego co-

rrecciones a los datos. Desde hace casi un año intentamos entender el problema térmico del instrumento.

—¿Y hay algo que esté funcionando con un resultado magnífico?

—Hemos tardado casi quince años en desarrollar este instrumento y lo hemos sometido a todo tipo de pruebas. Está funcionando mejor de lo que esperábamos, aunque ya sabíamos que era muy difícil extrapolar con precisión las medidas que se hacen en laboratorio a las condiciones reales, en las que está en la ISS.

—¿Se necesitarán más experimentos para corroborar los datos obtenidos hasta ahora?

—El problema es que, a corto plazo, es imposible desarrollar instrumentos similares porque son extraordinariamente costosos. No va a ser posible subir a la ISS otro instrumento de siete toneladas y media como este porque, entre otras cosas, ya no hay transbordadores

para hacerlo ni, probablemente, espacio suficiente.

—¿Cuánto es “extraordinariamente costoso”?

—Es un instrumento muy complejo, porque hay que realizar una miniaturización de los experimentos que se hacen para aceleradores y adaptarlo al entorno espacial, muy hostil. El coste es muy difícil de calcular, porque en el experimento participan dieciséis países y no todos aplican el mismo sistema de evaluación. En Europa no se incluyen los costes de personal o de infraestructuras y en Estados Unidos, sí. La NASA ha estimado que AMS cuesta tanto como el telescopio espacial *Hubble*, es decir, del orden de 2.000 millones de dólares [1.518 millones de euros], sin contar que solo el lanzamiento en el transbordador se estima en unos 400 millones de dólares [303 millones de euros].

—Sí, y las publicaciones, aunque ahora todos los que estamos en proyectos —colaboraciones grandes como las de los últimos veinte o treinta años— publicamos mucho. El experimento CMS ya ha publicado cerca de un centenar de resultados. ¿Cuántas de ellas ha liderado el Ciemat? Pues el 5% o 7%, cuando nuestra participación en los costes del proyecto no alcanza el 3%. Por tanto, un grupo pequeño puede hacer una contribución importante; no es solo el tamaño de la contribución lo que importa. Para el análisis de los datos de los experimentos del acelerador LHC, se ha creado en el mundo una red especializada en computación Grid. Hay diez centros en el mundo de primer nivel, el Ciemat, en colaboración con el IFAE [Institut de Física d'Altes Energies], la Universitat Autònoma de Barcelona [UAB] y la Generalitat de Ca-

casos será un resultado extraordinario. No hay que olvidar que el mecanismo de Higgs se propuso en 1964, hace casi cincuenta años.

—¿Qué secretos guarda?

—Se conoce bien el Modelo Estándar de Partículas, pero hay una pieza esencial que aún no ha sido identificada. Se trata del bosón de Higgs —aunque sería más correcto llamarla de Brout-Englert-Higgs—, responsable de dotar a todas las partículas verdaderamente elementales de masa. La zona donde se debería materializar la partícula está bastante bien acotada. Ya hemos encontrado señales de que, efectivamente, está ahí pero necesitamos acumular tres veces más datos de los que tenemos ahora. La estadística acumulada en 2011 no es suficiente ni para decir que se ha descubierto ni para decir que está excluida. Si la máquina funciona bien, en

El AMS, un desafío cósmico

El Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) ha tenido un papel crucial en el desarrollo del Espectrómetro Magnético Alpha (AMS, por sus siglas en inglés), un instrumento de 7,5 toneladas con 650 microprocesadores y 300.000 canales electrónicos para la recogida de los 16.000 millones de datos que se estima recopilarán cada año hasta 2028. Es espectrómetro porque

mide espectros de energía de las partículas cósmicas, y es magnético porque la pieza central del instrumento es un imán permanente que permite medir, por curvatura, la impulsión y el signo de la carga eléctrica de la radiación cósmica que lo atraviesa. Lo de Alpha, explica Manuel Aguilar, obedece a que cuando se aprobó la Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés), a la que está adosado desde que lo llevó allí el transbordador *Endeavour* en mayo de 2011, se iba a llamar Estación Espacial Alpha y decidieron mantener el nombre.

—Si da tan buenos resultados como el *Hubble*...

—De hecho, la NASA considera que AMS es el *Hubble* para el estudio de las partículas cósmicas cargadas eléctricamente. AMS es un proyecto singular y único, pero en el Departamento de Investigación Básica del Ciemat hay proyectos igualmente interesantes y en los que se ha realizado una contribución muy visible y relevante. Es el caso del experimento CMS para el acelerador LHC [Gran Colisionador de Hadrones] del CERN [Organización Europea para la Investigación Nuclear], en donde el Ciemat ha participado en la construcción, operación y obtención de resultados.

—¿La visibilidad es la palabra clave en el éxito de una investigación?

taluña, ha construido uno de esos centros, que está en el campus de la citada universidad. Este centro es pequeño, solo representa el 5% del total, pero es, después del que hay en el CERN, uno de los más fiables y eficientes de todo el conjunto.

—¿El LHC ha superado ya todos los sobresaltos?

—El año pasado operó extraordinariamente bien, pero la energía era la mitad de la que se esperaba tener —14 tera electrón-voltios—. Este año ha empezado a funcionar a 8 tera electrón-voltios. Son máquinas complejas, se han tomado todo tipo de precauciones, pero siempre pueden pasar cosas. Este año va a ser muy importante, porque en noviembre podríamos anunciar el descubrimiento de la partícula de Higgs o excluir su existencia. En ambos

noviembre de este año habremos acumulado la estadística necesaria que certifique su existencia o la excluya.

—Ya es noviembre y la partícula ha sido “capturada”. ¿Y ahora qué?

—El acelerador ha de parar en 2013 y 2014, porque hay que hacer modificaciones para que, cuando se reinicie en 2015, trabaje con una energía de 14 tera electrón-voltios. Con el descubrimiento del bosón de Higgs no se termina la física de partículas elementales, porque sabemos, por medidas que se han hecho y por dificultades conceptuales, que el Modelo Estándar no es la última palabra en la descripción del mundo de la microfísica y que, casi con seguridad, hay física más allá. Podría haber, por ejemplo, partículas supersimétricas que serían can-

didatos responsables a explicar la “materia oscura” y esas partículas se podrían producir en el LHC. Se abre una región no explorada en la que se podrían poner en evidencia esas partículas o aparecer nuevos elementos, como lo que se habla de la existencia de dimensiones extras.

—*Es decir, demostrar la existencia del bosón de Higgs supone el comienzo de otra física.*

—Hay física más allá que este modelo no va a poder explicar. Habrá partículas nuevas, escenarios nuevos que habrá que explorar.

—*Usted fue uno de los promotores del manifiesto contra los recortes económicos en ciencia anunciados por el Gobierno, y que entregaron a finales de marzo en La Moncloa y en el Congreso de los Diputados. Ahora que ya se conocen las cifras, ¿ve ratificados sus temores?*

importantes pero, para conocer su cuantía, hay que esperar. El mensaje que convendría transmitir a los responsables de la política científica es que, si en la fase parlamentaria eso no se corrige, habrá que priorizar en función de la excelencia, valor estratégico y componente internacional de los proyectos. Ha habido una tendencia en el pasado a contentar a casi todo el mundo, y ahora creo que habrá que contentar a menos personas y descontentar a muchos, pero los proyectos que son de excelencia deben ser prioritariamente subvencionados. La tercera preocupación es qué pasa con las cuotas internacionales a las grandes organizaciones que hacen investigación, como pueden ser el CERN o la Agencia Europea del Espacio.

—*¿Y qué puede suceder?*

—Quiero insistir en el hecho de que la investigación científica de excelencia

el resto de países europeos prefiere apostar por otras naciones con tradición científica más sólida y más fiables.

—*¿Lo más importante que necesita un científico son recursos o intuición?*

—Necesita muchas cosas, pero lo más importante es trabajar mucho, una gran dedicación y determinación y, también, algo de talento. Hay que ser capaz de crear equipos muy cohesionados y motivados, y decididos a cumplir los compromisos adquiridos cueste lo que cueste. Además, hay que tener recursos para competir en condiciones de igualdad, porque con un Fiat 500 no se puede participar dignamente en fórmula 1. Para dedicarse a esta profesión, se necesita mucha tenacidad y perseverancia y elegir bien lo que uno hace.

—*¿Escoger, por ejemplo, algo “oscuro”?*

—Hay mucho que hacer en lo que se

Aguilar nunca se ha planteado viajar a la ISS a comprobar in situ cómo funciona su “criatura” porque, asegura, “no da el perfil”. “El trabajo de astronauta es apto para muy pocas personas. Son gente con unas condiciones psíquicas únicas y unos profesionales excepcionales”, subraya. Sus “sueños” son mucho más “terrenos” y tienen que ver, bromea, más con que gane el Real Madrid, del que es “euro-abonado”, viajar a Francia a ver a su nieta, comer bien o escuchar música barroca. “Cosas sencillas y más bien seguras”, se ríe. ■



J. FERNÁNDEZ

—Tenía varias preocupaciones. La primera, cómo afectaba a los organismos públicos de investigación y, en particular, al Ciemat. En 2010 ya habíamos sufrido recortes del 27%. Afortunadamente, gracias en buena medida a la perseverancia de nuestro director general [Cayetano López] en el último año y medio, tuvimos un recorte del orden de un 4% en enero y ya no ha habido más. El Ciemat está en una situación delicada, aunque confío en que podrá mantener, con restricciones, buena parte de sus programas de investigación. Mi segunda preocupación era el futuro del Plan Nacional, puesto que la parte más importante de los recursos necesarios para desarrollar los proyectos de investigación procede de subvenciones del Plan. Ahí sí se anuncian recortes

se hace en un entorno internacional muy competitivo, y para inspirar confianza hay que cumplir los compromisos. Si no somos fiables en nuestro compromiso de participación o de cofinanciación de infraestructuras, no seremos fiables para albergar las grandes infraestructuras científicas internacionales. En mi opinión, esta insuficiente credibilidad está en el origen de que grandes instalaciones como el E-ELT [European Extremely Large Telescope], el ITER [International Thermonuclear Experimental Reactor] o la ESS [European Spallation Source] no hayan venido a nuestro país, a pesar de la calidad de las propuestas españolas. España no termina de ofrecer garantías de que pueda hacer un esfuerzo sostenible en el sostenimiento de la ciencia y

refiere a la “energía oscura”, en cuál es el agente responsable. ¿Es la constante cosmológica de Einstein? ¿Es otra cosa? A día de hoy, la “energía oscura” representa el 70% del total de la materia y energía del Universo, un 25% es un tipo de materia que se llama “oscura”, y ordinaria solo hay el 5%. Creemos que el experimento del AMS podría darnos algunas pistas sobre su naturaleza, pero también esperamos que en los experimentos del LHC del CERN se fabriquen partículas candidatas a explicar la “materia oscura”.

—*¿No da mucho vértigo pensar que lo máximo que nuestros sentidos captan es solo un 5% de todo lo que existe?*

—Eso lo que quiere decir es que hay que ser muy modestos. ■

Leonardos perdidos que salen a la luz, copias menospreciadas ascendidas a primera división, van goghs y rembrandts con sorpresa, viajes en 3D por el interior de cuadros emblemáticos... Algo bulle en las grandes pinacotecas y en los cenáculos del arte con mayúsculas, gracias a los hallazgos propiciados por el uso de sofisticadas tecnologías de última generación, que muestran a los expertos y al público lo que el ojo no ve. Se trata de aplicar la ciencia a la cultura, la creación y la conservación del patrimonio. Quién sabe si semejantes avances no conseguirán reescribir más de un capítulo de la Historia del Arte. ■ POR **Arantza Prádanos**, PERIODISTA.

Las tecnologías de vanguardia aplicadas al arte revolucionan los museos y la conservación del patrimonio cultural

'CSI': SE INVESTIGA CUADRO FAMOSO

"ESTO ES UN CROMATÓGRAFO DE gases con inyector automático, aquí el espectrómetro de masas, y un pirolizador que permite el estudio de materiales como los polímeros sintéticos. Funciona a base de corrientes de helio a muy alta temperatura; rompe las moléculas de una forma determinada en una atmósfera libre de oxígeno. Así consigo estos picos que ves aquí, en el ordenador. Y con el espectrómetro de masas de cada uno de estos picos puedo analizar su masa correspondiente y eso me da la pista de qué constituyente molecular tengo y, por tanto, de qué tipo de material se trata...". Carmen Muro habla a toda prisa y se hace difícil seguir sus explicaciones. Doctora en Ciencias Químicas, la responsable del laboratorio del Departamento de Conservación y Restauración del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, muestra al visitante algo parecido a unas "gominolas" de resi-



Muestra microscópica de un cuadro del Reina Sofía.

na traslúcida. "Mira, esto es un *dalí*. Y esto un *picasso*", dice. En realidad, son muestras microscópicas de sendos cuadros de ambos maestros o, lo que es lo mismo, el objeto de estudio a partir del cual Carmen Muro analiza la superposición de capas de pintura, su preparación y la aplicación de las mismas por los pinceles del autor. Aquí es fácil olvidar-

se de la pinacoteca colmada de turistas, varios pisos más abajo, y la atmósfera es más propia de un laboratorio de la serie *CSI*. Tan es así que, salvo porque es de día y entra luz a raudales, no sería extraño ver a Grissom exigiendo resultados del análisis de rastros hallados en el escenario de un crimen.

Es en gabinetes como este y en departamentos de tecnología avanzada, en universidades y centros de investigación, donde en los últimos tiempos se gesta una revolución, silenciosa al principio, solo para iniciados, pero que ya ha saltado a los medios de comunicación a golpe de grandes titulares. Una revolución que ha convertido *La Gioconda* olvidada del Museo del Prado en una prima donna coetánea y casi a la altura del original de Leonardo da Vinci, expuesto en el Museo del Louvre. El mismo proceso revolucionario que el pasado marzo autentificaba con tecnología de altos vuelos —espectroscopia de



MUSEO DEL PRADO



MUSEO DEL PRADO

La Gioconda del Museo del Prado, antes y después de su restauración, que ha permitido recuperar los colores originales del cuadro y el paisaje del fondo. Sobre estas líneas, Ana González Mozo (izda.) y Almudena Sánchez, dos de las restauradoras de la pinacoteca que han trabajado en la obra.



Bodegón con flores oreja de ratón y rosas, de Van Gogh, y el Retrato de don Ramón Satué, de Goya, que escondía el de un general francés.

fluorescencia de rayos X inducida por radiación de sincrotrón— el *Bodegón con flores oreja de ratón y rosas*, colgado en el museo holandés Kröller-Müller, como un *van gogh* genuino con “premio”: una pintura subyacente de dos luchadores. Y con técnicas igual de prodigiosas, en esta ocasión un escáner atómico de activación neutrónica, se busca, en medio de una polémica a la italiana, *La batalla de Anghiari*, el *leonardo* extraviado entre las paredes del Palazzo Vecchio de Florencia. Científico, ingeniero, inventor, amén de artista y curioso por naturaleza, el propio Da Vinci asistiría fascinado al despliegue de métodos cercanos a la ciencia ficción —muchos de ellos importados de la física experimental, la medicina o la industria— que escrutan el revés de la trama, la esencia molecular de telas y pigmentos, la materia física con la que se expresa el genio creador del artista. Sin duda, se trata de técnicas asombrosas que hacen hablar a cuadros cuyos autores enmudecieron hace ya mucho tiempo.

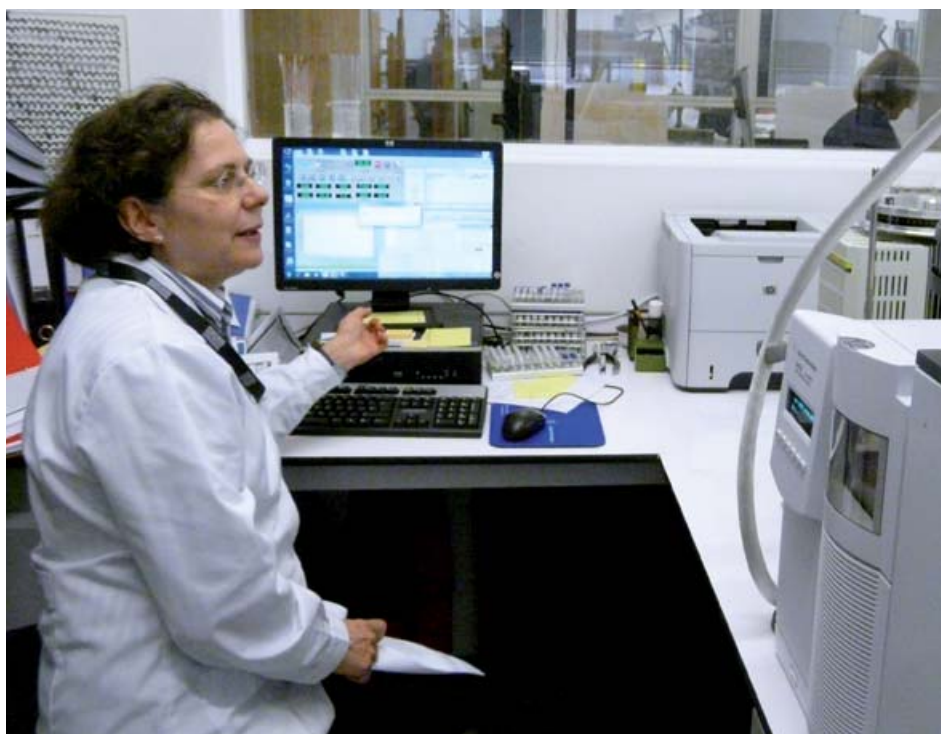
Arte y ciencia, una exitosa combinación

En los últimos meses, los ejemplos proliferan y tienen como protagonistas a gigantes de la pintura universal. Cada noticia obliga a un cursillo acelerado de nociones en química, física, óptica, tecnología nuclear... y su aplicación potencial al ámbito del arte y la conservación. En septiembre de 2011, el Rijksmu-

seum de Ámsterdam presentó al mundo al general francés —tal vez el mismo José Bonaparte— oculto bajo el *Retrato de don Ramón Satué*, de Goya. Fuera un cambio de planes del sordo de Fuendetodos, o bien un típico reciclado de telas, el caso es que solo con otra de esas técnicas futuristas —Scanning-Macro X Ray-Fluorescence Spectrometry—, que penetran bajo la capa superficial de la pintura y cartografían los pigmentos de la obra para crear una

imagen fotográfica a color de los estratos profundos, afloró esa presencia oculta que los estudiosos del museo holandés intuían bajo el *goya*. El mismo método, aplicado por dos especialistas en materiales y química de las universidades de Delft (Holanda) y Amberes (Bélgica), había deparado poco antes resultados igualmente espectaculares sobre óleos de Van Gogh, retratos pintados sobre otros de cuya existencia nada se sabía.

[pasa a la página 24]



Carmen Muro, responsable del laboratorio del Departamento de Conservación y Restauración del Reina Sofía.

Baja radiactividad

La llaman “el búnker” y se trata de una cámara acorazada, señalizada con el trébol o trisector identificativo de las radiaciones ionizantes, con la que cuentan los departamentos de conservación y restauración de los principales museos y pinacotecas. En “el búnker” alojan los pequeños aparatos de rayos X, controlados y homologados por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), utilizados en el análisis de los niveles interiores de obras de arte. “Pero no tenemos fuentes radiactivas. Aquí las emisiones son bajísimas, las mismas que cuando se hace una radiografía médica”, recalca Jorge García en su despacho del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

En Italia, no obstante, el equipo embarcado en la búsqueda de *La batalla de Anghiari*, el fresco perdido de Leonardo da Vinci en el Palazzo Vecchio de Florencia, fue en 2011 varios pasos más allá, al incorporar un escáner de última generación, de activación neutrónica. En su número de marzo, *National Geographic* daba detalles de su funcionamiento: “Un escáner atómico, emisor de haces de rayos gamma para registrar la respuesta en intensidad de los diferentes pigmentos, y comprobar si coinciden con



Boceto de Leonardo da Vinci para *La batalla de Anghiari*.

los usados en 1503 por Leonardo”. Un método que habría evitado taladrar el fresco de Giorgio Vasari que, supuestamente, cubre el de Da Vinci. Aparte del coste de esta tecnología puntera —dos millones de euros—, el temor a improbables emisiones radiactivas desaconsejó su uso. Ahora los investigadores han optado por la más convencional sonda, perforando en zonas desconchadas. Un método menos experimental, pero más invasivo. ■



En 2011, los investigadores que buscaban *La batalla de Anghiari*, en el Palazzo Vecchio de Florencia, recurrieron a un escáner de activación neutrónica.



Las meditaciones de San Juan Bautista, de El Bosco, esconde el retrato del mecenas del cuadro.

[viene de la página 22] Suma y sigue, en diciembre un grupo de investigadores holandeses de arte anunciaban el descubrimiento de un cuadro de Rembrandt, *Hombre mayor con barba*, pintado sobre un autorretrato del propio maestro. La autoría se confirmó gracias al uso del European Synchrotron Facility (ESRF) o Sincrotrón de Grenoble (Francia), compartido por todos los Estados de la Unión Europea (UE), y de otras técnicas acopladas, como la difracción de rayos X o la microscopía electrónica. Los haces de luz ultrapura que emite el sincrotrón llegan donde otras técnicas más convencionales son incapaces de hacerlo, incluso pueden penetrar en la materia y resultan particularmente útiles para el estudio profundo de las capas de policromía hasta un nivel molecular. Además, dicen los especialistas, permi-

te caracterizar la fluorescencia específica para cada elemento químico, de modo que cada pigmento y cada tipo de átomo de la pintura puedan identificarse independientemente.

Nuevas vías de investigación

Tanto el profano como el experto se topan con un proceso verdaderamente espectacular; pero, al final, lo más relevante de semejante despliegue tecnológico —reflectografías, escáneres multiespectrales, termografías y radares, dataciones por radiocarbono, cromatografías, microfotografías de electrones dispersados y un largo etcétera de técnicas— es el servicio que rinde al conocimiento. Las ciencias experimentales y las humanidades mano a mano. “Estas técnicas nos ayudan mucho porque, además de permitirnos ver bajo el visible, llegar adonde el ojo no ve, abren nuevas vías de investigación de las obras de arte y permiten enfrentarse a ellas de una forma muy distinta a como se hacía antes, cuando se disponía poco más que de las pistas estilísticas, sobre todo en pintura antigua”, dice Amparo López Redondo, conservadora jefe de la Fundación Lázaro Galdiano, museo que también ha concentrado recientemente la atención de los medios. Un equipo internacional certificó en febrero que el enigmático fruto de granada que El Bosco incluyó en *Las meditaciones de San Juan Bautista* ocultaba otro acertijo interior: el rostro de quien, suponen, fue el donante o mecenas y que, luego —misterios de autoría—, hizo mutis por el foro.

Aunque los métodos de análisis y detección han sido aquí más clásicos —reflectografía infrarroja y radiografía—, se trata de una iniciativa única. En 2016 se cumplirán cinco siglos de la muerte de Hieronymus Bosch, y el Bosch Research and Conservation Project reco-

rrer museos de todo el mundo, escrutando con técnicas de hoy sus extraños y geniales cuadros. “Lo mejor de este estudio —recalca López Redondo— es que es un mismo equipo interdisciplinar —un matemático que hace la composición de macrofotografía digital, varios historiadores del arte, restauradores y fotógrafos, con los mismos materiales, aparatos y parámetros— el que analiza las obras más significativas de El Bosco y, por tanto, los resultados serán comparables al cien por cien”.

Al hilo de estos hallazgos, Amparo López reflexiona sobre la pérdida de intimidad del pintor. El último grito en tecnología ayuda a autenticar, asignar autorías, desenmascarar fraudes y copias, y, también, a irrumpir sin ceremonia alguna en los secretos de los maestros. Lo que El Bosco, Leonardo y otros creían a salvo de miradas curiosas, oculto tras capas de pigmentos y colas, sale a la luz. “A veces, da un poco de rubor, sí”, ríe la conservadora jefe de la Fundación Lázaro Galdiano. “Con estos escáneres, espectrografías y demás se les ven las vergüenzas, los fallos, las correcciones, todo”.

Chequeo interdisciplinar

En el *Guernica* no hay arcanos ni arrepentimientos de pintor por descubrir; los documentó todos el propio Picasso en la que es, quizá, su obra más explicada, la más baqueteada por la historia y la guerra. Pero el viaje al interior de la tela que acomete ahora el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía es otra cosa. Un retrato digital del cuadro entero, hasta la última molécula, para conocer el estado de cada centímetro y, más aún, anticipar cómo evolucionarán sus múltiples heridas. Sin ponerle una mano encima ni descolgarlo. Hasta julio, un robot de eje cartesiano, diseñado a medida por la firma guipuzcoana Robolan, barre digitalmente los trazos picassianos. Armado de sensores y cámaras, con una precisión de 25 micras, ejecuta a razón de unas 2.000 fotografías secuenciales cada día de funcionamiento, con lo último en luz visible, infrarrojo multiespectral, luz ultravioleta, reflec-



Hasta julio, las entrañas del *Guernica*, de Picasso, serán analizadas en el Reina Sofía por un robot de eje cartesiano, formado por sensores y cámaras con el último grito en luz visible, infrarrojo multispectral y escaneado en tres dimensiones.

tografía espectral y escaneado en 3D. Un chequeo interdisciplinar —asistido también por el Departamento de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM)— como nunca antes se le había hecho al *Guernica*.

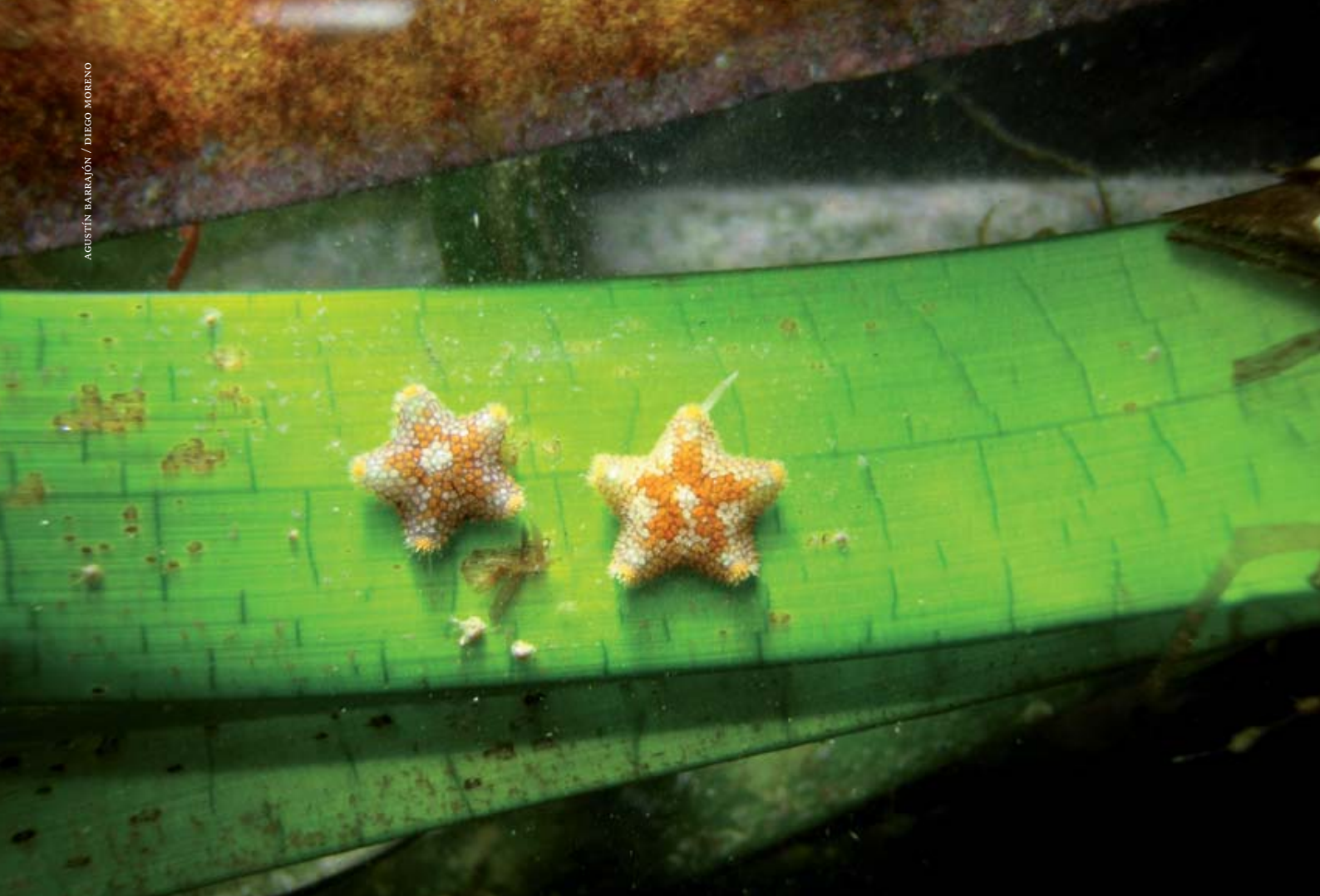
“El anterior fue en 1998: un estudio analógico de productos químicos, componentes, las fibras del soporte, las capas del color, los añadidos como la cera resina y las alteraciones que tenía. Pero no disponíamos de esa información sistemática respecto a toda la obra, solo de las zonas donde había daños”, recuerda Jorge García Gómez-Tejedor, jefe del Departamento de Conservación y Restauración del Reina Sofía. “Ahora no es que hayamos inventado la pólvora, pero hemos adaptado un mecanismo robotizado a la escala que exige el *Guernica*. Lo mejor es que vamos a disponer de toda la informa-

ción, completa, en formato digital; así, podremos cotejarla con el paso del tiempo y ver cómo varían los materiales, hoy, dentro de diez o veinte años. Y al ser una información sistemática de toda la obra, una vez procesada, será más fácil estudiar esta, incluidas todas sus capas; cómo se encuentra el cuadro y prever sus alteraciones”, señala Gómez-Tejedor.

Por su parte, Ubaldo Sedano, conservador jefe del Museo de Arte Thyssen-Bornemisza, ve en la acumulación de hallazgos espectaculares en el mundo del arte el fruto de una realidad objetiva. “Las colecciones pictóricas se estudian de manera continuada, con incorporación de nuevas tecnologías y con unos criterios cada vez más amplios, interdisciplinarios, y eso depara sorpresas agradables como estas”, dice. Una vez más, podría ocurrir en el Thyssen. El

museo celebra dos décadas de existencia y restaurará a la vista del público *El Paraíso*, de Tintoretto. Desde que se llevó a cabo el último repaso del cuadro —hace veinte años—, las innovaciones tecnológicas incorporadas al análisis químico y físico de materiales y pigmentos han dado un salto cualitativo, y los procesos digitales aportan aún más posibilidades a la conservación artística. “Por eso, estamos seguros de que será muy interesante analizarlo con los medios actuales”, concluye Sedano.

A raíz de la renovada *Mona Lisa* del Museo del Prado, el catedrático e historiador del arte Francisco Calvo Serraller dijo que “el pasado se reconstruye constantemente desde el presente”. Y, a la vista de algunos avances tecnológicos, casi podría decirse que también desde el futuro. ■



Entre las muchas virtudes de la *Posidonia oceanica*, se encuentra la de nutrir de recursos alimenticios al ecosistema marino.

La 'Posidonia oceanica' forma parte del catálogo de especies amenazadas en España

EL BOSQUE SUMERGIDO

En 2011, se actualizó el catálogo de especies amenazadas en España mediante un real decreto. El listado contempla un total de 898 animales y vegetales, lo que supone un incremento en algo más de 300 variedades con respecto al catálogo anterior (2006). Entre las nuevas incorporaciones destaca la *Posidonia oceanica* —una fanerógama marina—, vegetal que tapiza, formando auténticas praderas, amplias zonas del Mediterráneo en las que desempeña funciones ecológicas esenciales.

■ POR José María Montero, PERIODISTA AMBIENTAL.

HACE MEDIO SIGLO, LOS FONDOS marinos de la bahía de Algeciras (Cádiz) estaban tapizados por una densa vegetación que ofrecía refugio y alimento a un buen número de especies animales. El desarrollo industrial de la zona y el crecimiento de las poblaciones litorales originaron profundas alteraciones en el medio marino que afectaron gravemente a estas praderas acuáticas, que entonces ocupaban cerca de cuatro kilómetros cuadrados. Compuestas por fanerógamas, plantas con flores que proceden evolutivamente de sus parientes de tierra firme, estas comunidades vegetales actuaban casi como una selva sumergida. Aportaban recursos alimenticios al ecosistema, ofrecían cobijo a numerosos animales, retenían el suelo y estabilizaban los sedimentos, disminuyendo la turbidez de las aguas. Aprovechando todas estas ventajas, en torno a las praderas se asentaban otras especies animales y vegetales que finalmente constituían una gran comunidad, rica y diversa.

Sin fotosíntesis, las plantas mueren

Todo este entramado biológico, de cuya contemplación solo pudieron disfrutar los buceadores que frecuentaban la zona, comenzó a sufrir las consecuencias de una acelerada industrialización y del crecimiento demográfico que experimentaron los municipios litorales. Algunas zonas quedaron literalmente sepultadas por diferentes infraestructuras y a otras se les robó la luz, debido a los movimientos de tierras que enturbiaron las aguas de la bahía durante meses. En esas condiciones se impedía la fotosíntesis y las plantas terminaban muriendo. “Como si se tratara de una reacción en cadena —explica José Carlos García, director del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla—, todos estos ecosistemas, muy bien estructurados, se desmoronaron en poco tiempo”.

Nadie advirtió este fenómeno. La catástrofe se desarrollaba bajo el agua, lejos de los ojos de investigadores y curiosos. Por eso nada se hizo por evitarla y hoy de aquellas praderas apenas si quedan rastros. Los investigadores solo han



MANU SAN FÉLIX / WWF

En torno a la eficaz fanerógama marina que es la *Posidonia* se asientan variadas especies animales.

sido capaces de localizar pequeñas manchas, de unos pocos metros cuadrados. “Cuando un bosque se quema —añade García—, podemos advertirlo a distancia y actuar de inmediato, pero en el fondo del mar toda una comunidad biológica puede desplomarse sin que nos demos cuenta; por eso, las tareas de protección ambiental en este medio requieren de un cuidado muy especial”.

Los sucesos que se vivieron en Algeciras se han repetido, y se siguen repi-

tiendo, en otros muchos puntos del litoral español, y sus consecuencias han sido, y son, idénticas. Las fanerógamas marinas constituyen una de las piezas más frágiles de nuestro patrimonio natural, aunque permanezcan ocultas a los ojos de la mayoría de los ciudadanos. Por este motivo resulta especialmente importante la reciente inclusión de la más valiosa de estas especies, la *Posidonia oceanica*, en el catálogo de las amenazadas en España.



José Carlos García, director del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla. Arriba, Jorge Terrados, investigador del Imedeia.

Praderas en regresión

Posidonia oceanica es una planta con hojas, flores y frutos, semejante a las que nos encontramos en bosques y jardines, pero que vive en el mar, bajo el agua, entre la superficie y los cincuenta metros de profundidad, allí donde todavía hay luz que le permita desarrollar la fotosíntesis. Característica del mar Mediterráneo, enraíza en aquellos fondos que crean

suelo, llegando a formar grandes comunidades, auténticas praderas también llamadas algueros o *alguers*.

Las hojas de *Posidonia oceanica* son largas, en forma de cinta y de color verde intenso, redondeadas en su extremo, de poco más de un centímetro de anchura máxima y cuya longitud no suele superar el metro. Las plantas presentan haces, de seis u ocho hojas agrupadas,

que salen del tallo y se renuevan periódicamente.

En aquellos tramos costeros en donde se localizan praderas de esta especie es fácil identificarlas, debido a los acúmulos de tallos y hojas muertas que aparecen, en otoño e invierno, en las playas (los llamados arribazones). En España, la *Posidonia* crece desde el mar de Alborán hasta el cabo de Creus, así como en las islas Balea-

La competencia exótica

Las invasiones biológicas no solo se manifiestan en tierra firme. Bajo las aguas del Mediterráneo también se libra una batalla silenciosa que enfrenta a especies autóctonas y exóticas. Una batalla por la supervivencia.

En lo que se refiere a la *Posidonia oceanica*, la primera señal de alarma llegó con la *Caulerpa taxifolia*, un alga propia de mares tropicales que escapó en 1984 de los tanques del Acuario de Mónaco en los que se exhibía. En poco tiempo colonizó amplias zonas de la costa francesa, hasta alcanzar el litoral español. Allí donde se instala, el ecosistema queda reducido a una pradera de algas no comestibles, ya que es una especie tóxica, con lo que, además de verse afectada la diversidad biológica, también se pone en peligro la pesca.

A pesar de que la *Caulerpa taxifolia* se propagó muy rápidamente, en los últimos años, y por motivos que los expertos no terminan de aclarar, su presencia en aguas españolas —sobre todo en Baleares— parece haberse reducido y hoy no se considera una amenaza grave para la *Posidonia*.

Mucha más inquietud, aunque sean especies menos “populares”, despierta la presencia de otras algas exóticas que también podrían competir con las fanerógamas autóctonas. Es el caso de la *Lophocladia lallemandii*, la *Caulerpa racemosa*, la *Acrothamnion preissii* o la *Womersleyella setacea*, cuya distribución no ha dejado de crecer, conquistando zonas del litoral cada vez más extensas.

Todas estas especies, procedentes de otras latitudes, han llegado hasta el Mediterráneo español adheridas a los cascos de los barcos, sumergidas en el agua de lastre, enganchadas en las redes o en las anclas, o directamente

res. A juicio del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), “la distribución de esta fanerógama por el litoral mediterráneo español era casi continua, pero en la actualidad es muy irregular y ha desaparecido de muchos enclaves”.

Según el WWF, “hay estudios recientes en los que se señala cómo el 78% de las praderas de *Posidonia* del litoral español presentan una disminución en la densidad de haces, lo que parece confirmar que existe una regresión general en casi todas las praderas”. Este, y argumentos científicos similares, son los que justifican la inclusión de la especie en el citado catálogo oficial.

Lo cierto es que antes de que la nueva norma se dictara, Cataluña y la Comunidad Valenciana ya habían aprobado disposiciones que protegían a este vegetal y regulaban todo tipo de actuaciones en los enclaves en los que crece. En Cataluña, por ejemplo, viene funcionando desde 1994 una red de control de la calidad biológica de las praderas de fanerógamas que dispone de más de cuarenta estaciones fijas de seguimiento, repartidas por todo el litoral de la comunidad. Y en Murcia y Baleares también se realiza un seguimiento periódico del estado de salud de las praderas.

Andalucía, por su parte, acababa de poner en marcha un proyecto Life, dotado con más de tres millones y medio de euros, para mejorar la conservación de

las praderas que crecen en seis enclaves marinos declarados LIC (lugares de interés comunitario) y localizados en aguas de Almería, Granada y Málaga.

Es verdad que estas medidas llegan tarde en algunos casos, pero no es menos cierto que, a pesar de todo, aún se mantienen importantes praderas, bien conservadas, en Cabo de Gata (Almería), en la isla de Tabarca (Alicante), en las islas Medas (Gerona) o en la isla de Cabrera (Mallorca). En la mayoría de los casos, si no en todos, se trata de emplazamientos que se benefician de alguna figura de protección que limita el impacto humano. El reto ahora es extender esa tutela a todas las praderas, con independencia del lugar en el que crezcan.

Fábricas de oxígeno

La importancia ecológica de las praderas de *Posidonia* radica, en primer lugar, en su alta productividad. Hablamos, como asegura WWF, “del ecosistema clímax

más importante del mar Mediterráneo, equivalente a los bosques dentro de los ecosistemas terrestres”.

En estas comunidades vegetales sumergidas, se generan entre cuatro y veinte litros de oxígeno por metro cuadrado, algo que enriquece a todo el ecosistema y que, además, también beneficia a la propia atmósfera terrestre porque este gas, indispensable para la vida, “escapa” del medio marino. Y en lo que se refiere a la biomasa, las praderas son capaces de producir hasta 38 toneladas en peso seco por hectárea, los niveles más altos que se registran en el Mediterráneo, materia orgánica que ayuda a fertilizar los fondos marinos y también sirve como alimento a numerosos organismos.

El hábitat que conforman estas fanerógamas brinda cobijo a unas cuatrocientas especies vegetales y a más de mil animales, una extensa comunidad de seres vivos en la que destacan algunos organismos que no son capaces de habitar en ningún otro lugar y que, por tanto, dependen de estas praderas para su supervivencia. Esta característica resulta también fundamental para la reproducción, puesta y alevinaje de peces, moluscos y crustáceos, muchos de ellos de claro interés comercial y, por tanto, decisivos para el mantenimiento de ciertas economías locales vinculadas a la pesca.

La *Posidonia* presta, incluso, discretos servicios al turismo, ya que, como



Caulerpa taxifolia, presente en el Mediterráneo.

introducidas por el hombre a través de la acuicultura o la acuariofilia. En definitiva, los modernos sistemas de transporte son los que han facilitado la mayor parte de estas invasiones.

De forma involuntaria, los grandes buques transportan a diario miles de especies animales y vegetales que, a veces, llegan a instalarse en puntos muy alejados de los espacios naturales que les son propios. El agua de lastre, que los barcos cargan en sus puertos de origen para estabilizarse y que luego liberan en los de destino, constituye un excelente refugio para muchas de estas especies. “Cada una de estas embarcaciones —asegura Carlos Fernández, catedrático de Zoología de la Universidad de Córdoba— puede ser considerada como una auténtica isla biológica flotante, con cientos de especies sobre ella y en su interior”.

Un gran carguero con las bodegas vacías puede llegar a almacenar 100.000 toneladas de agua de lastre, cuando en un solo metro cúbico de este agua llegan a vivir hasta 50.000 individuos de algunas especies. Los estudios que se han llevado a cabo en Alemania precisan que, como media, cada buque que arriba a puertos de este país transporta más de cuatro millones de individuos de fauna acuática.

A juicio de Carlos Fernández, que ha estudiado este problema en aguas del estuario del Guadalquivir, puede afirmarse que cada día unas 7.000 especies animales y vegetales circulan alrededor del mundo utilizando este sistema de transporte. “El problema es tan serio —advierte Fernández— que los estuarios, bahías y zonas interiores con puertos constituyen los ecosistemas más amenazados del planeta”. ■



El hábitat constituido por la *Posidonia* cobija cerca de 400 especies vegetales y más de 1.000 animales.

explica Jorge Terrados, investigador del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (Imedeia), “las praderas de *Posidonia* que se encuentran cerca de la orilla y hasta los cuarenta metros de profundidad, favorecen la transparencia del agua, uno de los principales atractivos turísticos de Baleares, ya que la planta se alimenta de los nutrientes del agua”.

Terrados explica, además, que las raíces de estas plantas se descomponen muy lentamente y se acumulan en el sedimento, generando así “un auténtico almacén de carbono” que reduce la presencia de este elemento en la atmósfera. “La praderas de *Posidonia* —concluye— contribuyen a secuestrar y fijar carbono atmosférico”, una virtud más que apreciable en el combate contra el cambio climático.

Amiga de las playas

La presencia y buena conservación de estos “bosques submarinos” ayuda, asimismo, a frenar los procesos de erosión que afectan a la costa. La desaparición de numerosas playas en distintos puntos del Mediterráneo se ha debido a la previa eliminación de estas praderas, arrasadas por obras, contaminación, extracción de arena, pesca de arrastre o anclaje de embarcaciones. Este tipo de problemas han tratado de corregirse mediante la construcción de diques y otras estructuras artificiales que han pro-

vocado nuevas alteraciones. Un círculo vicioso que, al final, suele conducir a la creación de playas artificiales que deben ser reconstruidas cada cierto tiempo.

En algunos casos, como ocurre en Roquetas de Mar (Almería) o en La Azohía (Murcia), la pradera puede llegar a crear una estructura longitudinal paralela a la costa, y cercana a la superficie, denominada arrecife-barrera. Esta estructura, como explica WWF, “se interpone entre el mar y la costa, atenuando el efecto del oleaje en las playas”. En condiciones favorables, la elevación de estas barreras se estima en un centímetro por año.

Incluso el acúmulo de hojas secas sobre las playas (arribazón) atenúa el efecto del oleaje sobre la arena, protegiéndola y evitando la regresión de la línea de costa, un factor particularmente valioso en invierno, cuando los fuertes temporales multiplican los riesgos de erosión.

La regresión de las praderas de *Posidonia* se debe a la suma de varias amenazas ya citadas. Por una parte, la pesca ilegal de arrastre, a menos de cincuenta metros de profundidad, causa un notable impacto físico en muchas de estas praderas. Por otra, las obras de infraestructuras litorales (puertos, espigones o regeneración de playas) y la contaminación producen cambios significativos en la dinámica litoral y en la turbidez del agua, dos factores que afectan de forma nega-

tiva a estas plantas. El fondeo de embarcaciones sobre las praderas causa también importantes daños, y la presión turística estival, que multiplica la intensidad de muchos de estos impactos, completa el catálogo de problemas que hipotecan el futuro de estos vegetales.

Supresión de la pesca ilegal

El proyecto Life que se aprobó el año pasado en Andalucía reúne algunas de las acciones de conservación que sería necesario extender a todas las praderas de *Posidonia* del Mediterráneo español. Por ejemplo, en dos de las praderas andaluzas de mayor interés (la de Roquetas de Mar y la de los acantilados de Maro Cerro-Gordo, en el límite entre Málaga y Granada) se pretende disminuir en un 80% el fondeo de embarcaciones y eliminar por completo la pesca ilegal de arrastre. Asimismo se van a cartografiar al detalle todas las comunidades de *Posidonia* y disponer de una red de monitorización, atendida por un centenar de voluntarios, que permita la alerta temprana en caso de amenaza o degradación. Como elementos activos de protección se instalarán cuarenta boyas de fondeo que eviten el anclaje de embarcaciones en las zonas más sensibles, y arrecifes artificiales que impidan la pesca de arrastre.

Si la reforestación de un bosque quemado es una tarea compleja cuyos resultados solo se aprecian a muy largo plazo, mayores dificultades entraña recuperar este tipo de vegetación submarina en aquellos lugares en los que ha desaparecido o sufre un fuerte deterioro. En estas zonas, algunos especialistas han sugerido reimplantar las fanerógamas por procedimientos que podríamos denominar “de jardinería submarina”, algo que ya se ha ensayado, con cierto éxito, en países como Australia. Sin embargo, como ocurre con todas las especies amenazadas, de nada sirven estos complejos y costosos procedimientos si al mismo tiempo no desaparecen las circunstancias adversas que han colocado a la *Posidonia* en una situación más que comprometida. La concienciación es, en estos casos, la herramienta más poderosa, y la más barata. ■

Este artículo completa la serie sobre mecanismos de toma de decisiones para la selección del emplazamiento de instalaciones de gestión de residuos radiactivos de alta actividad en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Su objetivo es ofrecer una visión de cómo se integra a la ciudadanía y a las partes interesadas (*stakeholders*) en esta cuestión. En el caso de Canadá, Francia y el Reino Unido, los habitantes de las poblaciones donde se ubicarán los almacenes geológicos en profundidad tienen la oportunidad de implicarse en el debate de las soluciones que proponen sus autoridades y en el proceso de decisión. ■ **POR Mariano Molina, JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RELACIONES INTERNACIONALES DE ENRESA.**

*Ubicación de los almacenes geológicos y ciudadanía:
los casos de Canadá, Francia y el Reino Unido*

Mecanismos de toma de decisiones en los países de la OCDE para el emplazamiento de instalaciones de residuos radiactivos (y III)

CANADÁ, FRANCIA Y EL REINO UNIDO son tres países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que han optado por el almacenamiento geológico como solución final para sus residuos de alta actividad y que han puesto en marcha programas de búsqueda de un emplazamiento para este fin. Al igual que en EE.UU., Finlandia y Suecia (ver ESTRATOS, nº 95, verano de 2010), los programas de residuos de alta canadiense, francés y británico han establecido mecanismos de participación social para que sus ciudadanos y las poblaciones de los potenciales emplazamientos puedan participar en la discusión de las soluciones propuestas y se impliquen activamente en los procesos de decisión.

Los tres países a los que se hace referencia aquí han iniciado sus programas con posterioridad a los casos estadounidense, finlandés y sueco, y, en términos

generales, tienen previsto que sus almacenes geológicos empiecen a operar más tarde. Los procedimientos de participación pública que están aplicando se han beneficiado de las experiencias de EE.UU., Finlandia y Suecia y, como se explica a continuación, suponen una adaptación mejorada a las condiciones y características propias de cada país.

Canadá

El 15% de la electricidad producida en este país se genera en centrales nucleares. El parque actual consta de 20 reactores, que suman una potencia de 12.652 megavatios (MW) y están diseñados según la tecnología Candu: uranio natural moderado con agua pesada, desarrollada por Canadá desde los años sesenta. La industria nuclear canadiense es prácticamente autosuficiente, ya que abarca las distintas etapas del ciclo del combustible nuclear, excepto aquellas

que la tecnología Candu no necesita (enriquecimiento y reproceso). Canadá es el primer productor mundial de uranio, con una cuota de mercado del 20,5%, y el segundo de los países con mayores reservas de este elemento.

Las compañías productoras de energía son las responsables de las operaciones del ciclo del combustible nuclear. Según lo dispuesto en la Ley de Residuos del Combustible Nuclear de 2002, crearon la Nuclear Waste Management Organization (NWMO) u Organización Canadiense para la Gestión de los Residuos Nucleares como entidad responsable de desarrollar y recomendar diferentes opciones de gestión a largo plazo del combustible gastado, así como de llevar a cabo la seleccionada por el Gobierno.

Los planes iniciales de Canadá para conseguir emplazamientos en los que ubicar sus repositorios de residuos radiac-

Gráfico 1. Proceso de gestión a largo plazo del combustible gastado en Canadá



tivos se desarrollaron en la década de los ochenta del pasado siglo. Dichos planes fueron liderados por la Atomic Energy of Canada Limited (AECL), instituto público de investigación nuclear que en varias ocasiones encontró dificultades de tipo social para avanzar en el estudio de aquellos lugares que había considerado adecuados.

En 1988, el Ministerio Federal de Recursos Naturales estimó oportuno detener los trabajos de la AECL y efectuar una evaluación ambiental del concepto de repositorio en profundidad para el combustible gastado. Para ello, el Ministerio Federal de Medio Ambiente estableció un Panel de Evaluación Ambiental (Panel Seaborn). Tras diez años de trabajos, el Panel emitió una serie de recomendaciones, entre las que destacaban la necesidad de desarrollar planes incluyentes de participación pública y crear un marco de evaluación ético y social que contemplara el principio de justicia intergeneracional. Todo ello debía desembocar en la emisión de una resolución política sobre la gestión del combustible gastado.

Las recomendaciones del Panel fueron la base para la redacción de una ley, aprobada en 2002, que concretó el marco institucional de la gestión definitiva del combustible gastado y el calendario

para su implantación. De acuerdo con su mandato, NWMO, tras un proceso de consulta general a la población canadiense, remitió en 2005 al Ministerio de Recursos Naturales un estudio de opciones para la gestión definitiva del combustible nuclear gastado. Las tres opciones estudiadas respondían a las alternativas de almacenamiento en las piscinas de las centrales, almacenamiento en superficie en un emplazamiento centralizado y almacenamiento en un repositorio geológico. Dado que ninguna de estas opciones contaba con una preferencia destacada respecto a las otras por parte de la población, NWMO desarrolló una cuarta posibilidad basada en la combinación de las anteriores, más un proceso de Gestión Adaptativa por Etapas (Adaptative Phase Management, APM). El informe se completó tras tres años de estudios y en él participaron 18.000 ciudadanos de todo el territorio canadiense. La opción APM consiste en tres etapas sucesivas:

— Primera etapa, de una duración aproximada de treinta años: se mantiene el combustible gastado en las centrales nucleares; mientras, se selecciona un emplazamiento para centralizar su almacenamiento (futuro repositorio geológico) y se decide si construir este último a baja profundidad. En caso de no con-

seguirse una licencia para el almacenamiento centralizado, los residuos permanecerían en las centrales nucleares y se mantendría el objetivo de contar con un repositorio geológico.

— Segunda etapa, cuya duración se estima en treinta años: se inicia y desarrolla el programa de investigaciones para caracterizar el emplazamiento elegido con almacenamiento centralizado o no.

— Tercera etapa: se construye el almacén geológico, se emplaza el combustible en el repositorio en profundidad y comienza la etapa de vigilancia. Esta fase queda abierta a la recuperación y retirada del combustible, si así lo decidiesen los ciudadanos, quienes, además, tienen la capacidad de decidir cuándo finalizará el programa de investigaciones y caracterización, así como la clausura del repositorio. Este enfoque asegura que el combustible gastado pueda ser vigilado y recuperado.

En opinión de NWMO, el sistema de gestión propuesto tiene la ventaja de ser por etapas y adaptativo, lo que implica fases realistas, moldeables y flexibles, permitiendo tomar decisiones a favor o en contra en cada momento, así como tener en consideración los nuevos descubrimientos y el estado del conocimiento, además de los cambios sociales que se puedan producir.

Esta aproximación fue adoptada por el Gobierno federal en julio de 2007. Hasta 2010, NWMO trabajó en diseñar la implementación del APM mediante la consecución de un consenso con la población y los principales agentes sociales sobre el marco de principios y condiciones para diseñar el Plan de Búsqueda de Emplazamientos. El APM está basado en los principios de transparencia, equidad, colaboración y voluntariedad. En los próximos cinco años, NWMO tiene como principales objetivos la creación de relaciones sostenibles con las poblaciones interesadas, el avance en la investigación social y técnica, y el progreso en el diseño cooperativo del proceso de selección de emplazamientos.

Francia

La energía nuclear es la principal fuente de producción de electricidad en Francia: 58 reactores nucleares generan, aproximadamente, el 78% de la energía eléctrica producida en este país. El sector nuclear galo abarca la totalidad del ciclo nuclear, ya que dispone de todas las instalaciones necesarias para la fabricación y empleo del combustible nuclear (minería, conversión en hexafluoruro de uranio, enriquecimiento, fabricación de combustibles y reproceso) y cuenta, además, con una serie de importantes centros de investigación. La estrategia ener-

gética adoptada es el reproceso del combustible gastado con reciclado del plutonio y parte del uranio.

La política general sobre gestión de residuos de alta actividad está definida por la Ley sobre el Programa relativo a la Gestión Sostenible de las Materias y Residuos Radiactivos de 2006, que establece, como opción preferente de gestión definitiva, la disposición en un almacén geológico. Para esta cuestión, la Ley concreta las condiciones en que se debe construir el repositorio: la instalación debe estar basada en el concepto de reversibilidad y ninguna solicitud de autorización para su construcción puede presentarse hasta que no se remita una ley al Parlamento sobre las condiciones en que será reversible. En la misma disposición se señala el año 2015 como fecha en que el borrador de la norma sobre reversibilidad debería estar redactado y se contempla 2025 como fecha de inicio de la construcción del repositorio. Actualmente, todos los trabajos están concentrados en una formación arcillosa en el este de Francia, en la frontera entre los departamentos de Haute-Marne (región Champagne-Ardenne) y Meuse (región de Lorena). Allí funciona desde 2004 el laboratorio subterráneo de Bure.

La Ley 2006 y sus implicaciones en la designación de un emplazamiento para el repositorio geológico de residuos

de alta actividad son la consecuencia de una política iniciada en 1991, cuando el Parlamento francés aprobó la ley sobre la investigación de residuos radiactivos. En 1991, se optó por abrir un periodo de quince años de investigaciones en tres ámbitos de la gestión: el almacenamiento a largo plazo en instalaciones de superficie o próximas a ella, el almacenamiento geológico en profundidad y la separación y transmutación de los combustibles irradiados. Tras este periodo, y a la vista de los resultados obtenidos por los institutos investigadores, se decidiría la opción más conveniente. Para facilitar la labor de estudio en repositorios en profundidad, la Ley de 1991 estableció la necesidad de efectuar investigaciones en laboratorios en diversas formaciones geológicas y se indicó que los lugares en los que se implantaran fueran designados tras la conformidad de sus poblaciones. La misión de investigación fue asignada a la Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactives (ANDRA) o Agencia Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos.

El proceso de búsqueda de emplazamientos candidatos para albergar los laboratorios fue dirigido por un diputado de la Asamblea Nacional que actuó como mediador para proporcionar información al público, abrir el diálogo y facilitar la toma de decisiones. El proceso de negociación y estudio de viabilidad



La planta de reprocesado de combustible de La Hague, en Normandía (Francia), cuya capacidad es de unas 1.700 toneladas anuales, funciona desde 1976.

Gráfico 2. Las diferentes etapas del proyecto de almacén geológico en Francia



se desarrolló entre 1993 y 1998, y comprendió cuatro departamentos: los dos indicados anteriormente en el este de Francia; el departamento de Gard, en la Provenza, y el de Vienne, en la región de Poitou-Charentes, cerca de la costa atlántica, en el oeste del país. En todos los emplazamientos se realizaron encuestas públicas (figura legal francesa de consulta pública) que reflejaron opiniones positivas hacia los laboratorios por parte de la mayoría de los colectivos consultados. El análisis técnico de las formaciones geológicas por las autoridades de seguridad nuclear descartó el emplazamiento granítico de Vienne y, entre los dos arcillosos de Gard y Meuse/Haute-Marne, favoreció a este, en cuyo territorio fue autorizada la construcción del laboratorio en 1999. La designación de Bure en Meuse/Haute-Marne implicó la creación de un Comité Local de Información y Seguimiento (CLIS), similar a los que funcionaban en todos los emplazamientos nucleares franceses, con la misión de dar estructura a la información y participación ciudadana durante el proceso de funcionamiento del laboratorio y posterior trámite administrativo. Del mismo modo, se han creado dos Grupos de Interés Público, uno por cada departamento implicado, para la gestión de los paquetes de beneficios socio-económicos.

En la actualidad, ANDRA realiza investigaciones en profundidad sobre una zona de treinta kilómetros cuadrados próxima al laboratorio de Bure. La

zona fue propuesta en 2009, según criterios científicos y técnicos y tras consultar a los principales colectivos locales. Las investigaciones fueron informadas favorablemente por el organismo regulador y el CLIS. Los datos que se están obteniendo servirán para completar la propuesta que ANDRA remitirá al Gobierno, a finales de año, para seleccionar el lugar donde se ubicará el repositorio geológico. A partir de ese momento, los pasos principales en el proceso de decisión serán:

- Entre 2012 y 2013, realización de un debate público, a nivel nacional, sobre la propuesta de almacenamiento geológico profundo de ANDRA.

- Designación del emplazamiento en 2013.

- Redacción y envío de la solicitud de construcción del almacén geológico en 2014.

- Elaboración y remisión, a lo largo de 2015, de los informes preceptivos de la Oficina Parlamentaria sobre Opciones Tecnológicas y Científicas, de la Comisión Nacional sobre Evaluación, de la Autoridad Reguladora de la Seguridad Nuclear, y de las Comunidades y Autoridades Territoriales afectadas.

- Discusión del proyecto de Ley sobre Condiciones para la Reversibilidad en 2015.

Reino Unido

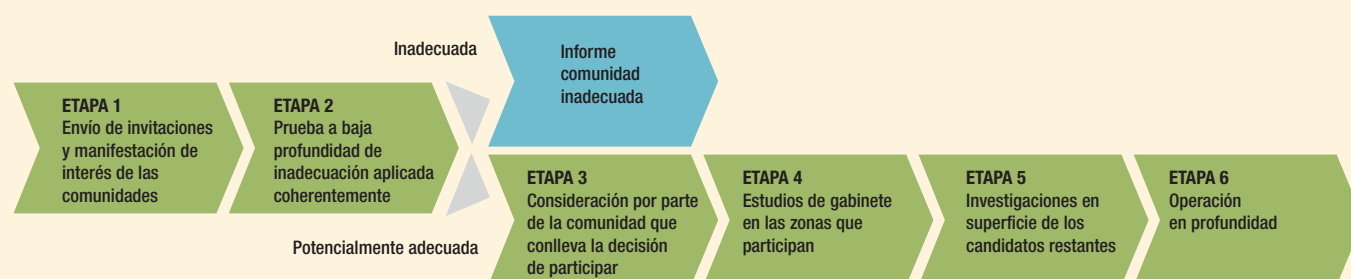
El Reino Unido cuenta con 23 reactores nucleares (8 Magnox, 14 AGR y un PWR), que, con una potencia instalada

total de 11.852 MWe, aportan el 20% de la producción de energía eléctrica del país. El Gobierno confirmó en 2008 que respaldaba la construcción de una nueva generación de plantas nucleares para responder a las necesidades energéticas del Reino Unido. Este programa de energía nuclear comercial dispone de un amplio rango de instalaciones del ciclo del combustible, que comprende desde la conversión a hexafluoruro de uranio hasta el reproceso de combustible nuclear irradiado.

Durante mucho tiempo, el Reino Unido no ha dispuesto de una política definida para la gestión definitiva de los residuos de alta actividad. Sin embargo, a comienzos de 2002, el Gobierno anunció el inicio de un proceso para decidir la mejor manera de gestionar a largo plazo los residuos de alta actividad. Para ello se creó un comité independiente en 2003, el Committee on Radioactive Waste Management (CORWM), que debía analizar las opciones de gestión desde una perspectiva técnica y social. El CORWM desarrolló un proceso de análisis y discusión que había de culminar en 2005 con la recomendación de adoptar un repositorio geológico profundo (AGP) como mejor solución final. La propuesta fue avalada por el Gobierno en 2007; posteriormente se realizó una consulta pública de ámbito nacional sobre la forma de implantar el proceso de selección de emplazamientos y, en la primavera de 2008, el Gobierno presentó el procedimiento elegido mediante el documento de política *White Paper 'A framework for implementing geological disposal'*.

El CORWM ha sido una pieza clave en la puesta en marcha de esta política. Formado originalmente por once miembros provenientes sobre todo del ámbito universitario y científico, su composición es plural y en su seno están presentes desde un antiguo director de la agencia de gestión de residuos radiactivos hasta un antiguo director de Greenpeace UK y fundador de Friends of the Earth. El proceso seguido por el CORWM contó con la participación de 5.000 personas, tanto ciudadanos bri-

Gráfico 3. Proceso de gestión a largo plazo de los residuos de alta actividad en Reino Unido



tánicos como extranjeros, que actuaron de forma individual o en representación de diversos colectivos. El Comité presentó al Gobierno quince recomendaciones en 2005, entre las cuales destacaba la consideración, como mejor opción, del almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad en formaciones geológicas profundas. Este objetivo final debía incluir un programa de almacenamiento intermedio, un proceso de decisión paso a paso y la participación de las comunidades locales en el proceso de selección de emplazamientos, basándose en los principios de voluntariedad, derecho de veto, asociación (*parternariado*) y beneficios comunitarios.

El proceso iniciado por el Gobierno británico se organiza, básicamente, en seis etapas, tal como se muestra en el gráfico adjunto. Las comunidades invitadas pueden mostrar su “expresión de interés” (etapa 1), decidir participar (etapa 3) y resolver, si los estudios de gabinete y las investigaciones a baja profundidad lo favorecen, que el emplazamiento sea investigado en profundidad para convertirse eventualmente en un repositorio geológico (etapa 6). Hasta esta última decisión, las comunidades voluntarias retienen la capacidad de retirarse del proceso (derecho de veto).

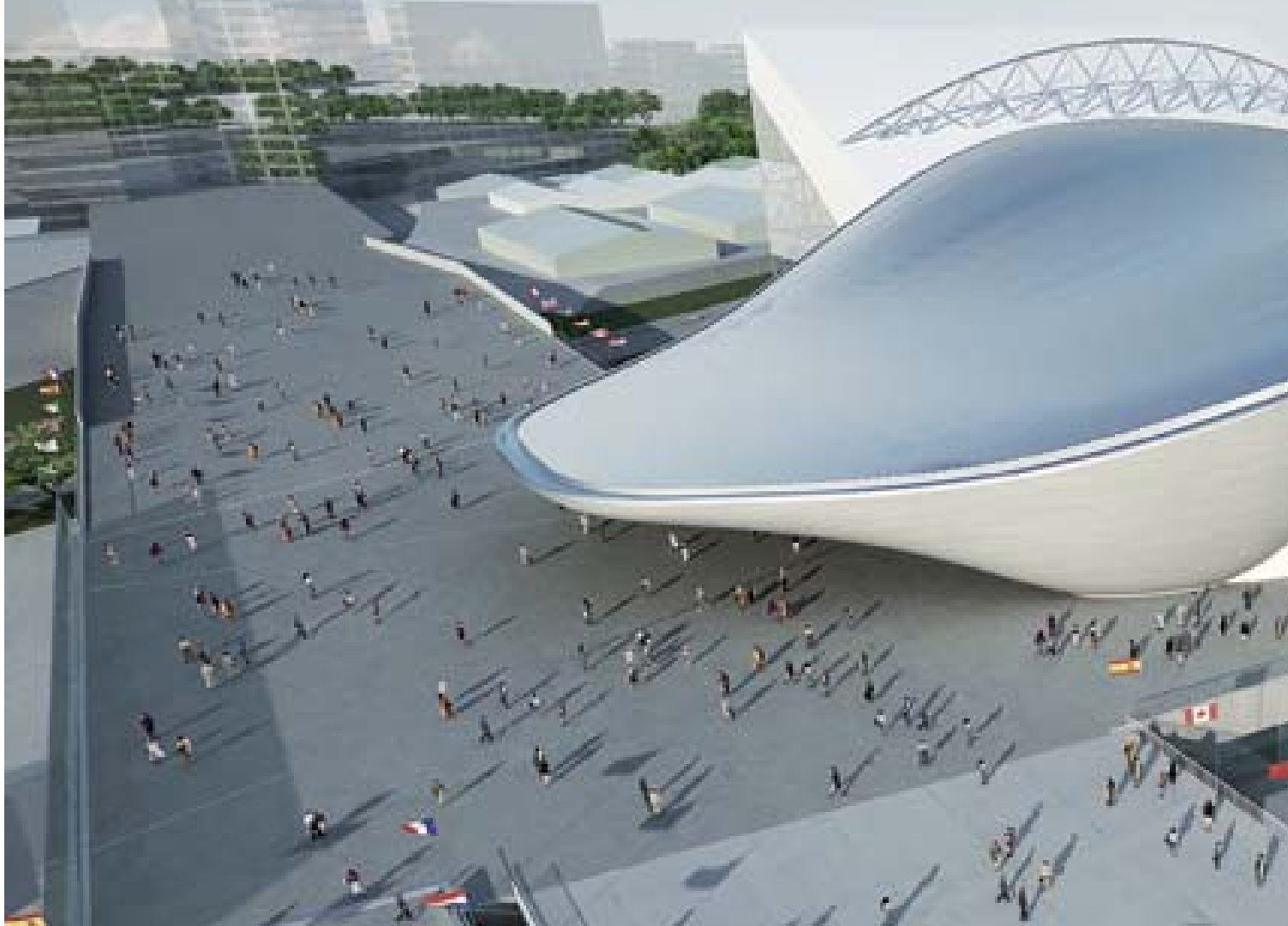
En la práctica, tras la aprobación del *White Paper*, el Gobierno británico ha in-

vitado a todas las autoridades locales de Inglaterra y Gales (Escocia decidió no suscribir la estrategia de almacenamiento final adoptada para el resto del país) a “expresar su interés” en discutir con el Gobierno su potencial participación en el proceso de emplazamiento. Hasta la fecha, tres comunidades locales del noroeste de Inglaterra (Allerdale Borough Council, Copeland Borough Council y Cumbria County Council) han manifestado su interés en participar en el proceso. Para ello han creado el *parternariado* de West Cumbria, una asociación de intereses que incluye a las tres autoridades locales, los municipios vecinos, los representantes de parroquias y sindicatos, la Cámara de Comercio y grupos comunitarios. Miembros del Ministerio de Energía y Cambio Climático participan en las reuniones de la asociación como observadores. El proceso de diálogo, intercambio de información y comunicación se organiza alrededor del *parternariado*, cuyos gastos son financiados por el Gobierno. El West Cumbria Partnership evalúa actualmente los distintos puntos de vista sobre si las autoridades locales deberían tomar la decisión de participar en etapas posteriores del proceso de selección de emplazamiento. Se espera que el Partnership haga una recomendación a las autoridades locales sobre su posible participación a principios de 2012.

Aunque el proceso de decisión no tiene límite de fechas, el Ministerio de Energía estima que alrededor de 2025 podría producirse la designación del emplazamiento del almacén en profundidad, que empezaría a operar en 2040. ■



El complejo de Sellafield, que se encuentra en Reino Unido, alberga dos plantas de reprocesado de combustible y un reactor nuclear, entre otras instalaciones.



Cambio climático, biodiversidad, residuos, inclusión social y vida saludable, aspectos clave del proyecto olímpico

Londres busca el **oro** en sostenibilidad

Londres 2012 compite por la medalla de oro en sostenibilidad. Faltan solo unos meses para que la ciudad acoja los Juegos Olímpicos y, aunque es el único contendiente de esta disciplina, llegar a lo alto del podio no le será fácil. Se trata de una carrera de fondo que se disputa desde 2004, cuando la ciudad presentó su candidatura. En la especialidad de las renovables, ya se ha quedado atrás. Tuvieron que descartar la construcción de una turbina eólica para suministrar el 20% de la energía necesaria en la Villa Olímpica. Otros retos, en cambio, han sido superados: en el 85% de las obras se ha recurrido a materiales reciclados. ■ POR **Maruxa Ruiz del Árbol**, PERIODISTA.



Diseñado por la arquitecta Zaha Hadid, el edificio que albergará las piscinas olímpicas es uno de los más singulares del proyecto Londres 2012.

ESTE VERANO, LA CIUDAD DEL TÁME-sis será sede de los Juegos Olímpicos por tercera vez en la historia. En 1908 asumió el reto de organizar el evento con solo un año de antelación. La capital elegida por el Comité Olímpico había sido Roma pero la gran erupción del Vesubio, en 1907, obligó a Italia a invertir todos sus recursos económicos y organizativos en la reconstrucción de Nápoles y la responsabilidad del remplazo recayó sobre Londres. Los de 1948 se conocieron como “los Juegos de la austeridad”, porque la capital británica aún se estaba recuperando de los destrozos sufridos durante la II Guerra Mundial. Ahora, en esta tercera ocasión, el reto marcado es tan distinto como acorde con los tiempos: convertirse en el organizador más sostenible de toda la historia olímpica.

El espectáculo comenzará el 27 de julio, pero el pistoletazo de salida para lograr la sostenibilidad se dio hace ya mucho, en 2004. Se calcula que 75 peniques

de cada libra invertida en las obras, que han costado un total de 11.000 millones de libras (13.000 millones de euros), han sido destinados a trabajos relacionados con el medio ambiente. El comité organizador persigue la creación de un evento 100% ecológico, por eso su plan de acción ha examinado cómo lograr una sostenibilidad a 360 grados, es decir, desde que se puso la primera piedra hasta que el último atleta paralímpico abandone la Villa el próximo 9 de septiembre e incluso más allá, después de los Juegos Olímpicos. “Cada estadio tiene una historia de sostenibilidad que contar. Nosotros aceptamos ese compromiso desde el principio y pensamos en ello a la hora de elegir a los diseñadores y las empresas de construcción”, asegura Lord Coe, el director del London Organising Committee of 2012 Games (Locog), el otrora campeón del medio fondo Sebastian Coe.

En citas olímpicas anteriores, las competiciones se han repartido en varios recintos distribuidos por toda la ciu-

dad. Esta vez, el epicentro estará en la Villa Olímpica de Stratford —al este de la ciudad—, la más grande puesta en pie en más de cien años. Fuera del parque solo se celebrarán las competiciones de piragua, remo y vela.

Sus 2,5 kilómetros cuadrados de extensión concentran los esfuerzos de este ambicioso proyecto de sostenibilidad que se asienta en cinco aspectos clave: cambio climático, biodiversidad, residuos, inclusión social y vida saludable. Los dos últimos objetivos se refieren a la herencia olímpica, un concepto que, cuanto más se aproxima la fecha, se escucha de manera cada vez más obsesiva en las conversaciones de los londinenses.

Al igual que sucedió con el barrio de Montjuïc en Barcelona 92, Londres quiere aprovechar la gran ocasión para regenerar su zona este. El Ayuntamiento de la ciudad ha unido esfuerzos para que lo mejor de esta herencia se lo lleven los barrios del East *[pasa a la página 39]*



Un estadio flexible

De 80.000 a 25.000 asientos. El estadio emblemático de los Juegos Olímpicos de Londres se ha concebido como un gigantesco transformable capaz de reducir drásticamente su capacidad cuando terminen las competiciones. Allí se llevarán a cabo la apertura, la clausura y las pruebas de atletismo. Pero una vez que la ceremonia de clausura ponga el punto final a los Juegos Olímpicos, el estadio habrá de desempeñar un nuevo papel en la vida de la comunidad local.

Su diseño es, probablemente, uno de los menos sexy de toda la historia olímpica. El centro acuático y el velódromo, con forma de cuchara sopera, son mucho más atractivos a la vista que esta gigantesca mole que recuerda a un estadio de fútbol convencional. Sin embargo, a pesar de la simplicidad de su apariencia, el deseo de que en el futuro sea un espacio útil ha hecho de la instalación un reto técnico espectacular. Su construcción está terminada desde marzo de 2011, quinientos días antes del comienzo del evento. La unión de la perspectiva global y local es la cla-



En la página anterior, dos vistas del Estadio Olímpico; exterior del Basketball Arena e interior del edificio de las piscinas olímpicas y del velódromo. La cubierta de esta última construcción, sobre estas líneas, está concebida con criterios bioclimáticos.

[viene de la página 37] End y facilitar el desarrollo de este punto cardinal de la capital en las próximas décadas. El Parque Olímpico se encuentra en un valle del río Lea y linda con cuatro gobiernos locales —Newham, Tower Hamlets, Waltham Forest y Hackney— depauperados en comparación con las zonas más acomodadas del oeste. Todos estos gobiernos están en pleno proceso de diálogo con el comité organizador respecto a cómo heredar el parque y utilizarlo con distintos fines.

Construir una Villa sostenible

La herencia de esta Villa sostenible florecerá a finales de 2012, pero su éxito comenzó a fraguarse antes incluso de la colocación del primer ladrillo. El 90%

de los materiales, que ya lucen como nuevos y aguardan la llegada de los atletas, son escombros reciclados y reconvertidos que, años atrás, vivieron otra vida menos glamurosa, como materiales industriales y lejos de antorchas olímpicas, podios y focos.

Se tuvieron que derruir más de 220 edificios, que quedaron reducidos a miles de toneladas de escombros y han sido reutilizados en la construcción de la Villa. Además, sobre el suelo que pisarán los diez millones de asistentes previstos se levantaron una vez numerosas fábricas, por lo que, después de cien años de uso industrial, este terreno estaba gravemente contaminado. Para regenerar la zona, la tierra tenía que ser “exorciza-

da” de su pasado. La ingeniera civil Saphina Sharif asumió el reto. “Hubiera sido fácil tomar todo el material y enviarlo a un vertedero, pero en los tiempos que vivimos era sencillamente una solución inaceptable” asegura. Así que decidieron reciclar y reutilizar el 80% de la tierra contaminada.

Dos millones de toneladas de tierra fueron descontaminadas en lo que ha sido el mayor proceso de limpieza de terreno hecho jamás en Reino Unido. La grava y las piedras se separaron por tamaños, y grandes imanes apartaron los metales para después medirse los nuevos niveles de contaminación a fin de asegurar su salubridad. El suelo estaba suficientemente limpio para ser utiliza-

ve del éxito de este alambicado diseño, que sobrepone distintos estratos de gradas que se pueden eliminar. Los arquitectos del estudio Populous trabajaron en el estadio olímpico de Sidney, que podía reducirse de 115.000 a 83.000 asientos, pero la escala de transformación propuesta para Londres no tenía precedentes.

La orografía del terreno no ayudaba, pues los estudios iniciales revelaron que no se podría mantener firme una estructura así sobre ese tipo de suelo. Al final, se decidió que la inclinación en dirección norte sur se aprovecharía para

hacer un corte en la tierra, donde se asentarían las 25.000 butacas permanentes. Esa sería la división entre las 55.000 butacas temporales y las duraderas.

Ahora la pregunta es cómo se gestionará el futuro del estadio y si cumplirá satisfactoriamente con su promesa de convertirse en una buena herencia. El alcalde de Londres, Boris Johnson, ha decidido que permanezca en manos del Gobierno y que se le saque provecho ofreciéndolo a quienes estén interesados en utilizarlo como espacio de eventos deportivos y conciertos. ■

Madrid 2012 también apostó por una eco-candidatura

Después del éxito de los *Juegos verdes* de Sídney (Australia) en 2000, las cuestiones relacionadas con la ecología encabezan la lista de prioridades a la hora de juzgar la idoneidad de un candidato olímpico y se ha puesto de moda el término *eco-candidatura*. Londres ganó estos Juegos por encima de Nueva York, París, Moscú y, también, Madrid.

¿Cuál era el plan de sostenibilidad por el que apostó la capital española? Madrid se centró en el “titánico pero posible” reto de que, durante el año 2012, entraran y salieran de la capital 100.000 vehículos menos que en 2004, lo que suponía reducir en un 10% el millón de automóviles que circulan diariamente por la ciudad. Los organizadores olímpicos tuvieron en cuenta que la afluencia de vehículos aumentaría durante los Juegos Olímpicos y su idea era “congelar” los números y que las emisiones de CO₂ no se multiplicaran a causa del evento.

El comité quería también elevar en 70.000 el número de vehículos ecológicos en las calles de Madrid para el verano de 2012, en lo que decidieron llamar “Plan Renove ambiental”. Este incluía poner en marcha “eco-transportes colectivos” e incentivar el uso de la bicicleta o la movilidad a pie. Madrid aspiraba, además, a albergar “los Juegos más ecológicos de la historia del Olimpismo”, pero Londres le arrebató el sueño. Tras perder también el tren para 2016, la capital de España ha anunciado que competirá por lograrlo en 2020. Entonces tendrá que verse las caras con Estambul, Roma y la ciudad surafricana de Durban. ■

ODA



Imagen virtual de las zonas verdes que heredarán los londinenses tras los Juegos.

do y se había conseguido descontaminar el 85% de la superficie, donde se construyó el Parque Olímpico. Una estructura gigante alzada junto a Stratford descontaminó la tierra, evitando así que los materiales dañasen la vida vegetal, animal y humana que los rodea. “Yo misma soy de Londres y me alegra pensar que el trabajo que estamos haciendo aquí no es solo para los Juegos Olímpicos”, comenta Sharif.

Pero esta gran operación de descontaminación, cuyo resultado está presente en las paredes y suelos de todos los estadios, es solo la base de otras muchas iniciativas paralelas. Por ejemplo, la construcción de “estadios transformables” asegura la utilidad de estos en el futuro. Paneles transparentes llenarán el velódromo

de luz natural, recortando drásticamente la necesidad de recurrir a la energía eléctrica. Al margen de la descontaminación, se tuvieron que eliminar más de cincuenta torres de alta tensión y muchos kilómetros de cables de alto voltaje que cruzaban el área de la Villa para, después, volver a instalarlos bajo tierra en dos túneles de seis kilómetros cada uno.

Pero si Londres quiere ascender a lo más alto del podio de la sostenibilidad tendrá que hincar el diente a sus eternos problemas de transporte. Sus calles, metros y trenes ya están muy congestionados diariamente, y los Juegos incrementarán el tráfico. Por eso, el Parque Olímpico tiene su propia estación de tren, gracias a la cual se transportará por ferrocarril hasta el 50% de los materia-



Exterior del Estadio Olímpico.

les de construcción y, más tarde, pasajeros. Cada tren puede cargar el equivalente a 75 camiones, lo que no solo elimina el caos vial, sino también divide entre cinco las emisiones de CO_2 .

Por otra parte, los canales artificiales construidos durante la revolución industrial para transportar mercancías por todo Londres, que cayeron en desuso con la generalización del ferrocarril y el tráfico rodado, se volverán a utilizar con motivo de los Juegos Olímpicos. Las barcas de 350 toneladas que circularán por los canales, que datan de la época victoriana y desembocan en la Villa Olímpica, son capaces de transportar nueve contenedores llenos de productos para abastecer las necesidades de la Villa; es decir, por cada viaje de una de estas barcas

se evitará el desplazamiento de nueve camiones y sus emisiones de CO_2 .

Adiós a la carrera por las renovables

Aunque la apuesta del Locog es ambiciosa, algunos de los proyectos incluidos en el informe enviado al Comité Olímpico Internacional (COI) en 2004 se han quedado en el camino. Así, ha perdido la batalla por la presencia de las renovables en la Villa.

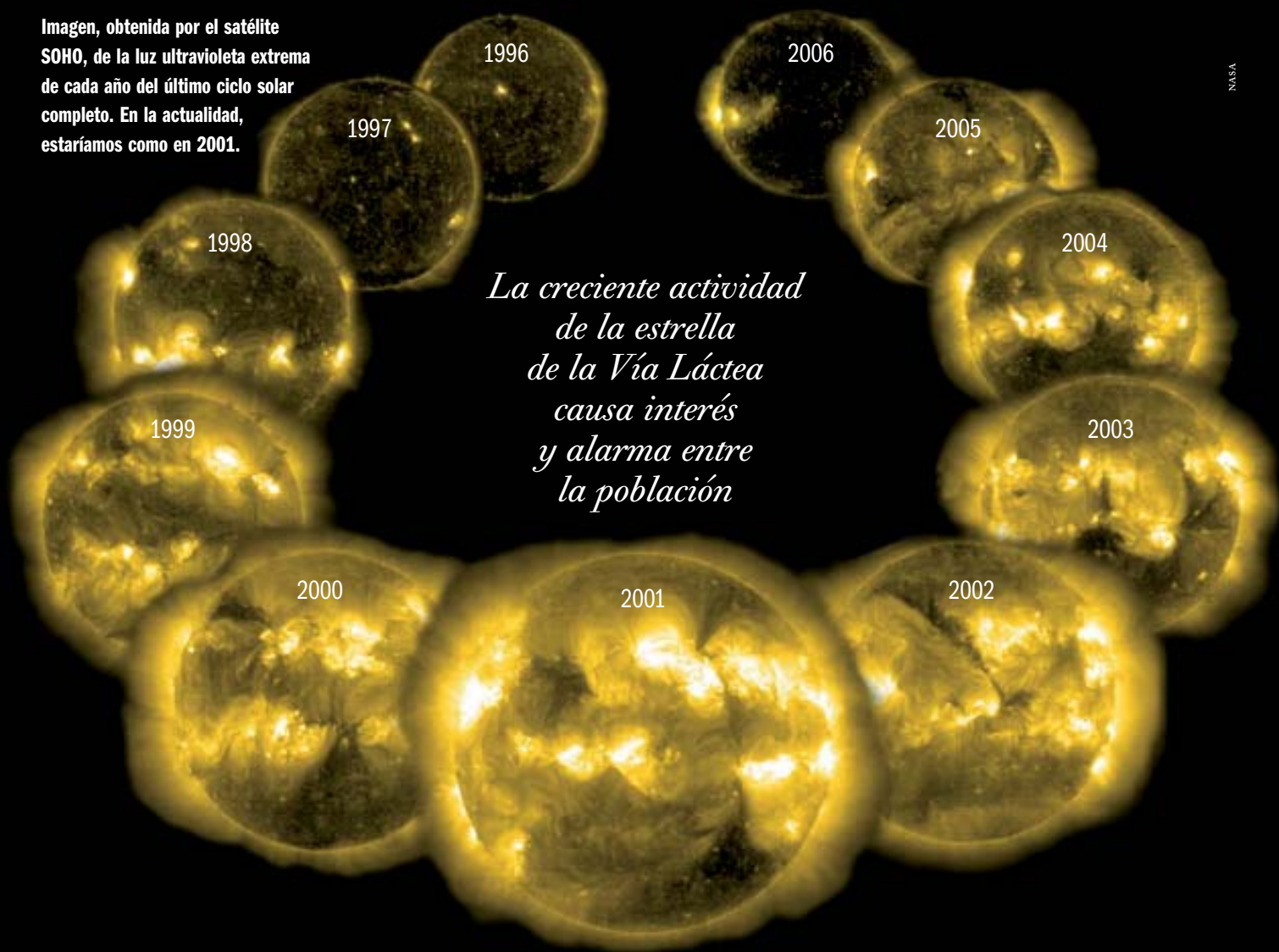
Los planes para construir una turbina eólica, que hubiera satisfecho el 20% de las necesidades, durante los Juegos y permanecido para un uso posterior, fueron descartados.

“Si pudiéramos retroceder en el tiempo y volver a pensar sobre la ambiciosa reducción de emisiones que nos

habíamos propuesto, quizá no hubiéramos dicho que utilizaríamos una tecnología en particular. En cierto modo, fue un error asegurar que emplearíamos renovables porque, con el pasar del tiempo, el desarrollo del mercado para las renovables en áreas urbanas no ha despegado”, afirma Shaun McCarty, jefe del Departamento de Sostenibilidad de los Juegos.

El informe inicial planteaba que el 20% de la energía utilizada en la Villa Olímpica procedería de fuentes renovables. Al final, se espera que este porcentaje sea cercano al 9%. “A pesar de los esfuerzos, no hemos sido capaces de encontrar una solución cuya relación calidad-precio fuera adecuada”, se lamenta McCarty. ■

Imagen, obtenida por el satélite SOHO, de la luz ultravioleta extrema de cada año del último ciclo solar completo. En la actualidad, estaríamos como en 2001.



*La creciente actividad
de la estrella
de la Vía Láctea
causa interés
y alarma entre
la población*

CUANDO EL SOL 'SE ACATARÁ'

Nuestro astro rey sufre cada once años, en promedio, una especie de gripe estacional. Durante cerca de un lustro estornuda y tose, casi literalmente; luego, su salud se estabiliza poco a poco y se muestra más moderado a lo largo de otros cinco o seis años. Y vuelta a empezar. En estos momentos, está en época de incremento de actividad, después de un periodo tranquilo más largo de lo normal. Los medios de comunicación llevan meses amenazando con toda clase de cataclismos debido a ese incremento de su actividad. Unos fenómenos que, se dice, podrían abrasar nuestros sistemas radioeléctricos y convertir el mundo moderno en un auténtico caos. ■ POR Manuel Toharia, PERIODISTA.

LOS TITULARES MÁS RECIENTES de la prensa no pueden ser más expresivos: “La tormenta solar del fin del mundo” (*ABC*, 24 de febrero de 2010), “La NASA descarta llamaradas solares asesinas en 2012” (Europa Press, 10 de noviembre de 2011), “Se acerca la mayor tormenta solar desde 2005” (France Presse, 24 de enero de 2012), “Trece grandes llamaradas solares en las últimas 48 horas” (*La Vanguardia*, 7 de marzo de 2012); y así sucesivamente. En las televisiones y los radios, casi todos los días hay avisos de terribles tormentas... solares. Y así se da el caso de que haya hoy muchas personas que se olvidan de la crisis o el fútbol para mirar con inquietud al Sol, preguntándose si no estará a punto de llegar un posible estallido precursor poco menos que del fin del mundo.

¿A qué viene esta especie de histeria colectiva? ¿Es para tanto realmente? Echemos la vista atrás, porque tenemos cierta experiencia de sucesos de este tipo que permiten saber qué puede estar pasando, y qué podría pasar en un futuro más o menos próximo. Hace poco más de siglo y medio, en 1859, el Sol estaba iniciando, como ahora, uno de sus ciclos de actividad creciente. En septiembre de ese año se produjo una de las tormentas solares más intensas de la que tenemos noticia. Fue realmente inusual, aunque, claro, nuestros antepasados no poseían los instrumentos actuales para medirla. La casualidad quiso que la zona del Sol donde se produjo el fenómeno estuviese entonces frente a la Tierra. La radiación llegó a nuestro planeta minutos después —las partículas viajan a velocidad inferior a la de la luz, que tarda algo más de ocho minutos en viajar desde el Sol—, y luego, poco a poco, un chorro energético, sobre todo de protones, cuya entrada a las proximidades de la Tierra, canalizada por nuestro campo magnético, acabó provocando por in-

ducción intensas corrientes eléctricas que literalmente achicharraron diversas oficinas de telégrafos e incluso algunos cables. Al mismo tiempo, llegaron a verse por todo el mundo impresionantes auroras polares en latitudes tan meridionales como el Caribe o España.

Desde 1859, y a pesar de haber transcurrido numerosos ciclos solares de once años, no ha vuelto a ocurrir nada parecido. Aunque, claro, nunca se puede descartar una tormenta solar de esa intensidad que, además, suceda en la zona del Sol que se encuentre en ese momento frente a la Tierra.

¿Cuál es la probabilidad de que eso ocurra? No muy alta, obviamente. Pero también es cierto que nuestra variedad

las y radiaciones muy energéticas procedentes del Sol.

Ahora, a mediados de 2012, nuestro astro muestra una actividad creciente, aunque el mínimo anterior fue más largo de lo usual y, en general, se espera que el máximo, que llegará de aquí a un par de años, sea inferior al de ciclos anteriores. Sin embargo, aquella tormenta solar de 1859 —denominada hoy Evento de Carrington, en honor del astrónomo británico Richard Carrington, que estudió aquella deflagración— se produjo precisamente en los inicios del ciclo solar número 10, y ahora estamos iniciando el ciclo número 24. O sea, que al inicio de los ciclos solares no muy intensos pueden ocurrir estos acontecimientos, sí;

pero también en otras épocas, por supuesto. El riesgo, en todo caso, no es muy grande.



En 2010 y 2012, algunos medios anunciaron una apocalíptica tormenta solar.

¿A qué se debe tanto alarmismo?

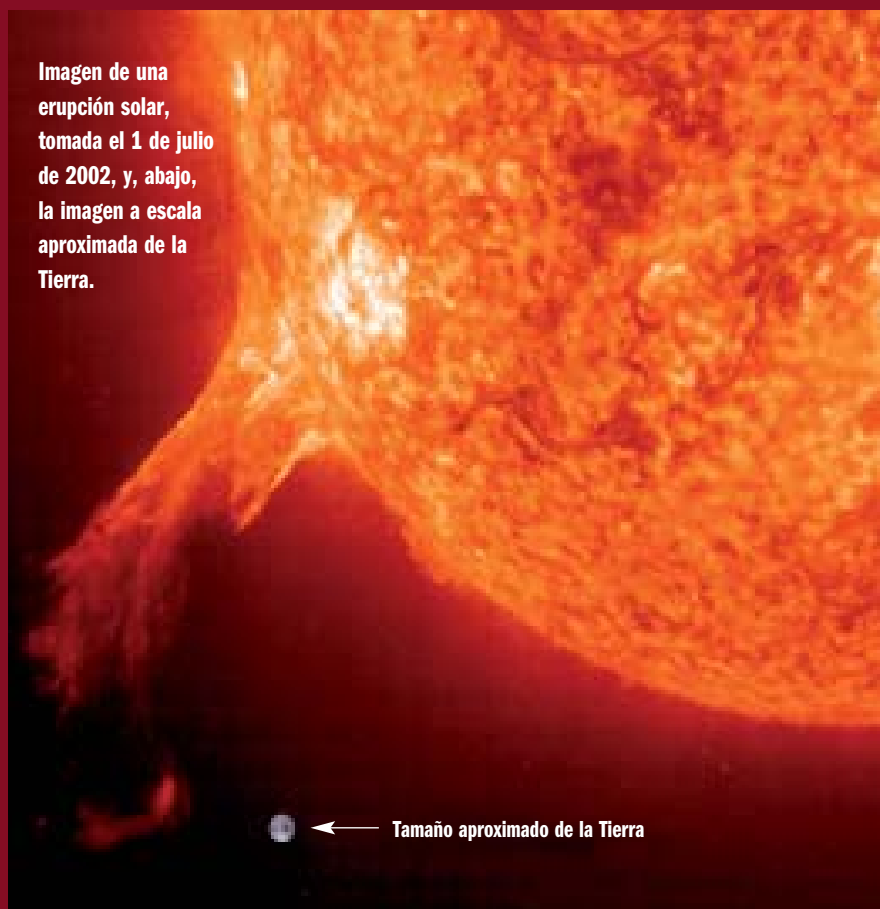
Los medios de comunicación advierten desde hace meses sobre las grandes llamaradas procedentes del astro rey. Quizá el origen de estas inquietudes tenga que ver con dos hechos sin relación alguna entre sí. Por una parte, el sensacionalismo de una prensa al servicio de una sociedad desarrollada que le tiene miedo a casi todo, como si viviera, literalmente, en la boca de un volcán. Existe temor a casi todo: los campos electromagnéticos de los cables de alta tensión, los depósitos se-

de sistemas de telecomunicación —por cable o por ondas hercianas— y la enorme *electrodependencia* del mundo actual, nos hacen muchísimo más vulnerables que a mediados del siglo XIX. Las complejísticas redes eléctricas de hoy, las comunicaciones por radio, la localización a través de sistemas por satélite (como el famoso GPS) y, en general, nuestro modo de vida en el que todo está radiado, cableado y electrificado, han convertido las sociedades modernas en objetivos más que sensibles para esas partícu-

guros de residuos radiactivos, los alimentos transgénicos, las antenas de telefonía, los aditivos alimentarios, los meteoritos asesinos, el cambio climático catastrófico, la ingeniería genética... Todos estos avances deben, sin duda, ser considerados en su justa medida, pero ninguno tiene nada de catastrófico. Esa *tecnofobia* resulta paradójica, sobre todo en los países desarrollados, donde nunca se ha vivido tanto ni mejor que ahora. Sorprendentemente, las sociedades ricas prestan atención a este tipo de no-

Imagen de una erupción solar, tomada el 1 de julio de 2002, y, abajo, la imagen a escala aproximada de la Tierra.

SOHO-EIT



Nuestra estrella 'doméstica'

El Sol es una más de los 100.000 millones de estrellas que componen nuestra galaxia, la Vía Láctea. La Tierra y los otros planetas del Sistema Solar describen órbitas elípticas en torno al astro. En el caso de nuestro planeta, la distancia media a la estrella es del orden de 150 millones de kilómetros; esto significa que la luz del Sol que vemos en la Tierra salió de allí ocho minutos y pico antes.

La masa del Sol es inmensa: 300.000 veces mayor que la de la Tierra; y su tamaño, gigantesco: casi 700.000 kilómetros de radio (el de la Tierra es de 6.365 kilómetros, 110 veces menor). La masa solar se compone de un 73% de hidrógeno, 25% de helio, y el 2% restante de elementos más pesados. Esto significa que el Sol está en la mitad de su vida, le quedan aún casi 5.000 millones de años más hasta llegar a sus etapas finales

de vida. Su temperatura interna es de muchos millones de grados y, por tanto, la materia solar no es sólida ni gaseosa, se denomina plasma; no hay átomos, sino partículas separadas. El plasma es muy buen conductor de la electricidad y sus movimientos internos generan intensos campos magnéticos muy variables y extendidos a lo largo de toda la estrella.

El mayor desafío científico actual consiste en comprender cómo actúa el magnetismo solar, porque de él depende la actividad externa del astro, de la que las manchas son solo una manifestación visible. Todo ello depende a su vez de lo que ocurre en la maquinaria interior de la estrella, que conocemos mal porque, bajo la superficie brillante, se encuentra una zona opaca a la luz: del Sol solo vemos el exterior. Solo la conocemos indirectamente, y esos estudios se denominan, por analogía con lo que ocurre en la Tierra, heliosismología. ■



Imagen de una aurora boreal tomada el 27 de febrero de 2012 en Finlandia.

ticias que provocan miedo y gozan del favor popular.

El segundo factor es mucho más serio y tiene que ver con la Academia de Ciencias de Estados Unidos. En 2008, cuando agonizaba el ciclo solar 23, esta institución realizó un sesudo informe acerca de las consecuencias que podría tener para el mundo moderno una tormenta solar similar al Evento de Carrington. Dicho informe suele citarse en las informaciones actuales sobre posibles deflagraciones solares, porque en él se afirma, por ejemplo, que una tormenta solar como aquella podría tener el mismo impacto hoy que veinte ciclones tropicales similares al famoso *Katrina*, que asoló la ciudad estadounidense de Nueva Orleans.

La menor o mayor actividad del Sol es conocida desde la antigüedad, por simple observación de las zonas más oscuras en su superficie, las "manchas solares". Curiosamente, hoy sabemos que a mayor número de manchas, más actividad tiene el Sol. Lo que vemos desde la Tierra como manchas son, en realidad zonas en las que la superficie del Sol es algo menos cálida que el resto; por eso se ven un poco más oscuras. En esas regiones —que pueden ser enormes, in-



THOMAS KAST
SOHO

Ensamblaje de la sonda SOHO para su lanzamiento, el 2 de diciembre de 1995. El satélite es un proyecto conjunto de la NASA y la ESA.



El Solar Dynamic Observatory (EE.UU.) estudia desde la Tierra la variabilidad solar.

cluso mayores que nuestro planeta— aparece una intensa actividad magnética.

Desde el siglo XV a la actualidad

Las primeras observaciones datan del siglo XV, aunque no fue hasta comienzos del XVII cuando los astrónomos británicos iniciaron las primeras observaciones sistemáticas. Desde entonces se ha descubierto que las manchas aparecen, crecen, cambian de forma y desaparecen; o que su duración media es de una a dos rotaciones solares (nuestra estrella tarda unos veintisiete días en girar sobre sí misma); o que suelen ir por pares, donde una mancha tiene distinta polaridad que la otra. Y, sobre todo, que su número total varía de año en año, pasando por un máximo y un mínimo cada once años.

Un astrónomo británico del siglo XIX, Edward Maunder, relacionó la casi total ausencia de manchas solares del siglo XVII con la bajada de temperaturas de aquella época, conocida como Pequeña Edad del Hielo, cuando se helaban en invierno el Támesis, en Londres, o el delta del Ebro, en España. En cambio, se estima que hubo varios máximos seguidos de manchas hacia el siglo XI, coincidiendo con el Óptimo Climático Me-

dieval, cuando los vikingos descubrieron y se asentaron en aquella lejana Tierra Verde (*Green Land*, Groenlandia).

Con todo, la mayoría de los modernos estudios acerca del cambio climático rebajan mucho la importancia eventual de estos sucesos solares en el devenir de los climas terrestres, aunque existe no poca controversia al respecto.

En todo caso, los temores que expresa la prensa cada dos por tres parecen, cuanto menos, excesivos. Porque no hay que olvidar que el campo magnético terrestre es un escudo protector que canaliza el conjunto de partículas y radiaciones que, de manera constante, emite el Sol, que puede verse intensificado en algún momento si una mancha *mira* directamente hacia la Tierra desde la superficie solar. Ese viento solar variable puede ser medido, e incluso predicho con cierta antelación, de hasta una o dos horas, si va a sufrir un incremento potencialmente dañino.

Escudo Solar, un proyecto experimental de la NASA, pretende predecir esos sucesos para alertar a aquellas redes eléctricas en las que están situados los transformadores más sensibles. La idea, después de todo bastante sencilla, consiste en desconectarlos de manera controlada —avisando previamente a los usuarios—, de

modo que al llegar la deflagración solar los daños queden aminorados. Sin embargo, otros efectos —navegación marítima y aérea por GPS, sobretensiones en redes secundarias, etcétera— no podrían evitarse, y habría que tomar precauciones complementarias... Por ejemplo, los aviones, en caso de tormenta solar, incluso “normal”, ya evitan sobrevolar las zonas polares porque precisamente allí es donde nuestro campo magnético canaliza el chorro de partículas cargadas que podrían interferir en las comunicaciones del avión con tierra.

Pero, en líneas generales, la cuestión de las tormentas solares tiene mucha más importancia científica que práctica, lo que no significa que no haya que seguir investigando, porque ante este tipo de fenómenos, como ocurre con otros cataclismos cósmicos —por ejemplo, los grandes meteoritos destructivos— o de tipo telúrico, terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas, entre otras, es obvio que las sociedades modernas son cada vez más vulnerables.

Eso sí, conviene no olvidar, para que no cunda el pánico, que también estamos cada vez mejor informados e incluso preparados para encontrar la mejor solución posible en cada caso. ■



El cuarzo, la nieve y el ADN tienen en común una estructura repetitiva, lo que los convierte en objeto de estudio de la moderna cristalografía.

Hace un siglo, Max von Laue descubría la difracción de los rayos X por cristales. Su hallazgo transformó lo que era una mineralogía descriptiva en una de las más potentes técnicas de observación de la estructura íntima de la materia. Sus formidables propiedades han hecho de la cristalografía de rayos X una de las disciplinas que más premios Nobel ha cosechado, además de ser uno de los factores clave de la innovación tecnológica de los últimos cincuenta años.

■ POR **Pablo Francescutti**, PERIODISTA CIENTÍFICO.

Desde hace 100 años, la cristalografía de rayos X da a conocer la estructura química de miles de compuestos

LA SAGA DE LOS CRISTALES

PODRÍAMOS COMENZAR ESTE REPORTE con uno de esos acertijos tan habituales en la divulgación científica, y no por eso menos socorridos: ¿qué tienen en común las piezas de avión con las pantallas LCD de ordenador, los suplementos vitamínicos, las válvulas cardíacas, los paneles de energía solar y los microchips? Que ninguno de estos productos se hubiera podido fabricar sin la intervención decisiva de la cristalografía.

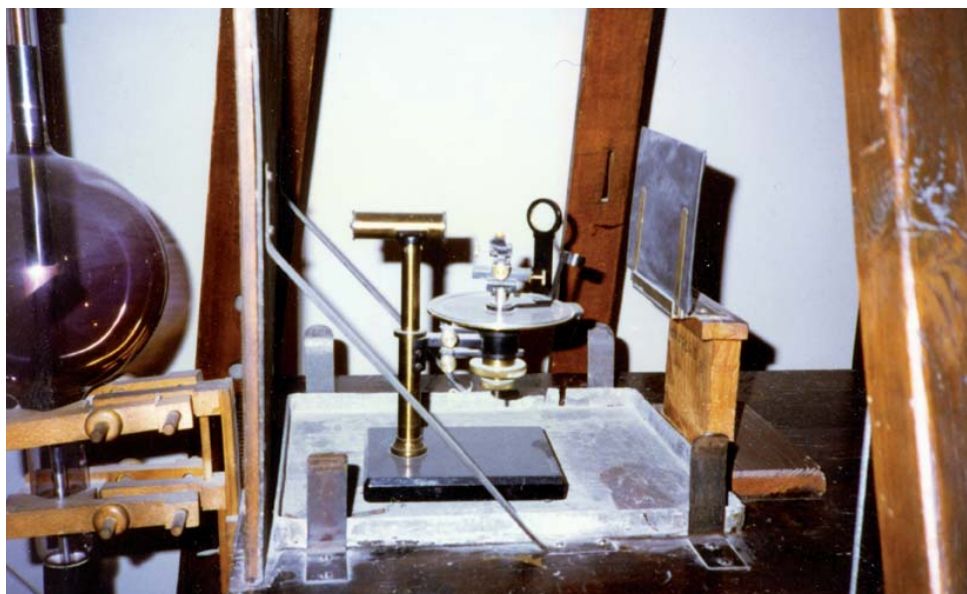
Puede que esto sorprenda a muchos lectores, a quienes la palabra “cristalografía” les evoca el hermetismo de los laboratorios y las pesquisas de los iniciados en los arcanos de la materia; nada más lejos de la realidad. Ciertamente, la cristalografía investiga la estructura de los cuerpos sólidos en estado cristalino, pero su apariencia de disciplina básica es engañosa. Además de explicar cómo se organizan átomos e iones y cómo funcionan las cosas en el micromundo, ayuda a dise-

ñar fármacos o a examinar la viabilidad de los nuevos materiales, entre algunas de sus innumerables aplicaciones.

Es inevitable asociar el término “cristal” a cuerpos vítreos y brillantes, pero en ciencia se refiere a los sólidos cuyos átomos, iones y moléculas se disponen en una pauta repetitiva, que se extiende en las tres dimensiones con regularidad geométrica perfecta. Sólidos en estado cristalino son la sal, el hueso, los plásticos, el grafito, el azúcar y las rocas, por ejemplo. A los sólidos



DEUTSCHES BUNDESARCHIV



Max von Laue descubrió la difracción de los rayos X por cristales. Arriba, uno de los difractores que utilizaba para sus experimentos.

dos cuyos átomos no presentan ese ordenamiento se les denomina “amorfos”.

Antiguamente, la cristalografía se restringía a la descripción de los minerales. Su punto de inflexión lo marcó la incorporación de la difracción de los rayos X, que posibilitó la descripción de las estructuras tridimensionales de los minerales y de una enorme variedad de sustancias. Desde entonces, la cristalografía se consagró al estudio de la formación de los cristales y la disposición de los átomos en la estructura de los sólidos. Y en la medida en que dicha estructura está íntimamente ligada a las propiedades y funciones de los materiales y las moléculas, el impacto de la disciplina en la vida cotidiana ha sido, y es, general.

La simetría perfecta

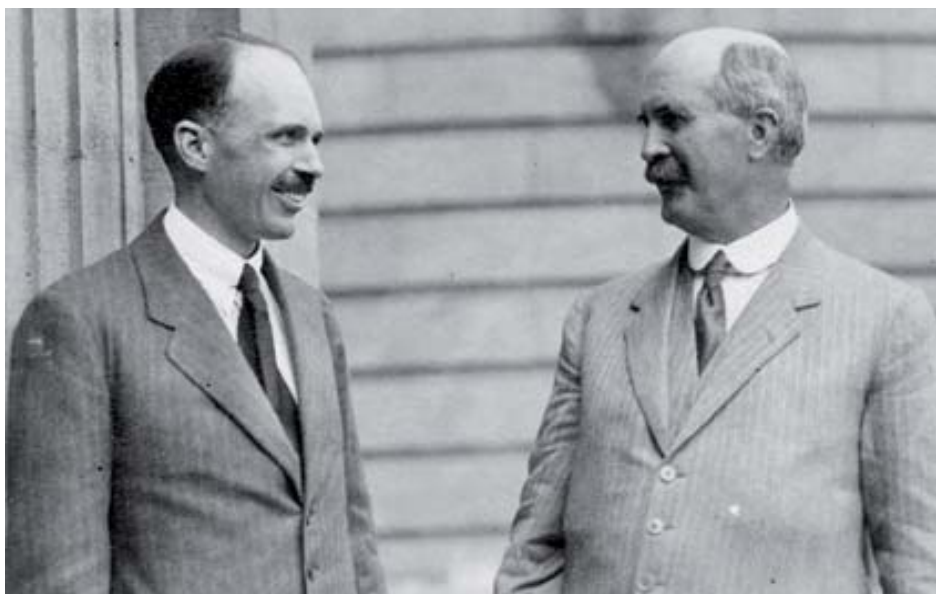
El arranque de la saga cristalográfica se remonta al siglo XVII. La simetría perfecta de los cristales tenía fascinados a sabios de la época como Johannes Kepler y René Descartes, en particular los hexágonos de los copos de nieve, observables gracias al recientemente inventado microscopio. En 1669, el obispo danés Nicolaus Steno formuló uno de los principios de la emergente disciplina al advertir que los cristales de cuarzo poseen siempre el mismo juego de ángulos característicos entre sus facetas. En el siglo XIX, la cristalografía había consolidado su perfil de ciencia auxiliar de la minera-

logía consagrada al estudio de las formas cristalinas, a la descripción de los principales elementos de simetría y a las nomenclaturas de sus diferentes formas.

La trayectoria de la cristalografía se modificó radicalmente el 8 de noviembre de 1895. Fue en esa fecha cuando el alemán Wilhelm Röntgen descubrió, por accidente, los rayos X durante un experimento con tubos catódicos. El aprovechamiento de la portentosa radiación revolucionó el diagnóstico médico; y poco después, en 1912, haría lo propio con la cristalografía, cuando el matemático alemán Max von Laue ejecutó un

ensayo orientado a verificar si tales rayos se componían de partículas o de ondas, y usó un cristal de sulfato de cobre de campo de pruebas. El estudio confirmó que los rayos X se difractaban —es decir, se desviaban o dispersaban al chocar la onda con un obstáculo— al atravesar los cristales, aportando la prueba de su naturaleza ondulatoria.

Eso solo supuso el primer paso. El tes-tigo lo tomaron los físicos británicos William y Lawrence Bragg, padre e hijo. En 1913 averiguaron que los sólidos cristalinos reflejan los rayos X, produciendo pautas sorprendentes. Intrigados por el fenó-



William y Lawrence Bragg, padre e hijo, fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 1915 por sus investigaciones en cristalografía. Lawrence lo recibió con 25 años, y es el Nobel más joven de la historia.

meno, descubrieron que los cristales producen longitudes de onda específicas y ciertos picos de la radiación reflejada (los “picos de Bragg”). Poco tardaron padre e hijo en sacar partido de esa propiedad, y demostraron que la difracción podía servir para conocer con precisión la posición de los átomos de un cristal y dilucidar su estructura tridimensional.

Para apreciar en su justa medida la relevancia práctica del descubrimiento de los Bragg, hay que tener presente que en aquel entonces la observación científica se estrellaba contra los límites de los microscopios. Estos aparatos ópticos podían ver una bacteria, cuyo diámetro ronda los 50.000 angstroms (unidad de medida equivalente a una diezmillonésima de milímetro), pero no las proteínas, que miden tan solo 50 angstroms. La cristalografía por difracción de rayos X franqueó ese escollo. Y si la aplicación de la radiación al cuerpo humano había permitido observar su osamenta, hacerlo en los cristales posibilitó visualizar el “esqueleto” de la materia.

Su importancia fue comprendida de inmediato por la comunidad científica. Von Laue recibió el Premio Nobel de Física en 1914, y los Bragg lo obtuvieron al año siguiente, convirtiéndose Lawrence, a sus veinticinco años de edad, en el galardonado más joven del palmarés.

El difractor

Un nuevo aparato de medición se incorporó al arsenal científico: el difractor. Se compone de una fuente emisora de radiación, la muestra a analizar y un detector de rayos X que registra en una película las “huellas” de la difracción creadas por la muestra. Tras el revelado, las huellas se manifiestan en la forma de una serie de rayas de intensidad variable: el diagrama de difracción. Con este equipamiento, los expertos ya podían lanzarse a escrutar el contenido atómico de cada celda que forma la unidad de un cristal.

Las investigaciones arrancaron con los compuestos más simples. En los años treinta del siglo XX, las técnicas se refinaron mediante las aportaciones de la física cuántica, ganando precisión en el

La dama olvidada del ADN

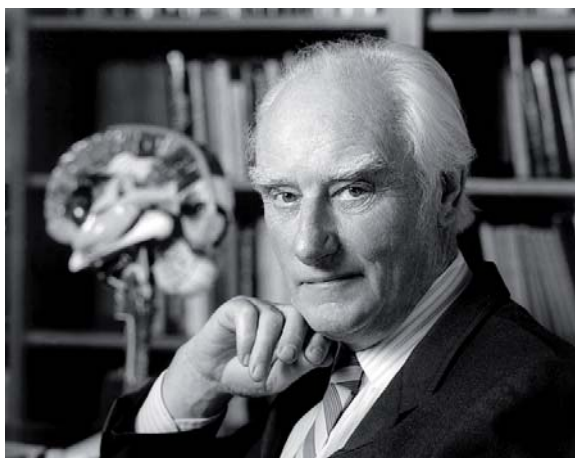
Entre las grandes cristalógrafas del siglo XX se encuentra la química británica Rosalind Franklin. Su nombre ha entrado en los anales de la historia ligado a



Rosalind Franklin.

uno de los mayores escándalos científicos: el robo de sus datos por parte de sus colegas Francis Crick y James Watson, los descubridores oficiales de la doble hélice del ADN.

Hoy nadie discute que dicho hallazgo se basó en gran medida en las evidencias conseguidas por Franklin en su laboratorio del King's College de Londres. Watson admitió más tarde que fue su fotografía de los patrones de difracción producidos por el ADN cristalizado —concretamente, su forma helicoidal— la



Francis Crick.

análisis de la difracción de las radiaciones, lo que desembocó en la descripción de las primeras estructuras moleculares orgánicas.

Después de la II Guerra Mundial, el interés de la cristalografía por las proteínas la aproximó a la biología. Una sucesión de logros marcó su contribución a la química orgánica: el hallazgo de la doble hélice del ADN; la determinación de la estructura de la penicilina y de la vitamina B-12, por Dorothy Hodgkin; y de la primera proteína, la mioglobina, por Max Perutz, hito que sentó la base de la cristalografía macromolecular.

En los años cincuenta del pasado siglo, los cristalógrafos disponían de instrumentos y métodos solventes, “pero los resultados se hallaban aún en un estadio incipiente, como la imagen en una placa fotográfica antes del revelado. Lo que faltaba era la computadora”, comenta retrospectivamente



James Watson.

pista decisiva que les condujo a Crick y a él a desentrañar su estructura. Watson pudo ver el difractograma gracias a que un colaborador de Franklin, Maurice Wilkins, se lo mostró sin su permiso. Al parecer, Max Perutz, que era mentor de Watson, también le filtró datos cristalográficos de Franklin no publicados.

En 1962, Watson, Crick y Wilkins obtuvieron el Nobel de Medicina por ese hito. Franklin había muerto de cáncer en 1958, a los 37 años de edad. En el célebre *paper* o artículo científico publicado por los dos primeros en la revista *Nature*, en 1953, se reconocía la deuda con “el conocimiento de tipo general de los resultados y las ideas no publicadas del Dr. M. H. F. Wilkins, la Dra. R. E. Franklin, y sus colaboradores”. Al conocerse los entresijos de cómo los dos autores habían adquirido ese “conocimiento de tipo general”, estalló la polémica, quedando claro para un sector de la comunidad científica que la cristalografía había sido plagiada y que Watson, Crick y Wilkins no eran sino unos “piratas de datos”.

Nunca se sabrá si, de haber vivido lo suficiente, Franklin habría compartido el Nobel con sus tres colegas (el galardón

no se otorga a título póstumo). Lo cierto es que ella ha pasado a ser conocida como “la dama olvidada del ADN”, una víctima del machismo académico y de la trapacería de sus colegas varones. También se ha convertido en un icono feminista de la marginación y el ninguneo que sufren las investigadoras en las instituciones científicas.

Hay quienes matizan las acusaciones diciendo que no todos los hallazgos de la cristalografía eran confidenciales. De hecho, en 1951 presentó una ponencia en unas jornadas en la que sugería que el ADN podía ser una gran hélice. Y añaden que si bien ella sacó la fotografía clave, no supo interpretarla, cosa que sí hicieron Watson y Crick.

Posiblemente sea así, pero según la biografía de Franklin escrita por Brenda Maddox, los firmantes del artículo de *Nature* admitieron en privado que, sin los datos de la investigadora, difícilmente habrían podido armar su modelo, lo que, al decir de la autora de la biografía sugiere que minimizaron en público su deuda, quizás para encubrir a los autores de la filtración. Hoy, el culebrón de la doble hélice es recordado como un cristalino ejemplo de falta de ética científica. ■

el físico francés André Guinier. En aquellos tiempos, obtener una estructura compuesta de una veintena de átomos requería de uno a dos años de análisis.

La cristalografía continuó evolucionando sin sobresaltos hasta que, en los años setenta, dos innovaciones facilitaron su salto cualitativo. La primera fue la radiación sincrotrón, mucho más eficaz que la emitida por los tubos de rayos X. La segunda vino de la mano de la informática, en concreto de los ordenadores, que agilizaron las mediciones y

el análisis de los datos generados por los difractómetros. Los cristalógrafos, obligados hasta entonces a sumar a mano las decenas de miles de ondas registradas en los diagramas, fueron de los primeros especialistas en informatizar su labor. No por casualidad estuvo involucrado en esta tarea David Sayre, un insigne cristalógrafo que pertenecía al equipo de IBM que desarrolló el Fortran, legendario programa adaptado al cálculo numérico y a la computación científica.

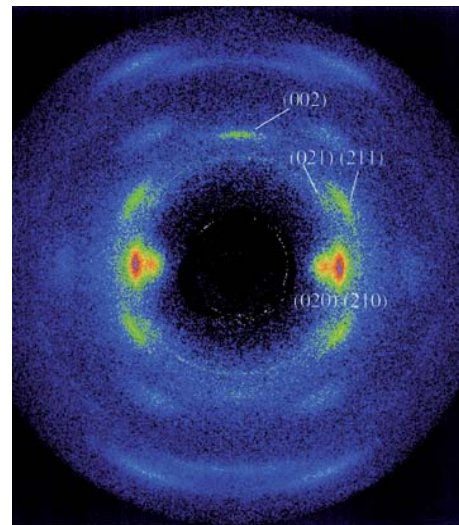
En las décadas siguientes, el desarrollo de nuevas fuentes emisoras de neutrones, electrones y rayos X sincrotrones permitió abordar la estructura de compuestos complejos del tipo de las enormes macromoléculas que tanto fascinan a los biólogos contemporáneos.

Una disciplina transversal

A lo largo de su siglo de existencia, la cristalografía ha tejido una estrecha colaboración con el conjunto de ciencias de la materia, dando un formidable impulso al



Moderno difractómetro de la Universidad Complutense de Madrid.



Difracción de seda de araña.

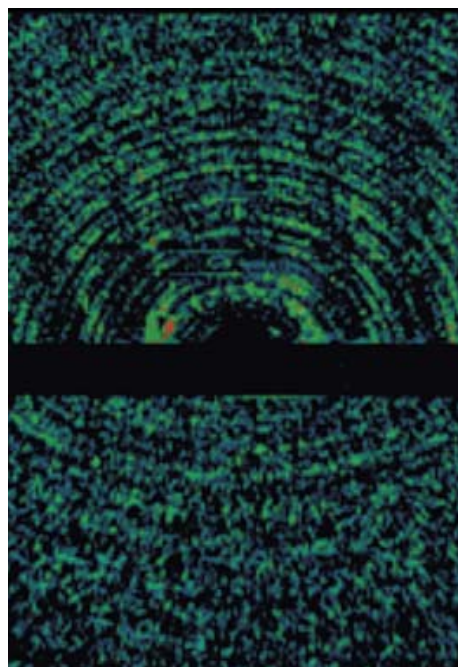
desarrollo de la mineralogía, la química, la física, la biología y la farmacia, por citar algunas. “Puede decirse, sin exagerar, que todos los hitos científicos de aquel periodo, sobre todo en biología, química y medicina, se alcanzaron utilizando rayos X”, apunta Mikhail Kovalchuk, cristalógrafo de la Academia de Ciencias de Rusia. La importancia científica de la cristalografía se manifiesta en los veintiséis premios Nobel otorgados a trabajos efectuados en esta área, en la cual, dicho sea de paso, han destacado las mujeres. Transversal a todas las disciplinas, brinda un excelente ejemplo de la universalidad de la ciencia.

Cada año, gracias a la cristalografía se conoce la estructura química de miles de compuestos orgánicos, inorgánicos, biometálicos y biológicos. El progreso ha sido impresionante: se ha pasado de operar con compuestos de menos de 50 átomos a describir macroestructuras de 150.000, identificando la posición precisa de cada átomo en su seno. Esto es de especial utilidad en el diseño de fármacos, ya que el análisis detallado de las estructuras cristalinas de los complejos proteínas-ligando facilita la observación de las interacciones de un medicamento con su diana proteínica en el nivel atómico.

“Hemos asistido a la creciente sofisticación de los algoritmos cristalográficos, así como a la automatización de todos los pasos de la determinación estructural”, explica Ada Yonath, cristalógrafa del Weizmann Institute of Science (Israel). “Se ha obtenido un increíble número de estructuras de macromoléculas biológicamente relevantes. Además, la comprensión de que un enorme número de fotones permite determinar la estructura de los nanocristales y la visualización de la organización interna de moléculas, allana el camino al mejor entendimiento de sistemas complejos como cromosomas, membranas, orgánulos celulares, etcétera. Esto también proporciona los medios para obtener instantáneas de procesos bioquímicos dinámicos, tales como la catálisis, el transporte de membrana y la transducción de señales”, agrega Yonath, que reci-

bió el Nobel de Química en 2009 por su contribución al desvelamiento de la estructura y función del ribosoma, un enorme complejo de ácidos nucleicos y proteínas en donde la célula sintetiza sus proteínas.

Como los cristales difractan igualmente neutrones y electrones, el objeto de la disciplina abarca ahora materiales cristalinos y no cristalinos, materiales artificiales y nanoestructuras. Su campo de acción se ha amplificado con una



Pauta de difracción de la enzima de tripanosoma.

nueva generación de fuentes emisoras, aparatos y detectores. Un ejemplo de ello son los detectores bidimensionales que, al generar una imagen digital del patrón de difracción y abreviar su medición y análisis, han “jubilado” las películas fotográficas. Semejantes avances, unidos al fantástico aumento de la capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos, han multiplicado el número de estructuras descritas por procedimientos cristalográficos (a principios de este año, el Banco de Datos de Proteínas contaba con más de 78.000 estructuras de macromoléculas orgánicas).

Asignaturas pendientes

La cristalografía de rayos X se ha extendido a los cristales muy pequeños, los polvos y los materiales mal cristalizados;

en resumen, a todos los sólidos que “diseminan” la radiación. Sin embargo, subsiste una limitación: en principio, únicamente puede aplicarse a sustancias susceptibles de formar cristales con la calidad y el tamaño requerido. Por ejemplo, no resulta posible examinar con ella cristales inferiores a cinco milésimas de milímetro. También es imposible aplicarla a gases, líquidos y sólidos desordenados. Por añadidura, muchas proteínas y otras moléculas de interés biológico son prácticamente imposibles de cristalizar, por lo que su estructura y sus funciones permanecen desconocidas. Y, a veces, ni siquiera la obtención de cristales ordenados que difractan basta para resolver la estructura, como es el caso de algunas macromoléculas.

Para superar los escollos, los investigadores exploran diversas opciones. Una esperanza está depositada en los xáser, término usado para designar a los rayos X producidos por un láser. Debido a la intensidad de su haz, bastaría con una ínfima fracción de rayos esparcidos por una sola molécula para deducir su estructura por completo. Una muestra de ello son los láseres de electrones libres, que emiten rayos X en pulsos de una mil billonésima parte de un segundo de duración. Con dispositivos de esta clase se experimenta en el Linac Coherent Light Source del Stanford Linear Accelerator Centre, en Estados Unidos, la fuente más poderosa de tales radiaciones en el mundo. El objetivo es detectar cambios en los cristales en intervalos temporales hasta ahora impensables.

A juicio de Armel Le Bail, especialista del CNRS, la institución homóloga de nuestro Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Francia, la principal asignatura pendiente de la técnica pasa por el afinamiento de su poder predictivo. Hacen falta “predicciones de la composición química del estado sólido y de su estructura, y predicciones completas de las propiedades físicas de una estructura conocida”, señala Le Bail. “Cuando eso se consiga, la cristalografía se reducirá a ser un método de verificación de tales predicciones, pero ese horizonte parece todavía muy lejano”. ■

La capital alavesa, designada Capital Verde Europea 2012, ha duplicado la superficie de parques y puesto coto a los automóviles

Vitoria, sostenible y humana

Muchos conocen Vitoria por el Azkena, un festival de rock cuyos sonos se pueden disfrutar en familia o con los amigos. Otros, por el descenso del Celedón, con el que arrancan las fiestas patronales de la ciudad, y algunos por el pincho-pote a un euro de los jueves. Pero Vitoria, que ha sido designada Capital Verde Europea 2012, es sobre todo un ejemplo de ciudad sostenible pensada por y para el ciudadano, no para el coche. ■ POR **Belén Tobalina**, PERIODISTA.

GREEN CAPITAL ES COMO EL NOBEL de Medio Ambiente, pero sin fondos”, explicaba el alcalde de Vitoria, Javier Maroto (PP), durante la celebración de la V Edición de Conama Local, en diciembre de 2011, en cuyo transcurso subrayó la importancia de la concienciación ecológica de ciudadanos y políticos. “Cuando presentamos nuestra candidatura en Bruselas —proseguía—,

fue un miembro de cada partido; pero [los representantes políticos de] las demás ciudades que se presentaron no [hicieron lo mismo que nosotros]. Esto significa que hay consenso en materia medioambiental para continuar por esta senda”. En efecto, la designación de Vitoria como Capital Verde Europea 2012 reconoce el trabajo realizado en la ciudad desde hace décadas y, aunque no implica tipo algu-

no de ayuda económica, favorece la promoción de la ciudad como destino turístico, y quizá que otros alcaldes se fijen en lo hecho aquí durante todo este tiempo.

Sin duda, el mejor ejemplo de la labor desarrollada en Vitoria son sus zonas verdes, que se han duplicado desde 1974, según datos facilitados por el Ayuntamiento. La extensa red de parques y paseos urbanos otorga a la capital el pres-



Mirador en el parque de Salburúa, que, junto a los de Zabalgana, Olarizu y Armentia, forma parte del Anillo Verde de Vitoria.



Humedales de Salburúa, modernos contenedores para reciclar basura y un jardín urbano.



tigio de ser una de las ciudades europeas con mayor superficie de espacios verdes por habitante. En concreto, 42 metros cuadrados de zona verde por ciudadano, lo que hace de esta urbe la primera de Europa en este aspecto, no en vano cuenta con más de 150.000 árboles y 70.000 arbustos. La red de parques y senderos rehabilitados al borde la ciudad ha dado lugar al Anillo Verde, uno de los proyectos emblemáticos de Vitoria y que mayor interés ha despertado dentro y fuera de nuestras fronteras.

Desde el centro de la ciudad y a pie, se tarda solo veinte minutos en llegar hasta el Anillo Verde, cuya extensión es de diez millones de metros cuadrados y representa toda una invitación a pasear o montar en bicicleta. Se trata de un auténtico pulmón natural formado por los parques de Salburúa, cuyos humedales son hoy hogar de un importante abanico de alados, Zabalgana, Olarizu y Armentia —con su destacable bosque de quejigo—, a los que se suman el parque del río Alegría y el del río Zadorra. En otros tiempos, muchos de estos enclaves padecían un evidente deterioro ambiental o estaban a punto de convertirse en un paisaje de hormigón y ladrillo.



Terrazas de la plaza de la Virgen Blanca, tradicional centro neurálgico de la Capital Verde Europea 2012, frecuentado por vitorianos y turistas.

De ahí que se procediera a la recuperación de los humedales de Salburúa, ubicados en un área de fuerte presión urbanística, y a la restauración hidrológica del Zadorra.

Freno a la expansión urbanística

La iniciativa ha sido más exitosa que los intentos fallidos de canalización del río; además, sirve a los polígonos industriales del noreste de defensa frente a posibles inundaciones y frena la expansión de la ciudad por el sur, una zona de importante valor ecológico. “De no haberse aplicado tales medidas, quién sabe si Salburúa no sería hoy un campo de golf, un multicines o un centro comercial, ya que tales fueron las propuestas respecto al futuro de este enclave, hoy área Ramsar [término internacional para declarar la protección de lugares como reserva mundial de la biosfera]”, recuerda Luis Andrés Olive, coordinador medioambiental del Ayuntamiento. Otro tanto hubiera podido suceder con el parque Zabalguna, al oeste, donde se propuso crear un campo de golf y levantar trescientos chalets”, añade.

Además, en el Anillo Verde no solo se convive con la naturaleza; también se

aprende a cultivar productos de la tierra, tal y como se hace en las huertas de Olarizu y Abetxuko, ubicadas a solo dos kilómetros de la ciudad en su parte norte y sur. “La iniciativa de crear huertos comenzó en 1998, con el fin de acabar con los que fueran ilegales y dar a los ciudadanos la oportunidad de aprender a cultivar productos ecológicos autóctonos”, explica Iñaki Febrero, técnico del Centro de Estudios Ambientales. En la actualidad, la ciudad cuenta ya con “375 huertos de 50 y 75 metros cuadrados, acondicionados con albercas de riego, áreas de estancia, semilleros...”, añade Febrero.

Tal es el éxito de este gigantesco *cinturón verde*, que desde el Ayuntamiento están ultimando un proyecto global para forjar un Anillo Verde Interior que mejore las actuales zonas verdes urbanas, incluyendo la creación de huertos urbanos en la ciudad. Un objetivo arduo y que, de hacerse realidad, dibujará un corredor urbano sostenible energéticamente, con la incorporación de elementos constructivos y formaciones vegetales que promuevan una mayor biodiversidad urbana en una ciudad que sigue creciendo.

De todas formas, una de las iniciativas más relevantes del Ayuntamiento de Vitoria ha sido relegar el coche a un segundo plano, al conseguir reducir en ocho puntos el uso del automóvil entre 2006 y 2011. Del mismo modo, ha logrado que un 53,6% de los desplazamientos sea a pie, lo que no sucedía desde 2002, a pesar de que el 25% del espacio público de la ciudad está reservado al peatón. Ahora bien, siendo los anteriores datos más que satisfactorios, el mayor reto alcanzado en esta ciudad ha sido superar un objetivo marcado en un principio para 2025: que un 7% de los desplazamientos que se realizan en Vitoria sea en bicicleta. Bueno, la verdad sea dicha, casi se ha alcanzado ese 7%: según el último informe de reparto modal, los desplazamientos en bici pasaron de 1,4% en 2002 a 6,9%, en 2011. De ahí que no sea descabellado aspirar a “un 15% en 2015; lo vemos factible”, explica Mónica Ibarrondo, coordinadora de programas Green Capital del Ayuntamiento de Vitoria.

Se podría pensar que los porcentajes citados se explican porque Vitoria no es una ciudad grande; sin embargo, en muchas urbes de similar tamaño la realidad es bien distinta. Al menos, en España.

Un impulso a la sostenibilidad local

Con el fin de promover y recompensar las propuestas que mejoren la salud y calidad de vida de los habitantes de las ciudades, la Comisión Europea (CE) creó en 2010 los premios European Green Capital. Unos galardones sin dotación económica que sirven de incentivo para que las urbes reconocidas con los mismos sigan por esta senda y sean ejemplo de otras capitales. La iniciativa, apoyada a día de hoy por más de cuarenta ciudades, nació en mayo de 2006, durante una reunión que tuvo lugar en Tallín (Estonia). El entonces alcalde de la ciudad, Jüri Ratas, afirmó: “Pienso que una Europa verde y sostenible resulta esencial para mejorar la salud pública y la calidad de vida de nuestros ciudadanos”.

Hasta la fecha, los ganadores de los premios European Green Capital han sido Estocolmo, en 2010; Hamburgo, en 2011, y Vitoria este año. El último finalista de la más reciente convocatoria de los galardones fue Nantes, que será Capital Verde Europea durante 2013. La ciudad francesa ha sido galardonada por su estrategia *verde*, demostrada con su impulso del trans-

Algo a lo que ha contribuido de manera determinante “el sistema de bicicletas públicas con el que cuenta la ciudad, trescientas —y otras trescientas de reserva, por si hubiera alguna incidencia—, y sus diecisiete puntos de préstamo repartidos por toda la urbe”, precisa Ibarrondo.

Pero ahí no acaban los retos de la Capital Verde Europea 2012: el siguiente objetivo es conseguir que un 10% de los desplazamientos se haga en transporte público de aquí a 2025. Para ello, “hemos cambiado el horario y la frecuencia de paso de los autobuses”, afirma Mónica Ibarrondo, quien recuerda que la capital alavesa cuenta ya con dos líneas de tranvía. Pero Vitoria es, además, una ciudad que mira con lupa su huella ecológica. De hecho, desde 1998 se evalúan factores como consumo hídrico, reciclaje, gasto energético... Unos indicadores que entonces casi nadie miraba y que, por cierto, en muchos casos han logrado mejorar año tras año. Prueba de ello es que “se ha reducido el nivel de pérdidas de agua en la red hasta conseguir que ‘sólo’ se pierda un 10%”, aclara Mónica Ibarrondo.

Retos del futuro

Todas estas medidas aplicadas a los largo de más de tres décadas han catapultado a Vitoria como Green Capital. Ahora bien, esta designación no es el final, pues los compromisos y los desafíos continúan. Vitoria se ha marcado como reto “reducir en un 56% el nivel de gasto energético de las instalaciones municipales en 2020, según el acuerdo del Pacto de Alcaldía del que formamos parte”, explica Ibarrondo. ¿Cómo? Atacando el despilfarro energético a través de iniciativas “que mejoren la eficiencia del alumbrado público, con bombillas de bajo consumo, así como reduciendo el número de farolas, pero velando siempre por la seguridad”, apunta la experta.

“Además —prosigue la coordinadora de programas Green Capital del Ayuntamiento de Vitoria—, se mejorará la eficiencia térmica de los edificios municipales, con medidas que pueden ir desde la regulación de la potencia hasta otras que permitan la gestión energética de cada edificio, con un responsable en cada



El apoyo al transporte público sostenible ha hecho que Nantes sea Capital Verde Europea en 2013.

porte público sostenible y su lucha contra el cambio climático. “En los años ochenta, Nantes era una ciudad portuaria e industrial. Por aquel entonces, empezaron a darse los primeros pasos para convertirla en una metrópoli cuyas industrias tuvieran un claro perfil medioambiental”, explica Elisabeth Le Pemp, directora de la Oficina Green Capital. Y es esta transformación y “el trabajo a largo plazo lo que este premio reconoce”, señala Le Pemp. ¿La principal desventaja de la capital del departamento de Loira Atlántico y de la región Países del Loira? Su tratamiento del agua residual, tal y como se puso de manifiesto en 2010, cuando Nantes quedó como una de las seis finalistas de este premio. Un galardón que tiene gran relevancia, dado que en la actualidad tres de cada cuatro europeos viven en un entorno urbano. De ahí la importancia de los entes locales a la hora de llevar a cabo el diseño y desarrollo ambiental de las ciudades. ■

emplazamiento, con lo que, además, se crearía empleo". En este sentido, destaca la rehabilitación energética del Palacio de Congresos, que ha comenzado recientemente. "Esperamos que concluya en un par de años, aunque no es seguro", afirma Ibarrondo. En cualquier caso, "el edificio, que contará con cien kilovatios de potencia fotovoltaica, consumirá en un principio la mitad de energía que ahora, gracias a diversas medidas pasivas de ahorro que van desde el aislamiento del edificio, con el fin de que el frío o el calor no se pierdan ya sea verano o invierno, al control de soleamiento con pantallas, pasando por la instalación de cubiertas *verdes*...", detalla la coordinadora de programas Green Capital.

Otra de las líneas maestras del Ayuntamiento es seguir reduciendo el consumo hídrico, para lo cual continuará desarrollando el Plan Integral de Agua, que ha permitido mejorar la red y exige una inversión constante, pues el líquido elemento "tiende a escaparse", como dice Ibarrondo, y hay que "reducir el consumo de agua doméstica". Si en 2010 el consumo ascendía a 239 litros por habitante y día y a 217 para uso doméstico, ahora el objetivo es reducirlo a 100 litros, e incluso bajar de ese ratio, a través del rendimiento de la red de distribución, la óptima gestión hídrica y la concienciación. Además, a fin de hacer realidad tal propósito, se facilitará información y herramientas útiles para el consumo eficiente, como los ahorradores de agua en el hogar. Hay margen de maniobra, aunque en este caso resulta difícil", añade Ibarrondo. El plan pretende también mejorar la calidad del vertido de agua depurada, así como en la separación y devolución al medio natural de las aguas limpias que hoy se incorporan a la red de saneamiento, aparte de incrementar la reutilización y uso de agua no potable, especialmente para el riego de zonas verdes y servicios de limpieza.

Por otra parte, respecto a la gestión de los residuos, el Ayuntamiento de Vitoria pondrá en marcha este año un programa dirigido a la reutilización de enseres, electrodomésticos y aparatos elec-



Vitoria es una ciudad ideal para los ciclistas: el 7% de los desplazamientos se realiza en bicicleta.

trónicos, con el fin de avanzar en la consecución del denominado *vertido cero*. Será entonces cuando se actualicen los datos de residuos —los que hoy se manejan corresponden a 2005—, para evaluar si la ciudad va o no por buen camino. Pero ahí no acaba la cosa, ya que el consistorio seguirá trabajando en la mejora de la tasa de reciclado, que en la actualidad asciende a un 24%, prácticamente igual a la de 2009, que fue un 23,9%.

En definitiva, la aplicación de todas estas medidas apunta a un mismo objetivo: que Vitoria, que emite 7,6 tonela-

das de CO₂ per cápita, según los últimos datos oficiales, que datan de 2006, vea neutralizadas al 100% las emisiones para 2050. "La idea es lograr que Vitoria sea neutra en emisiones de carbono. Para ello, se compensarán las emisiones que se generen con medidas de ahorro en el sector de los transportes, residuos y edificación", anuncia Ibarrondo. Todo un reto, mas perfectamente factible, a tenor de lo ya conseguido. Y es que en Vitoria se ha logrado lo que en otros sitios, hoy y hace décadas, parecía imposible: ser una ciudad *verde* por y para el ciudadano. ■

El viejo sueño de gobernar un barco sin que la discapacidad física sea un inconveniente insalvable es ya una realidad con el *Gure Izar* (“Nuestra estrella”, en euskera): un precioso bergantín goleta de 39 metros de eslora, concebido como buque escuela y lugar de integración. Botado en Bilbao, inició su primera gran aventura entre Cádiz y Sevilla para conmemorar *La Pepa* y asistir al encendido de las luces de la Feria de Abril. ■ POR **Jesús Vicente**, PERIODISTA Y ASESOR TECNOLÓGICO.

El buque escuela es uno de los tres únicos que existen en el mundo para discapacitados, junto con los ingleses ‘Lord Nelson’ y ‘Tenacious’

‘Gure Izar’ o cómo surcar los mares en silla de ruedas

ASCENSORES PARA SILLAS DE ruedas, bitácoras sonoras para invidentes, sistemas de alarma por vibración para personas con problemas de audición o camarotes y baños acondicionados para discapacitados son

algunas de las características del *Gure Izar*, un singular buque escuela impulsado por la fundación Aula Mar.

La nave está preparada para acoger hasta 4 alumnos en silla de ruedas y 10 con movilidad reducida del total de 32

personas que la podrán tripular y navegar en ella en cada una de sus futuras travesías. Entre las discapacidades sensoriales o físicas que se “tratarán” a bordo, cabe citar las amputaciones, cegueras o visiones parciales, parálisis cerebral, au-

Un velero bergantín que no corta el mar, sino vuela

El bergantín, como el de la legendaria *Canción del pirata*, de José Espronceda, es un velero que “no corta el mar, sino vuela” gracias a su gran superficie vélica y a la agilidad de maniobra, muy apropiadas para el tráfico de mercancías entre continentes, aunque también para las veleidades corsarias.

El bergantín goleta, categoría a la que pertenece el *Gure Izar*, es un buque de dos o más palos (en este caso, dos) con un velamen mixto entre el del bergantín y la goleta: velas cuadradas en el trinquete o mástil próximo a la proa, y velas de cuchillo en los demás palos. El más célebre barco de esta clase es, sin duda, el *Juan Sebastián Elcano*, buque escuela de la Armada con cuatro palos y 82 metros de eslora, construido en 1927 y que aún se deja ver por los mares.



El buque escuela adaptado *Gure Izar*, navegando desde la ría de Bilbao, donde fue construido, hasta su base en Ferrol.

dición deficiente, epilepsia, distrofia muscular, hemiplejía, esclerosis múltiple, polio, paraplejía, tetraplejía, artritis reumática, espina bífida y muchas otras. Todos los tripulantes con discapacidad contarán con el apoyo de un acompañante que les será asignado entre el resto de los pasajeros.

Pero el *Gure Izar* pretende también

fomentar el amor a la navegación entre, por ejemplo, los habitantes del interior de la Península, las personas mayores, aquellos que no tienen recursos y los jóvenes con riesgos de exclusión social. De alguna forma, la causa de las instituciones y asociaciones privadas que luchan por estos objetivos será también su causa. De hecho, su pequeña bodega de carga esta-

rá a disposición de las ONG para que puedan transportar mercancías y materiales a otros países, especialmente al otro lado del Atlántico. Cumpliendo con esta vocación, Aula Mar ya ha establecido contactos de colaboración con las fundaciones Un mar sin barreras, YMCA-España, COCEMFE, Tutelar de Extremadura, Novia-Salcedo, Semilla, Obra Social Caja Madrid y La Caixa, así como con la Diputación de Vizcaya y la Federación coordinadora de Personas con Discapacidad Física de Bizkaia (FEKOOR).

Ficha técnica del 'Gure Izar'

Modelo:	Bergantín goleta
Año de transformación:	2009
Eslora total con bauprés:	39,40 m
Manga máxima:	7 m
Puntal de construcción:	3,90 m
Calado:	3,40 m
Desplazamiento máximo:	315 t
Altura de palos sobre cubierta:	25 m
Superficie vélica:	500 m ²
Motor:	Caterpillar 3406 C, 430 CV
Velocidad a motor:	9 nudos
Distribución:	6 camarotes (cama doble más litera) con baño / 2 camarotes dobles (literas) con baño / 2 camarotes dobles adaptados (literas) sin baño / 4 camarotes dobles (literas) sin baño / 1 baño adaptado independiente / 4 baños independientes
Tripulación profesional:	8
Pasajeros con camarote:	24
Pasajeros en navegación restringida:	80
Accesibilidad:	2 camarotes adaptados más baños adaptados / Rampa de acceso con carriles / 3 elevadores entre cubiertas / Brazolas practicables / Apoyos al control de navegación / Rotulación Braille / Potenciación sonora y visual

Presentación en sociedad

El 23 de abril de 2009 el barco fue presentado en sociedad, coincidiendo con la celebración de la feria Sinaval en el Museo Marítimo de Bilbao. Fue el colofón a nueve años de singladura en seco, durante los cuales hubo que vencer un sinfín de dificultades, especialmente de carácter financiero. Se trata de una inversión costosa tanto por la calidad de los materiales usados —madera y acero inoxidable, principalmente—, como por sus características estructurales. Los espacios y los equipos han de ser accesibles a las personas discapacitadas, eso implica que debe contar con ascensores y máquinas con señales acústicas, sonoras y táctiles adicionales, además de con un repertorio de medidas de seguridad especiales.



A la izquierda, un momento del acto de presentación del *Gure Izar* en Bilbao, el 23 de abril de 2009, durante la feria marítima Sinaval. Arriba, uno de los tres elevadores de acceso a las diferentes cubiertas.

De la Feria a 'La Pepa'

El *Gure Izar* tiene su base en los astilleros de Navantia, en Ferrol, pero, desde el pasado 22 de abril y durante los meses de verano, surcará las aguas cálidas del Mediterráneo. Tras recorrer de norte a sur la costa portuguesa, navegó desde Sanlúcar a Sevilla para ver el encendido de luces de la Feria. Después, participará, en julio, ya de vuelta a Cádiz, en los actos conmemorativos del bicentenario de la Constitución de 1812, conocida popularmente como *La Pepa*.

Dadas las características del barco y de Aula Mar, la fundación promotora, en todas las acciones programadas por el *Gure Izar* existe siempre un programa alternativo con un alto contenido social, en el que no faltan buenas causas y colectivos desfavorecidos o dignos de protección o defensa. ■



La promulgación de la Constitución de 1812, según la versión pictórica de Salvador Viniegra y Lasso. Aula Mar y su buque escuela participarán en los actos conmemorativos del bicentenario de *La Pepa*.

El coste de su construcción se eleva a cinco millones de euros y ha sido sufragado con préstamos públicos y privados, junto con pequeñas subvenciones y patrocinios bien en metálico o en especie. Aun así, los costes operativos del buque en su nueva etapa mar adentro son altos, y constituye un reto para Aula Mar hacerlo financieramente viable.

La experiencia inglesa del 'Lord Nelson' y el 'Tenacious'

Hay que remontarse a trece años atrás para encontrar el origen de esta loca aunque maravillosa idea del *Gure Izar*. Los impulsores fueron personas muy vinculadas al medio marino que conocían la existencia de los buques *Lord Nelson* y *Tena-*

cious, ambos pertenecientes a The Jubilee Sailing Trust. Esta asociación inglesa, orientada a la integración de personas discapacitadas, encontró, en su momento, en la fórmula del buque escuela una de las mejores maneras de favorecer no solo la integración de estas personas, sino también su responsabilidad y autoestima.

A primera vista, pocas actividades hay más inaccesibles para personas con minusvalías que tripular un barco. Pero no lo ha sido para estos dos buques ingleses, ni tampoco para el español, pues se puede acceder en silla de ruedas a los lugares más recónditos, como las vergas, para estibar las velas, a nada menos que veinte metros de altura. Así lo pudieron comprobar dos miembros de la funda-

ción Aula Mar —uno de ellos en silla de ruedas a causa de un accidente— cuando compartieron travesía, en noviembre de 2001, con sus amigos de The Jubilee Sailing Trust a bordo del *Lord Nelson*. Fue una experiencia inolvidable que sirvió para rematar los planes de la construcción del barco español y tomar buena nota del programa social de la organización inglesa.

En países como Reino Unido es fre-



Circuito urbano de fórmula 1 de Valencia, posible parada del buque escuela de Aula Mar.

Valencia, Mónaco y la fórmula 1

El *Gure Izar* está concebido como buque escuela y lugar de integración, pero también es un excelente vehículo para seguir de puerto en puerto, por ejemplo, la fórmula 1. Dos citas a la vista en nuestro Mediterráneo más próximo: el gran premio de Mónaco, el 27 de mayo, y el de Valencia, el 24 de junio. Ambos circuitos urbanos serpentean entre la costa y el puerto, de modo que es frecuente ver barcos anclados y en ellos aficionados disfrutando del espectáculo al paso de los potentes bólidos de Fernando Alonso y

demás élite del volante. Y en este sentido ya se han interesado algunos fletadores, privados e institucionales. Como también en seguir, desde el *Gure Izar*, el rastro de la música y el cine, que del mismo modo tienen un apretado calendario en el *Mare Nostrum*. Lugares tan emblemáticos como Cannes, Niza, San Remo y Lido pueden ser, tal vez, las siguientes etapas de la nave. ■

cuenta utilizar el adiestramiento en buques escuela no solo como medio de romper barreras físicas, sino también para desarrollar comportamientos responsables y afectivos en jóvenes marginales y con problemas de integración social. Desde su botadura en 1986, el *Lord Nelson* ha embarcado a más de 20.000 pasajeros, 6.000 de ellos con discapacidades físicas y más de 3.000 en silla de ruedas. The Jubilee Sailing Trust y Aula Mar, con su *Gure Izar*, son las dos únicas asociaciones privadas en el mundo con buques escuela adaptados.

Un viejo bonitero cántabro convertido en buque escuela

Al amparo de la experiencia inglesa nació, pues, un sueño que ahora se ha hecho realidad. El nombre del barco, por cierto, se tomó prestado de un antiguo bonitero cántabro, el *Gure Cita*, ya destartado de tanta singladura por los mares del planeta. En su etapa pescadora se le pudo ver hasta en las islas Seychelles. Pero, cincuenta años después, su único futuro era el desguace. De manera que pudieron rescatarse poco más que las cuadernas de aquel viejo barco pesquero, que empezó a reconstruirse hacia el año 2000 en una carpintería de ribera de Bermeo (Vizcaya).

La metamorfosis fue espectacular. Tras la reconstrucción del casco y la estructura básica, el *Gure Cita*, rebautizado como *Gure Izar* en honor a uno de sus primeros patrocinadores —la actual Navantia—, se trasladó en 2008 a los astilleros Murueta, en la ría de Bilbao, en donde fue botado dos años después. Antes se sometió a un profundo equipamiento adaptado a su nuevo fin social y a sus inimaginables usos.

Su condición de buque escuela le convierte en un escenario para la enseñanza y la práctica de la navegación, la geología, la biología y el medio ambiente, así como para la investigación y las actividades de ocio, deporte y aventura. También es idóneo para fomentar la reinserción social, desarrollar actividades destinadas a la formación profesional, la educación de niños y jóvenes, o programas con la tercera edad.



El buque escuela *Gure Izar*, el pasado mes de abril, durante su travesía de Coruña a Cádiz.

A la puesta en marcha del proyecto han contribuido administraciones públicas, empresas e instituciones, así como voluntarios con experiencia de navegación, y socios y amigos amantes de la difusión de la cultura del mar entre todos los estratos de la población, especialmente entre los más alejados por su condición física, social o geográfica.

A principios de abril, el *Gure Izar* culminaba su varada en astilleros de La Coruña —una especie de ITV marina—,

y ponía a punto velas, motores, equipos electrónicos y de seguridad, provisiones, seguros y autorizaciones necesarias para salir a navegar rumbo a Cádiz, en la que es su primera singladura pública. Tal vez este verano, en algún lugar del mar, alguien se cruce con un inesperado bergantín y crea estar soñando al ver algo parecido a un marinero en silla de ruedas encaramado a su esbelta arboladura y faenando con velas y jarcias. ■



ATyC a Tenedor y Cuchara

Gollerías y realidades

Una de las acepciones con las que el Diccionario de la Real Academia Española identifica la palabra *gollería* es superficialidad. Y a este Sollastre le parece, ahora que se acaba de publicar la lista de los “50 Mejores Restaurantes del Mundo”, que le viene pintiparado el término para definir la cocina que se practica en tan *sagrados establos* abiertos en nombre de Epicuro y, por supuesto, también del rico Epulón, dados los precios que alcanzan los menús que se expiden en las mesas de los *elegidos*.

Como saben los lectores de ATyC, este viejo marmitón defiende siempre la cocina honrada y basada, sobre todo, en la materia prima sabiamente tratada en su preparación. Justo lo contrario de las cartas que dictan casi todos los propietarios de los elegidos como los “50 mejores”, algunos de ellos sabios alquimistas que dejarían en mantillas al propio Roger Bacon.

El Sollastre no se siente impresionado por una lista que elaboran, con sus votos, 837 personas escogidas entre “chefs, restauradores, críticos y *gourmets* amantes de la buena mesa”. Sí quiere llamar la atención a sus lectores respecto a que el selecto grupo de críticos forma un *fanalsterio* que *farandulea* anualmente entre una lista muy restringida de establecimientos preseleccionados por las *academias gastronómicas* de cada país. Cada uno de los electores cuenta con siete votos, tres de los cua-

les deben otorgarse —obligatoriamente— a restaurantes de fuera de su área de influencia. Además, es necesario haber visitado y comido en alguno de los nominados en los últimos dieciocho meses previos a la votación. Esto significa una clientela cautiva que poco tiempo tiene para descubrir novedades. De hecho, si visitan ustedes la web correspondiente, observarán que la composición de las listas anuales experimenta mínimas incorporaciones. El viejo *Hotel Dorchester*, en el exquisito barrio londinense de Mayfair, acogió hace pocas semanas a la crítica internacional para otorgar los *cucharones* de 2012. Resumiremos diciendo que el *number one* es, desde que *El Bulli* cerró temporalmente, el restaurante *Noma*, en Dinamarca. Entre los diez primeros sobresalen tres españoles, de los cuales este Sollastre está feliz con el reconocimiento como número 2 a *El Celler de Can Roca*, en Gerona. Y está feliz porque, en una anterior vida en

otra revista en la que escribió hace veinte años, pronosticó que los hermanos Roca llegarían a lo más alto. Hoy, desde aquella profecía, quiere hacer llegar sus parabienes a Joan, Jordi y Josep —las tres jotas de la restauración española— por su éxito.

En cualquier caso, no hay que olvidar que, un año más, la polémica entre críticos y restauradores con motivo de la publicación del listado está servida. Y creo que así seguirá, mientras las listas no sean elaboradas basándose en los comentarios de los clientes anónimos que, en una época dominada por las nuevas tecnologías, puedan criticar todos los restaurantes que visiten. Sin ánimo de publicidad alguna, invito a mis lectores a que, por ejemplo, en la web “El tenedor” dejen sus comentarios tras degustar los platos que seleccionen en cualquiera de los comedores que visiten. Estén convencidos de que se los agradecerán no solo los futuros clientes de esos establecimientos, sino tam-



Cándido está al frente de los fogones de *Sazadón*.

J. FERNÁNDEZ



J. FERNÁNDEZ

Beni y Nina son los artífices del éxito de *Cuco's*.

bién los propietarios de los mismos.

Cocina de diario

Dado que los emolumentos que este escritor percibe por su colaboración son incontables, pues conocida es la cicatería de nuestro director, entenderán ustedes que no les pueda recomendar ninguno de los exquisitos “50 elegidos”. Sin embargo, el Sollastre se precia de ponerles sobre las pistas de fogones de primera calidad que, llenando a diario, no figurarán nunca en las listas de los empingorotados críticos que —con cargo a la sopa boba— llenan cada año los salones del mencionado *The Dorchester*, en el que se alojó durante la II Guerra Mundial el genial Winston Churchill: las características arquitectónicas del restaurante añadían un plus de seguridad al edificio. Sin embargo, en un mundo sin humos como el actual, no creo que el famoso *premier* lo visitara hoy, por la imposibilidad de encender sus conocidos habanos.

Volviendo a la realidad cotidiana, que es lo que viven la mayoría de los ciu-

dadanos atrapados por los recortes (perdón, reajustes), voy a ponerles sobre la pista de dos restaurantes de la capital del Reino cuyo conocimiento es imprescindible.

Tras una doble fachada de madera que se levanta en la calle Gaztambide, 44, se encuentra el restaurante *Sazadón* (Tel.: 915 447 529). Aquí, sin necesidad de publicidad en *guías pagadas*, sientan sus reales Cándido y su equipo, quienes a diario satisfacen a una clientela de lo más variopinta. Una gran parte de la misma viene atraída por el menú del día que, a razón de once euros, ofrece una cocina de una calidad inimaginable. Entre los platos más conseguidos están los de cuchara —no en vano Cándido proviene de la provincia de Zamora—, de los que destacan la fabada asturiana y las lentejas, así como los archiconocidos garbanzos en cualquiera de sus preparaciones. El menú puede completarse con unos callos —sucleños y en su justo punto de picor— o un filete de gallo que ya no se encuentra en Madrid (de hecho, desde los

tiempos en que Pepe Prada, campeón de lucha greco-romana, regentaba *La Playa*, no había vuelto a probarlo el Sollastre). No voy a describirles el menú, porque cambia a diario y lo mejor es que se acerquen a comprobarlo. No se sentirán defraudados.

Pero, además, si su faltriquera se lo permite, aquí podrán degustar platos difíciles de encontrar en lugares de mayor postín. Por ejemplo, en temporada, Cándido les ofrecerá una de las pocas lampreas que llegan a Madrid. También podrán encontrar a diario un pulpo a la brasa, servido con alioli y papada de cerdo, que jamás habrán probado. Si es usted amante de la carne, encontrará un cabrito asado difícil de mejorar. Y si de pescados se trata, déjense aconsejar por cualquiera de los muy eficientes componentes del equipo de sala. Uno de los últimos días nos obsequiaron con unos tacos de merro soberbios. Y eran parte de un ejemplar de algo más de cincuenta kilos que Cándido no necesitó congelar, por la rapidez con que salió a las mesas. En cuanto a los postres, todos caseros, soliciten aquellos que sean de su gusto.

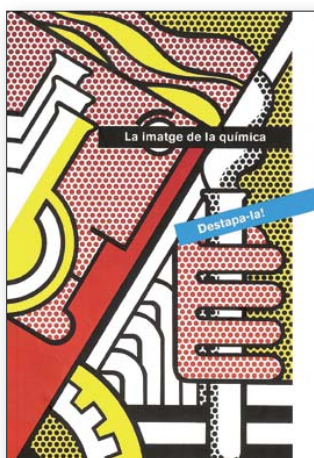
Finalmente, tras un café sabiamente mezclado, podrán degustar alguno de los *gin-tonics* mejor preparados en Madrid. Como no me permito hacer publicidad de ninguna marca de ginebra, pídadle a Julián que les cante la enorme variedad con las que cuenta y que les preparará en la mesa a su vista y gusto. En fin, una

delicia de sitio en el que además, si les petea, pueden acabar jugando un mus con sus amigos.

En el otro extremo de Madrid, calle Emilio Vargas, 1 (¿les suena?), se encuentra *Cuco's* (Tel.: 915 190 304). Otro establecimiento que tampoco visitarán los estirados 837 componentes del equipo de la revista *Restaurante*. Y desde luego los entiendo, porque no están acostumbrados a locales como este, que hace gala de una honradez y calidad difíciles de encontrar. Por supuesto que el *Noma* sería incapaz de alimentar a las cataratas de clientes que diariamente visitan los comedores que vigilan y atienden Beni y su esposa, Nina. Aquí se viene a degustar el menú diario que, en una cocina a la vista del público, se prepara con alimentos bien seleccionados y mejor condimentados. Todos los trabajadores de las numerosas empresas ubicadas en sus alrededores recalán aquí para comer como en casa. El numeroso equipo recita el menú de viva voz, que siempre tiene gran aceptación. Y si lo que se quiere es comer a la carta, también puede hacerse. No dejen de probar la extraordinaria cecina que Beni —berciano militante— consigue en los pueblos de sus ancestros. Carnes rojas especiales componen una oferta tentadora para los cientos de personas que pasan por sus mesas. Y cuando llega el buen tiempo, una espaciosa terraza, alejada del tráfico rodado, les permitirá prolongar la sobremesa hasta que sus obligaciones les reclamen. ■

SORBER EL

por
Manuel Toharia

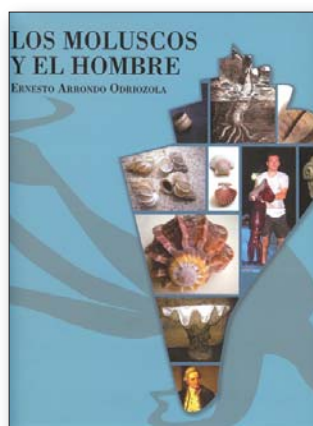


La imatge de la química, Destapa-la!

**Textos de Bernardo
Herradón-García, imágenes
de la exposición del mismo
nombre organizada por la
Universidad de Valencia
Colegio Mayor
Rector Peset
Valencia, 2011**

Uno de los libros más originales, y eficaces, de los aparecidos en 2011 como contribución al Año Internacional de la Química. El texto, bilingüe valenciano-castellano, se refiere a la mala imagen de la química como ciencia aplicada, sobre todo en el mundo de hoy. Pero luego se incluyen multitud de carteles, imágenes gráficas, incluso anuncios de prensa o cine, en los que de forma muy patente queda claro el discurso acusador de la publicación hacia una sociedad que ignora olímpicamente los enormes beneficios de la química moderna para destacar tan solo algunas reducidas aplicaciones negativas que, como siempre, se deben al mal uso social, económico o político de la ciencia más que a la propia maldad o bondad del conocimiento científico per se. El libro es aménisimo: asombra, divierte y

a menudo entristece. De hecho, la imagen de los científicos en general, por ejemplo en los cómics o el cine (desde el malvado doctor No de *James Bond* al profesor Bacterio de *Mortadelo y Filemón*, pasando por el despistado y esotérico Profesor Tornasol de *Tintín*, y tantos otros), es más que lamentable. Pero, ¿qué sería del mundo de hoy sin los avances científicos y tecnológicos? ■



Los moluscos y el hombre Ernesto Arrondo Odriozola Fundación Oceanográfica de Gipuzkoa, Aquarium San Sebastián, 2012

Ernesto Arrondo, quizá uno de los naturalistas más versátiles y completos que hay en España, quizá en toda Europa, lleva toda su vida dedicándose a su pasión por la naturaleza. Experto micólogo y tal vez uno de los mejores malacólogos del mundo, por citar solo dos de sus pasiones por la biología, acaba de donar su colección de conchas —más de 12.000— al acuario de San Sebastián. Y para celebrarlo, es capaz de escribir un libro enorme —por el tamaño y la calidad de sus fotos, y por el número de páginas— en

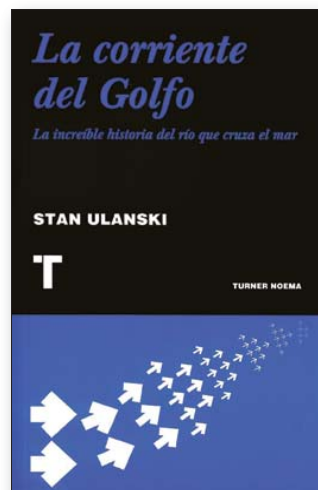
torno a un tema que, a priori, podría parecer insólito: la relación entre los moluscos y la vida cotidiana de los seres humanos. En lugar de resumir el contenido de sus muchas páginas, quizá sea suficiente con citar el título de algunos de los capítulos del libro, que repasa desde la etnomalacología (que describe la relación entre humanos y moluscos) la *malacobiónica* (neologismo que describe cómo los humanos hemos aprendido de los moluscos tecnologías que luego hemos utilizado en provecho propio). En la primera parte, se analizan todos los moluscos beneficiosos o perjudiciales para el ser humano; su uso desde la prehistoria; la relación con el arte, la religión, las monedas y la medicina; los testimonios fósiles del pasado y, por supuesto, su importancia en la alimentación. Y en la segunda, que es, sin duda, aún mucho más sorprendente, se abordan cuestiones como el número áureo *phi*, la hélice cónica o los fractales; múltiples principios relativos a la mecánica de fluidos (Bernoulli, Arquímedes, robótica...), la química (bioluminiscencia, anticongelantes, insecticidas...), la construcción (cementos, maquinaria...), la náutica (submarino, *snorkel*, brújula...) o el textil (seda marina, teñido, cremalleras...), y así sucesivamente. Un gran libro, bellamente editado, con imágenes espectaculares y un texto que no defrauda al más exigente de los lectores. *Eskerrik asko*, Ernesto. ■



**Acta Científica
y Tecnológica**
Revista de la Asociación
Española de Científicos,
Nº 19
Madrid, 2011

Aunque no se trata de un libro propiamente dicho, traemos a estas páginas una publicación que, calladamente pero de forma inexorable, se empeña en demostrar que los científicos españoles no cesan de aportar su contribución al saber mundial en todo tipo de materias. Es el último número, que apareció a finales del año pasado; el siguiente está por ver la luz cuando escribimos estas líneas. Pero no es relevante el número en sí, sino la publicación como tal. Corre a cargo de su edición una asociación modesta en sus medios pero sumamente ambiciosa en sus objetivos, que agrupa a todos aquellos científicos que quieren poner en común sus conocimientos con la sociedad, al margen de estructuras administrativas, institucionales o privadas. La Asociación Española de Científicos nació inicialmente de los deseos estrictamente profesionales, basados en el amor a la ciencia, de un gru-

po reducido de investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), al que luego se fueron uniendo muchos otros científicos e incluso algunos profesionales de la comunicación en este campo del saber. Hoy la revista es una realidad más que consolidada, que abarca todo tipo de temas con una exigencia de rigor casi equivalente a una publicación especializada revisada por pares. Véanse algunos de los apartados de este número: *Nueva meditación de la técnica, La química del vehículo eléctrico, Yacimientos del hombre fósil en Murcia, Sistema electrónico para evaluación de la acidez ambiental con sensores ópticos, Materiales metálicos biodegradables en Biomedicina y Los insectos en la alimentación de los pueblos mesoamericanos*, entre otros. ■



La corriente del Golfo
(La increíble historia
del río que cruza el mar)
Stan Ulanski
Turner, colección Noema
Madrid, 2012

Cuando los que ahora nos acercamos a la senectud éramos niños, se le llamaba Gulf

Stream, y nosotros lo leíamos tal cual: *gulfstream*... Ahora se llama corriente del Golfo, porque procede del exterior del Golfo de México y se dirige hacia el norte de Europa, atravesando en diagonal el Atlántico. Es muy bien conocida por los marinos desde hace siglos, y se la ha llamado incluso "la autopista del Atlántico". Se trata de una masa de agua cálida, por su origen, que se desplaza sin alterarse prácticamente nada de forma bastante rápida y que, al llegar a las costas europeas, les "contagia" su calor, dulcificando notablemente los rigores de su clima. Por eso, a latitud igual hace mucho menos frío en las costas noruegas que en las costas similares de Canadá, prácticamente siempre congeladas. Y la temperatura media de la Bretaña francesa, por ejemplo, nada tiene que ver con la de la costa de Terranova equivalente, a igual latitud: en la primera casi no nieva ni hiel la nunca, mientras que en la segunda la nieve y el hielo son permanentes durante muchísimos meses... Ulanski, profesor de Geología y Medio Ambiente de la Universidad Madison (Virginia, Estados Unidos), aborda en su obra un viaje histórico por el conocimiento de este río cálido del mar, contando todo tipo de historias humanas y animales: desde las protagonizadas por piratas a aquellas referidas al atún y el plancton, pasando por las que versan sobre las angulas o los salmones. Es un libro de ciencia, con miles de datos, que sin embargo se lee como una novela, casi sin respirar... ■

SUSCRIPCIÓNestratos

Nombre y apellidos	Población
Domicilio	e-mail
CP	Provincia

De acuerdo con lo dispuesto en la vigente normativa, le informamos de que los datos que usted pueda facilitarnos a través del presente boletín de actualización quedarán incluidos en un fichero del que es responsable ENRESA, donde puede dirigirse para ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, oposición o cancelación de la información obrante en el mismo, bien a través de la dirección de correo electrónico registro@enresa.es o por escrito a la calle Emilio Vargas, 7. 28043 Madrid. Los datos personales que se solicitan al suscriptor son los estrictamente imprescindibles para poder recibir la revista. Estos datos se tratarán únicamente para gestionar la lista de suscriptores y no se comunicarán a ningún tercero.



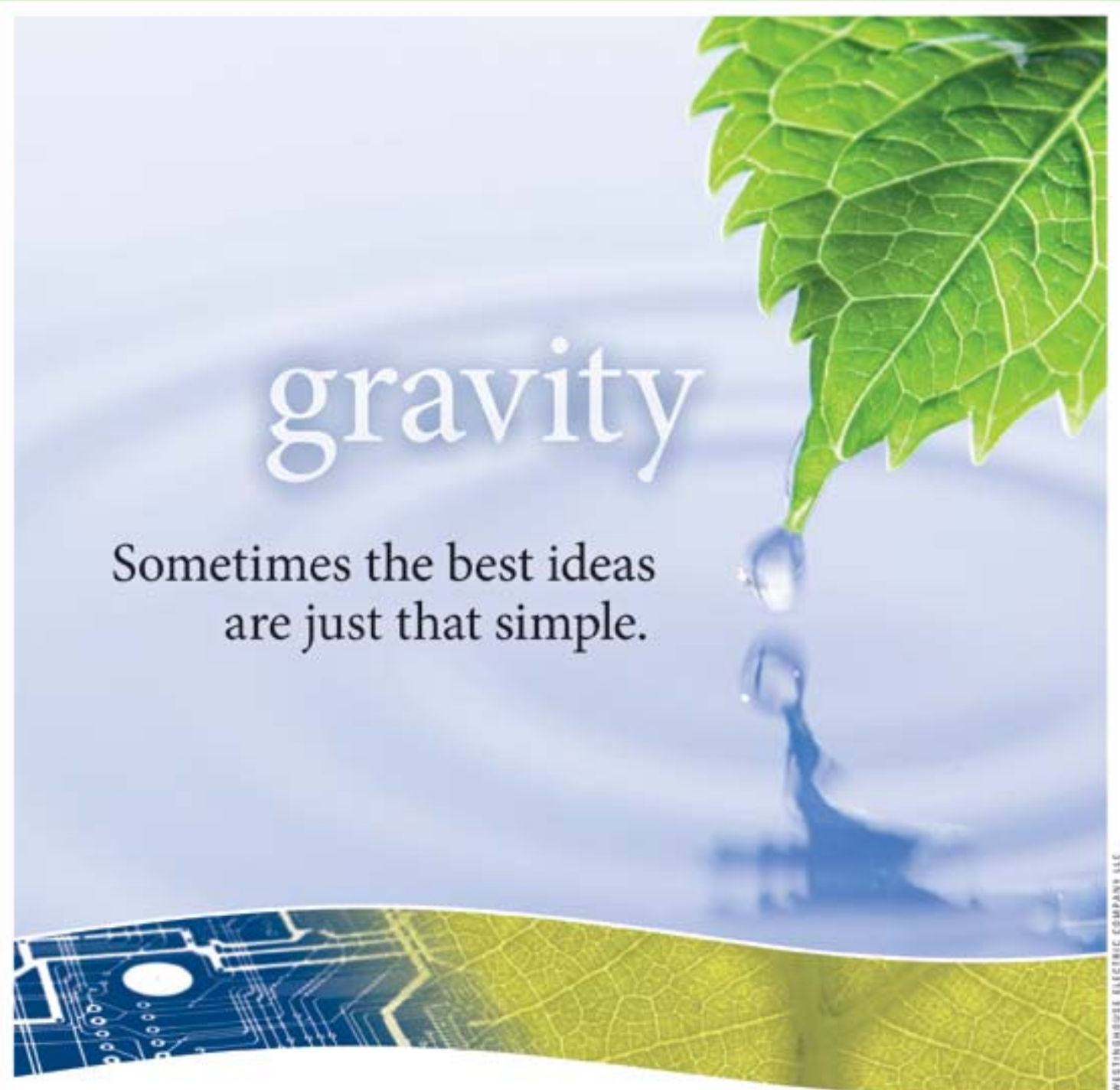
Un ejemplar de mantis religiosa devora a su presa.

Apetito voraz

LA FORMA PLEGADA DE SUS FORMIDABLES PATAS DELANTERAS recuerda a alguien en actitud de oración, lo que ha dado nombre a la especie: mantis religiosa. Incluso su denominación vulgar en muchas zonas es el de santateresa. Pero, evidentemente, no reza por sus víctimas. Simplemente se mantiene inmóvil, en esa postura, al acecho de las posibles presas que se le acerquen.

Es inconfundible su cabeza triangular, que puede girar 180

grados, en la que destacan dos enormes ojos compuestos que le proporcionan una magnífica visión. Si se añade a esto su tamaño, relativamente grande, y su rapidez de movimientos, queda convertida en uno de los más feroces depredadores del mundo de los insectos. Abundante en los campos de España, no es fácil que su presencia sea detectada, debido a su misteriosa capacidad para obtener la coloración del entorno en el que vive, lo que hace que pase inadvertida también para sus presas. ■



gravity

Sometimes the best ideas
are just that simple.



Westinghouse

A Toshiba Group Company

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

When we designed the **AP1000** nuclear reactor, we asked ourselves which would be more reliable, multiple arrays of electro-mechanical systems or gravity. To us, the answer is obvious, which is why the **AP1000** nuclear power plant makes use of the stable forces of nature to keep the nuclear reactor safe after any unforeseen event. No need for electrical power. No need for cooling water (that is already inside the robust containment building). No need for an operator to touch a single button for a full 72 hours.

Check us out at www.westinghousenuclear.com



EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

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

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

■ Tecnología

■ Experiencia

■ Dedicación



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

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

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