



Francisco Gil-Ortega,
presidente de
Enresa: "El ATC
es una apuesta
estratégica
para España"



**La moderna
robótica
y la inteligencia
artificial acercan
el sueño de
los androides**



**'Primavera
silenciosa', el libro
más influyente
del movimiento
ambiental, cumple
medio siglo**

estratos

**Empresa
Nacional
de Residuos
Radiactivos
N.º 103
Otoño 2012**

**El Cabril,
veinte años
de modernidad**



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

El Cabril, dos décadas de servicio público

SE CUMPLE ESTE AÑO EL VIGÉSIMO ANIVERSARIO DE LA puesta en operación del almacén centralizado para residuos radiactivos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba). Con esta instalación, España se dotaba de una herramienta fundamental para la gestión integral de este tipo de residuos, e ingresaba en el club de países que entonces disponían de una entidad específica para su tratamiento.

Actualmente, El Cabril es una instalación valorada internacionalmente y perfectamente integrada en su entorno, como muestran las fluidas relaciones que mantiene con ayuntamientos, colectivos sociales e instituciones de la comarca. Pero a esta normalidad institucional se ha llegado tras un largo camino en el que se han vencido grandes recelos y falsos prejuicios.

Hasta diciembre de 1985, la antigua Junta de Energía Nuclear era la encargada de recoger, acondicionar y almacenar los residuos radiactivos que se generaban en hospitales, industrias y centros de investigación. Con la creación de Enresa, la instalación pasó a ser gestionada por la recién nacida empresa pública. El Cabril era entonces una instalación básica desde el punto de vista tecnológico y en la que se realizaban unas actividades que eran vistas con desconfianza por el entorno.

En aquellos primeros años, para Enresa era prioritaria la adquisición de conocimientos y la puesta al día en lo que se refiere a las tecnologías aplicadas al campo de la gestión de los residuos radiactivos en los países más desarrollados. De este modo, los técnicos de Enresa participaron activamente en grupos de trabajo internacionales, se integraron en diversas comisiones de la entonces Comunidad Europea (CE) que se dedicaban a la transferencia de tecnología y colaboraron en numerosos proyectos a nivel internacional. Todo este esfuerzo se hizo para dotar a nuestro país de unas instalaciones de ges-

tión y almacenamiento de residuos radiactivos tecnológicamente avanzadas, en las que la premisa de la seguridad era fundamental.

En paralelo a la actividad técnica internacional, Enresa entendió que, como servicio público, era estratégica la puesta en marcha de una política de comunicación institucional para dar a conocer a la opinión pública y, especialmente, al entorno social, político y económico de El Cabril, el trabajo de la empresa, el funcionamiento de la instalación de almacenamiento y sus medidas de seguridad.

Para ello se desarrollaron diversas iniciativas: información continua de las actividades del almacén a los ayuntamientos de la zona; apertura de la instalación a los vecinos a través de un programa de visitas al centro de información; política de puertas abiertas con los medios de comunicación. Unas iniciativas que, en aquella época de profundos cambios sociales, con una opinión pública mediatizada por lo antinuclear y con los movimientos ecologistas en pleno auge, fueron poco a poco dando sus resultados.

Veinte años después, el almacén centralizado de El Cabril sigue siendo una instalación puntera y de referencia, como lo acreditan las continuas visitas internacionales, gracias a la constante mejora de sus procesos de gestión y a la actualización periódica de sus infraestructuras —una de las últimas fue la puesta en marcha de una nueva sala de control—. Pero también es valorado por un entorno que ve en El Cabril un eje de progreso para la zona, una fuente de ingresos para los pueblos de la comarca, un yacimiento de empleo fijo y de calidad para sus vecinos y, especialmente, una instalación seria, en la que la seguridad de sus actividades está garantizada por dos décadas de trabajo sin incidentes de ningún tipo. ■

estratos

N ° 103 O T O Ñ O 2012

31

La mejora continua,
herramienta clave en
la gestión de Enresa

Julián Herrero y Juan Diego Quesada



38

Un puente de I+D
entre Enresa y el CSN

Ignacio Bayo y Lorena Cabeza

42

Entrevista al físico
Juan Ignacio Cirac

Concha Barrigós



52

El fuego y los alimentos,
no tan buenos amigos

Manuel Toharia



34

La 'Primavera silenciosa'
que atronó las
conciencias

Pablo Francescutti



56

¿Fuga de cerebros?

Leticia Arenas

46

Diseño de una barrera
reactiva permeable para
contaminantes radiactivos

Carlos Ayora, Jesús Carrera
y Miguel García-Gutiérrez

4 Actualidad

60 Noticias

62 Libros

64 Una imagen,
cien palabras

Almacén centralizado
de El Cabril (Jorge Fernández)



Presidente: Francisco Gil-Ortega.

Director: Máximo Taranilla.

Redactor jefe: Jorge Fernández.

Seguimiento: Teresa Palacio.

Redactores y colaboradores: Leticia Arenas, Julio Astudillo, Concha Barrigós, Ignacio F. Bayo, Lorena Cabeza, 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, Manuel Toharia y Jesús Vicenti.

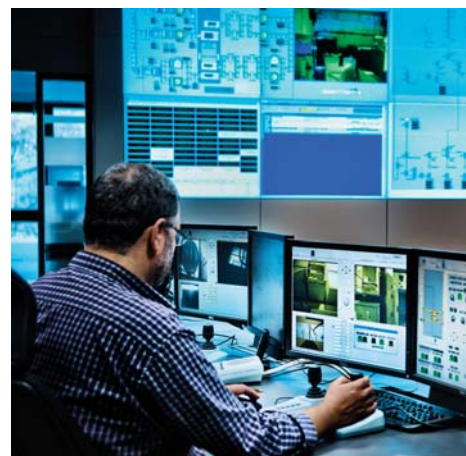
IO

El Cabril, veinte años de modernidad

En 1992 empezaba a funcionar en la Sierra Albarrana cordobesa el almacén de residuos radiactivos de baja y media actividad más moderno del mundo. Dos décadas después, El Cabril desarrolla una actividad segura, eficiente y abierta al público, motivo por el cual se ha convertido en una instalación querida en su entorno y en un referente internacional.

El Cabril, twenty years of modernity (page 18)

Texto: Teresa Palacio



ALFREDO CÁLIZ

22

“El ATC es una apuesta estratégica para España”

Francisco Gil-Ortega se convirtió, el pasado mes de junio, en el cuarto presidente de Enresa. Químico de formación, posee un amplio conocimiento de la empresa que ahora rige tras formar parte de la Comisión de Industria del Senado durante tres legislaturas. La puesta en marcha del Almacén Temporal Centralizado (ATC) en la localidad conuense de Villar de Cañas es uno de los principales objetivos de su mandato.

Texto: Jorge Fernández y Teresa Palacio



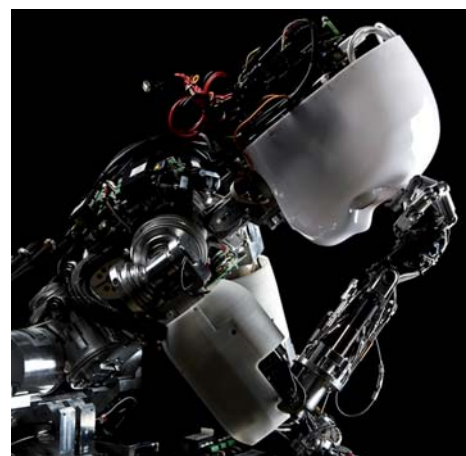
JORGE FERNÁNDEZ

26

El sueño de los androides, más cerca

Estamos acostumbrados a verlos en las películas de ciencia ficción, pero cada vez están más cerca de ser una realidad al alcance de todos. Robots, androides, humanoides... cuidarán en un futuro cercano de nuestros hijos y de nuestros padres y nos ayudarán en múltiples tareas cotidianas. El objetivo que persiguen los investigadores es que máquinas tan inteligentes o más que los humanos, sociables y con emociones, vivan entre nosotros.

Texto: Mónica Salomone



ROBOTCUB

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.

El ministro de Industria, la presidenta de Castilla La-Mancha y el presidente de Enresa explicaron los detalles de la futura instalación

Presentación oficial del proyecto del ATC a los vecinos de Villar de Cañas

El ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria, y la presidenta de Castilla-La Mancha, María Dolores de Cospedal, acompañados del presidente de Enresa, Francisco Gil-Ortega, asistieron el pasado 4 de julio a la presentación oficial del proyecto del Almacén Temporal Centralizado (ATC) en Villar de Cañas (Cuenca). Por otra parte, Enresa ha dado los primeros pasos para la construcción del ATC con la elección de los terrenos donde se ubicará la instalación y la apertura de una oficina de información al público. Además, Enresa ha firmado un acuerdo con la Consejería de Fomento de Castilla-La Mancha para la ejecución de proyectos y obras de mejora de las carreteras del entorno.

En el acto de presentación, que tuvo lugar en la antigua sede de la Cámara Agraria y al que acudieron más de medio millar de vecinos de la localidad y de los municipios del entorno, José Manuel Soria aseguró que la inserción de proyectos de inversión como el ATC en una comunidad como Castilla-La Mancha, que actualmente cuenta con un sector industrial débil,

supone “un revulsivo y un gran empuje para el desarrollo de la región”. El objetivo es, según Soria, “atraer empresas que generen talento, que innoven y que investiguen en desarrollo”. El titular de Industria destacó que “el ATC es

un proyecto cargado de futuro, oportunidades y empleo para Villar de Cañas y Cuenca durante los próximos años”.

Por su parte, María Dolores de Cospedal mostró su confianza en que el ATC revierta la tendencia a la

despoblación de la provincia de Cuenca y suponga la apertura de nuevas oportunidades para sus vecinos. Para Cospedal, el ATC será “un foco de atracción de empresas” que contribuirá a modernizar el sistema productivo de la región. “Somos una sociedad eminentemente rural, pero tenemos que apostar por las nuevas tecnologías y por dar a nuestros jóvenes la mejor formación”, afirmó la presidenta de los castellano-manchegos.

Francisco Gil-Ortega, en su primer acto público tras su nombramiento como presidente de Enresa, agradeció al municipio de Villar de Cañas su rotunda apuesta por una instalación segura al cien por cien, y garantizó que el ATC será una fuente de desarrollo y riqueza para la comarca. El presidente de Enresa afirmó que, de manera inmediata, se iniciará el proceso administrativo para la construcción del ATC y su centro tecnológico asociado, en los que se invertirán 980 millones de euros que permitirán la creación de entre 300 y 500 empleos a lo largo de los cinco años que está previsto que dure su construcción, y de unos 120 empleos durante su operación.



El ministro José Manuel Soria y la presidenta María Dolores de Cospedal llegan a Villar Cañas para la presentación del proyecto del ATC.



Visita de las autoridades a los terrenos donde se construirá la instalación.

Francisco Gil-Ortega, al frente del nuevo Consejo de Administración de Enresa

El Consejo de Administración de Enresa, a propuesta del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, nombró presidente de la compañía a Francisco Gil-Ortega Rincón (Arenas de San Juan, Ciudad Real, 1950) el pasado 25 de junio. El nuevo presidente es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y desempeñaba el cargo de vicepresidente de las Cortes de Castilla-La Mancha. De este modo, Gil-Ortega se convierte en el cuarto presidente de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos tras los mandatos de Juan Manuel Kindelán (1985-1994), José Alejandro Pina (1994-1996 y 2004-2012) y Antonio Colino (1996-2004).

Gil-Ortega preside ahora el Consejo de Administración de la empresa pública, cuyo vicepresidente es Cayetano López Martínez, director general del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Los vocales que componen el nuevo Consejo son Javier Arana Landa, subdirector general de la Energía Nuclear (Ministerio de Industria, Energía y Turismo); Luis Carreras Guillén, subdirector general de Gestión Económica y de Ayudas a la Investigación (Ministerio de

Economía y Competitividad); Adolfo Cazorla Montero, catedrático de Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (Universidad Politécnica de Madrid); Ignacio Grangel Vicente, director del Gabinete del secretario de Estado de la Energía (Ministerio de Industria, Energía y Turismo); Luis Martín Fabiani, vicesecretario general técnico del Ministerio de Economía y Competitividad; David Martínez Hornillos, vocal asesor económico del Gabinete del Ministro de Economía y Competitividad; José Esteban Martínez Jiménez, inspector general de Servicios (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente); Ramón Pérez de Vargas Sánchez

de Castro, subdirector general de Atención al Usuario de Telecomunicaciones (Ministerio de Industria, Energía y Turismo), y Margarita Vila Pena, subdirectora general de Relaciones Institucionales y Transferencia del Conocimiento del CIEMAT. La Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI) está representada por Carlos Gascó Travesedo, director del Gabinete de Presidencia, y Santiago Gallego Lago, quien hace las veces de secretario y letrado asesor. ■



Vista exterior de la sede de Enresa en Madrid.

JORGE FERNÁNDEZ

Oficina de información en Villar de Cañas

Siguiendo la política de transparencia e información de todos sus proyectos, Enresa puso en marcha el pasado mes de agosto una oficina de información sobre el ATC. Este espacio está dotado con paneles informativos, maquetas y vídeos acerca del proyecto y su centro tecnológico asociado. La oficina tiene además una zona administrativa y una sala de reuniones de apoyo al proyecto durante la construcción del almacén.

Desde su apertura, han pasado por la oficina numerosas personas interesadas en conocer el futuro ATC así como empresarios que ofrecen sus servicios de cara al desarrollo del proyecto.

Mejora de las carreteras del entorno del ATC

La consejera de Fomento de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Marta García de la Calzada, y el presidente de Enresa, Francisco Gil-Ortega, firmaron en los

primeros días de septiembre, en Toledo, un acuerdo de colaboración entre ambas instituciones para la ejecución de obras de mejora de las carreteras del entorno del ATC. Las actuaciones previstas en el convenio están valoradas en un importe de 18,8 millones de euros y será una comisión mixta, integrada por representantes de la Consejería de Fomento y de Enresa, la encargada del seguimiento del programa de actuaciones, así como de asegurar la coor-

dinación de los diversos proyectos.

Al término del acto, el presidente de Enresa agradeció “al Gobierno regional la oportunidad de firmar este convenio, que nos va a dar la posibilidad de ir más rápidos en la consecución de nuestro objetivo: la construcción del ATC en Villar de Cañas, porque así lo ha querido el Gobierno de España”. “Nuestra prioridad es iniciar las obras cuanto antes y crear el máximo número de empleos en la zona”, añadió. ■

Los residuos del reproceso de Vandellós I volverán a España antes de octubre de 2015

Los residuos radiactivos del reproceso del combustible gastado de la central nuclear Vandellós I (Tarragona) que finalmente retornarán a nuestro país, y que actualmente se encuentran en Francia, serán de un volumen muy inferior, así como de mejor calidad de acondicionado a lo establecido en el protocolo firmado en su día entre Hifrensa, entonces titular de la central, y Cogema, la parte francesa convertida hoy en Areva. Según el acuerdo alcanzado recientemente por el grupo de trabajo intergubernamental hispano-francés (Enresa-Areva), se establece antes de octubre de 2015 como fecha para la vuelta de esos residuos a España. Este convenio, que supone una modificación del alcance del protocolo en vigor, contempla también una reducción importante en el número de los transportes previstos, además de la devolución por parte gala de las penalizaciones ya pagadas por Enresa y la interrupción de las mismas.

Las condiciones sobre el retorno de los residuos radiactivos del reproceso del combustible gastado de la central nuclear Vandellós I (actualmente desmantelada hasta el nivel 2) se fir-

maron en 2001 por Hifrensa y Cogema. Este protocolo, autorizado por resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas, fue objeto de un acuerdo posterior de subrogación de Enresa en la posición de Hifrensa.

Tal como se recoge en el VI Plan General de Residuos Radiactivos, actualmente en vigor, los residuos que debían retornar a nuestro país de acuerdo con ese protocolo deberían ser: 68 cápsulas de residuos vitrificados de alta actividad (12 m³) y unos 664 m³ de residuos radiactivos de media actividad y vida larga de tipos y formas diversos. El programa de transporte para el retorno se iniciaría, como tarde, el 31 de diciembre de 2011, y finalizaría, como máximo, cinco años después, el 31 de diciembre de 2015.

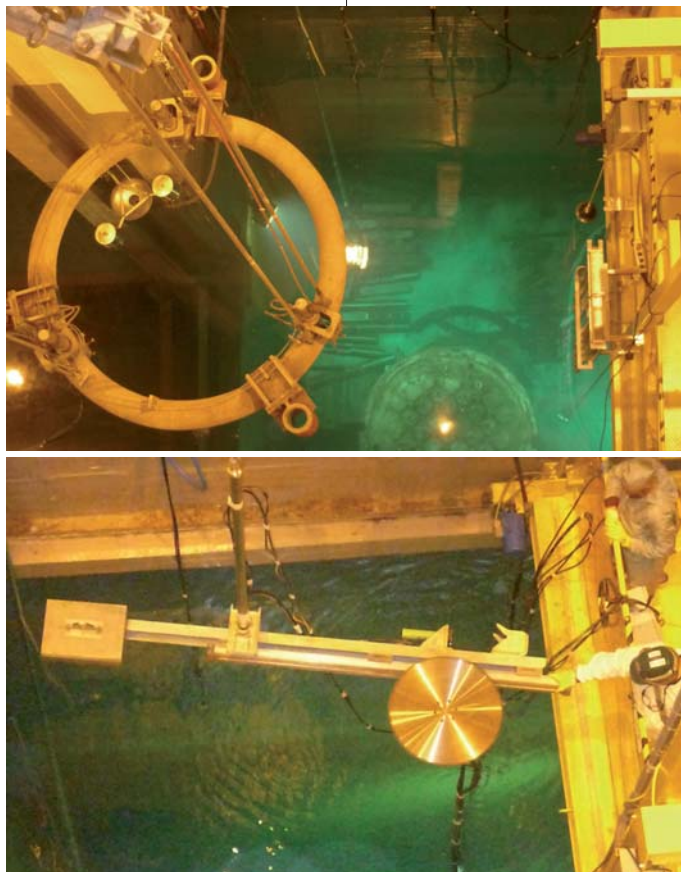
Propuesta de intercambio

En una declaración conjunta de los gobiernos español y francés, en 2009, se creó un grupo de trabajo intergubernamental sobre el retorno de los residuos españoles almacenados en Francia. En el seno de este grupo de trabajo, y a propuesta de

Comienza la retirada del reactor de la central de Zorita

El proyecto de desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera (Almonacid de Zorita, Guadalajara) ha entrado en una de sus fases más importantes: la retirada del reactor de la planta. Para ello, se está procediendo al corte de los componentes internos del mismo. Después, se segmentará también la propia vasija del reactor.

El corte de los componentes internos del reactor se realiza bajo agua con herramientas de corte mecánico robotizadas y con el apoyo de un sistema de cámaras de televisión subacuáticas. Las piezas obtenidas (excepto una parte de los internos inferior-



Arriba, interior del reactor y, abajo, instrumentos de corte.

res que, por su actividad, serán acondicionados en cuatro contenedores y almacenados en el almacén temporal individualizado de la instalación, junto con el combustible gastado) se transferirán al edificio auxiliar de desmantelamiento (antiguo edificio de turbina), donde serán debidamente acondicionadas para su posterior envío al almacén centralizado de residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba).

Los denominados internos superiores ya han sido cortados y en estos momentos se acomete la segmentación de los internos inferiores. Se trata del área más activada, dado que albergaba el combustible necesario para producir la



Interior de la central de Vandellós I, actualmente en estado de latencia.

Areva, se han venido analizando en los últimos años por las dos partes distintas opciones para el intercambio de los tipos de residuos que deben volver a nuestro país bajo los criterios de optimización de la tipología y las cantidades.

El acuerdo alcanzado contempla una propuesta de intercambio de residuos de media actividad por otros también de media pero de mayor actividad específica, acondicionados en cápsula universal de 0,18 m³. Los residuos que definitivamente retornarán a nuestro país según el acuerdo son: las 68 cápsulas de residuos vitrificados de alta, que se mantienen; 84 cápsulas de vidrios de media actividad; 54 cápsulas de residuos metálicos compactados, y en lugar de los 664 m³ de bultos de media actividad, se acuerda un máximo de 138 cápsulas (25 m³) de residuos de media actividad, de gestión más segura.

Esta propuesta tiene importantes ventajas desde el punto de vista técnico, ya que permite una reducción del volumen de residuos muy importante, de más del 25%, lo que a su vez permite disminuir el número de transportes a realizar: de uno a cinco frente a los ochenta o noventa iniciales. También supone menores necesidades de almacenamiento y de sistemas auxiliares en el futuro Almacén Temporal Centralizado (ATC). Por otro lado, los residuos que regresen vendrán mejor acondicionados y más seguros, ya que los vidrios y el metal tienen una gran estabilidad, lo que posibilitará una simplificación del diseño y operación de la parte del ATC asociada, y una simplificación de la gestión final. Otra ventaja técnica será la homogeneidad del tipo de embalajes, así como las menores complicaciones de licenciamiento derivadas de la mejor seguridad intrínseca de los bultos del intercambio.

Estos residuos, actualmente en Francia, deberán regresar a nuestro país en 2015, para ser depositados en el almacén de espera de contenedores del ATC, que Enresa construirá y operará en la localidad de Villar de Cañas (Cuenca).

reacción nuclear. En esta zona, la fisión del uranio calentaba el agua del circuito primario, calor necesario para producir el vapor que, posteriormente, movía la turbina para generar la electricidad.

El conjunto de componentes internos inferiores está formado por varias piezas: barrilete del núcleo, deflector, encofrado, barrera térmica, placa inferior del núcleo, placa inferior de soporte y equipo de instrumentación, entre otras. Con una altura total de siete metros, un diámetro de dos metros y medio, y un peso de 51 toneladas, estos componentes tenían como cometido fijar los elementos combustibles en el interior del reactor, servir de blindaje y permitir la circulación del agua del circuito primario.

Por otro lado, y para posibilitar el desmontaje futuro del resto de los grandes componentes del edificio de contención (generador de vapor, bomba principal, presionador, así como sus tuberías y equipos asociados), se ha procedido a separar y aislar la vasija de esos otros componentes del circuito primario. De esta manera, se puede simultáneas el corte de los internos inferiores del reactor con esos otros desmontajes.

El 18 de septiembre se celebró el decimoquinto aniversario de la creación del Foro Iberoamericano de Reguladores Nucleares.

El Foro Iberoamericano de Reguladores Nucleares cumple quince años

El 18 de septiembre se celebró el decimoquinto aniversario de la creación del Foro Iberoamericano de



Carmen Martínez Ten.

Reguladores de la Seguridad Nuclear. El acto tuvo lugar en Viena, coincidiendo con la Asamblea General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Bajo la presidencia de Carmen Martínez Ten, máxima responsable del Consejo de Seguridad

Nuclear (CSN), los reguladores iberoamericanos hicieron un balance de lo conseguido por el Foro en este periodo. Se destacó la importancia de continuar difundiendo el conocimiento en la zona, la armonización de sistemas reguladores en los países miembros y la aportación de las singularidades de esta área geográfica en los trabajos del OIEA. Asimismo, se señaló que el Foro es un socio estratégico de este organismo.

Varios de los participantes comentaron la conveniencia de que el Foro trabaje en la propuesta de políticas y soluciones comunes para los países miembros en el ámbito de la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado.

Más de un centenar de especialistas participaron en este foro de debate

Periodistas y científicos analizan la actualidad periodística y medioambiental en una nueva edición de SIPMA

Más de un centenar de periodistas, técnicos medioambientales y estudiantes universitarios participaron en el XV Seminario Internacional de Periodismo y Medio Ambiente (SIPMA), que Enresa organizó del 26 al 28 de septiembre en Córdoba. Esta edición, el seminario ofreció un programa en el que se conjugaba la actualidad medioambiental, periodística y tecnológica con el análisis de destacados expertos.

La evolución del periodista hacia el profesional multimedia, los nuevos periodismos, la sostenibilidad ambiental de la industria de la moda, el papel de la ética en el medio ambiente, la evolución de la comunicación en la crisis volcánica en El Hierro o el nacimiento de la computación en la nube, configuraron el guión de los temas analizados en mesas redondas y conferencias en las que participaron, entre otros,

el filósofo Fernando Savater; los periodistas Fernando Jáuregui (Diariocrítico.com), Ángel Expósito (ABC Punto Radio), Carlos Sánchez (Elconfidencial.es), Javier García Vila (Europa Press), Elsa González (FAPE), María del Mar Cabra (Consorcio Internacional de Periodistas de Investigación), Alex Fernández Muerza (E-ciencia.com) o Rosa Tristán; la bióloga molecular Raquel Ibáñez; la coordinadora nacional del grupo de trabajo de riesgos volcánicos, Carmen López; la directora de marca de Adolfo Domínguez, Adriana Domínguez, y el pionero de computación en la nube, Pau García Milá.

El presidente de Enresa, Francisco Gil-Ortega, inauguró las jornadas lectivas acompañado del alcalde de Córdoba, José Antonio Nieto; el consejero de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Luis Planas; el vicepresidente de la Diputación de Córdoba, Salvador Fuentes; el vicerrector de la Uni-

JORGE FERNÁNDEZ



JORGE FERNÁNDEZ



JORGE FERNÁNDEZ



Japón crea la Autoridad de Regulación Nuclear

Como resultado de la fusión de la Comisión de Seguridad Nuclear (NSC, por sus siglas en inglés) y la Agen-

cia de Seguridad Industrial y Nuclear (NISA), el pasado 19 de septiembre se creó en Japón la Autoridad de Regulación Nuclear, presidida por Shunichi Tanaka,

físico y antiguo vicepresidente de la Comisión de Energía Atómica. La nueva organización para la seguridad nuclear en el citado país se ha sido establecido en el mar-

co de las actividades emprendidas por las autoridades niponas para la modificación del sistema institucional en dicha materia tras la catástrofe de Fukushima,

versidad de Córdoba (UCO), Manuel Torres, y el presidente de la Asociación de la Prensa de Córdoba, Manuel Fernández. Durante su intervención, Gil-Ortega afirmó que SIPMA es el reflejo de la apuesta de Enresa por transmitir un conocimiento de calidad y aseguró que “si las cosas se explican con transparencia, se entienden mejor”.

Quince años y más de 1.500 asistentes

Durante estos quince años de Seminario, Enresa ha reunido en Córdoba a figuras de relevancia nacional e internacional, como la Premio Nobel de la Paz Rigoberta Menchú; el director ejecutivo de la Fundación Charles Darwin, Graham Watkins; el escritor José Manuel Caballero Bonald, o los investigadores Carlos Duarte, Jerónimo López y Ginés Morata, entre otros. Además, durante este tiempo han sido más de 1.500 personas las que han compartido en Córdoba su inquietud por el periodismo ambiental.

En la organización de este foro de debate colaboran con Enresa el Ayuntamiento de Córdoba, la Junta de Andalucía, la Universidad de Córdoba y las principales asociaciones de periodistas ambientales y científicos del país. ■



A la izquierda, el filósofo Fernando Savater. En el centro, vista general de la sala durante una de las sesiones del congreso e intervención del periodista Ángel Expósito. Sobre estas líneas, José Antonio Nieto, alcalde de Córdoba; Francisco Gil-Ortega, presidente de Enresa, y Luis Planas, consejero de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, en la jornada inaugural del SIPMA 2012.

ocurrida en marzo de 2011. En este sentido, la Autoridad de Regulación Nuclear surge tras el clima de desconfianza pública extendido en el país.

En sus primeras manifestaciones, el presidente del organismo señaló que “es nuestra responsabilidad llevar a cabo una regulación más estricta, admitiendo el

escrutinio permanente del público. No debemos olvidar nuestro remordimiento por el accidente de la central nuclear de Fukushima y debemos considerar que para garantizar la transparencia, tenemos que adoptar una posición de completa independencia respecto al proveedor de energía eléctrica”.

Tanaka se refirió al espíritu de superación que debe presidir la actuación del nuevo organismo: “Siempre debemos tener en cuenta que, más allá de nuestras expectativas, los accidentes pueden ocurrir y debemos, por ello, mejorar incansablemente todas las normas para que la regulación nuclear de Japón responda a los estándares más altos en el mundo”.

“Siempre pienso en las personas que viven su vida cotidiana con ansiedad bajo los potenciales efectos de la radiación. Por ello, he determinado aportar toda mi experiencia y conocimiento para garantizar la seguridad nuclear en la nueva autoridad reguladora”, concluyó. ■

Cuarta reunión de revisión de la Convención Conjunta

Los Estados integrados en la Convención Conjunta sobre la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y la Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos se reunieron en Viena entre el 14 y el 23 de mayo, con objeto de presentar sus diferentes informes nacionales. Estas reuniones se celebran cada tres años y en esta ocasión acudieron represen-

tantes de 54 países que ya han ratificado la Convención.

Los asistentes se distribuyeron en seis grupos y que, a largo de cinco sesiones paralelas, analizaron el material de trabajo. Cumpliendo con el condicionado de la Convención, los debates celebrados durante el examen de los informes nacionales fueron confidenciales.

La delegación española estuvo formada por técnicos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, del Consejo de Seguridad Nuclear y de Enresa. La presentación se realizó el 14 de mayo y a ella asistieron los representantes de los seis países que componían el grupo y de otros nueve que se sumaron.

Finalizadas las ponencias nacionales, los asistentes aprobaron por consenso el resumen de las cuestiones debatidas y las conclusiones alcanzadas. El documento final puso de manifiesto el notable trabajo que todos los participantes dedicaron a la preparación de su informe, a atender las preguntas generadas y a las propias presentaciones durante la reunión. También se pudo observar un gran interés por el cumplimiento de las obligaciones de la Convención, un acuerdo internacional que promueve la adopción de mejoras para la seguridad en la gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos, así como en el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares. ■

El Cabril, una instalación integrada en su entorno, se ha convertido en un referente internacional en la gestión de residuos radiactivos

Veinte años de modernidad

En 1992, hace ya veinte años, empezaba a funcionar en la Sierra Albarrana cordobesa el almacén de residuos radiactivos de baja y media actividad más moderno del mundo.

El Cabril no lo tuvo fácil. En el ámbito técnico se constató la capacidad humana y tecnológica española para reorganizar la gestión de estos materiales y no solo asemejarse a los estándares de seguridad internacionales, sino superarlos. Y en el ámbito social se encontraba el mayor de los retos: devolverle la luz y la confianza a un lugar al que, desde el principio, se tachó de oscurantista y opaco. Dos décadas después, El Cabril desarrolla una actividad segura, eficiente y abierta al público, motivo por el cual se ha convertido en una instalación querida en el entorno y en un referente internacional. ■ **POR Teresa Palacio, ENRESA.**

EL 13 DE DICIEMBRE DE 1985, UNA orden ministerial transfería las instalaciones de El Cabril, en la Sierra Albarrana cordobesa, de la Junta de Energía Nuclear (JEN) a una neonata Enresa, que debía hacer frente a su primer gran reto: la renovación de la gestión de los residuos radiactivos de baja y media actividad. Además de las instalaciones, Enresa se hacía cargo de algo más de medio centenar de trabajadores. Empezaba una modernización con mayúsculas.

Hasta entonces, y según recuerdan en la zona, las minas de El Cabril eran un lugar cerrado a cal y canto, lo que, unido a la certeza de que allí se almacenaban residuos radiactivos, acabó rodeando el lugar de un halo de temor y desconfianza. Uno de los grandes objetivos de Enresa, paralelo a la actividad técnica, fue apostar por la apertura: mostrar a los vecinos la actividad que allí se realizaba para que aquella “bomba nuclear”, como algunos la llamaban, pa-

sase a ser vista como una instalación de solvencia técnica que desarrollaba una actividad de forma segura y que, además, generaba empleo.



Interior de la Mina Beta, donde se almacenaban inicialmente los residuos radiactivos de El Cabril.

Hasta entonces no se había invitado a nadie a visitar el lugar; solo un periodista, Sebastián Cuevas, había informado de la actividad que allí se reali-

zaba. “La apertura informativa fue total de un día para otro”, recuerda Ignacio Alonso, el primer director que tuvo la instalación. Una de las primeras acciones fue acondicionar una sala para traer todas las tardes autobuses de gente a El Cabril y responder a sus preguntas.

En un principio, y antes de la creación de Enresa, los residuos radiactivos generados en centros de investigación, industrias u hospitales se almacenaban en una antigua mina de uranio, la Mina Beta, situada en la finca de El Cabril. Un terreno gestionado por la JEN que, a principios de los años sesenta, apostó por devolver esos componentes radiactivos, acondicionados en bidones, a un lugar de donde se habían extraído minerales con un elemento radiactivo como el uranio.

Sin embargo, la tendencia internacional apuntaba nuevos caminos y nuevas formas para la gestión de esos materiales y, siguiendo las indicaciones del



ALFREDO CÁLIZ



ALFREDO CÁLIZ

Arriba, celda caliente donde se analizan los residuos radiactivos. Abajo, la sala de control desde la que se gestionan todas las operaciones de El Cabil.

entonces recién creado Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), los residuos se extrajeron de las galerías de la mina y, una vez reacondicionados, se trasladaron a unos módulos de almacenamiento para su mejor control. Mientras tanto, Enresa tomó como ejemplo los centros de almacenamiento franceses y comenzó a proyectar el nuevo Cabril, cuyas instalaciones apostaban por el almacenamiento en plataformas de hormigón con procesos robotizados. Este nuevo almacenamiento permitiría, además, vaciar los almacenes de las centrales nucleares y unificar la gestión de todos los residuos de baja y media actividad que se generaran en España.

Pero poner en marcha esta nueva instalación no fue fácil; el Ayuntamiento de Hornachuelos y el Parlamento andaluz, entre otros, expresaron su rechazo a través de un decreto y de una proposición no de ley, hasta que la Comisión Provincial de Urbanismo de Córdoba concedió la autorización definitiva el 13 de noviembre de 1989. El 5 de diciembre de ese año, la alcaldía de Hornachuelos acordó conceder las primeras



Llegada de un transporte de residuos a El Cabril.

licencias de obras. Además, el almacén cordobés fue uno de los primeros proyectos industriales que contó con una Declaración de Impacto Ambiental para poder empezar a construirse.

Una inversión de 9.500 millones de pesetas para El Cabril

La creación del nuevo Cabril daría trabajo a 300 personas y suponía una inver-

sión de 7.500 millones de pesetas más otros 2.000 millones en obras de infraestructura viaria en los alrededores. Esta gran operación, para la que se contrató mano de obra preferentemente local y provincial, tenía una aspiración más allá de la técnica: ganar la batalla de la opinión pública.

Para apoyar a los municipios colindantes, en diciembre de 1988 se apro-

Aquella contagiosa vitalidad fundacional

Enresa acababa de sustituir a la Junta de Energía Nuclear (JEN) en la gestión de El Cabril. Era el mes de enero de 1986 y hacía mucho frío en la Sierra Albarra. La instalación ocupaba una pequeña parte de una extensa finca, de orografía abrupta, maltratada por la repoblación forestal y aspecto sobrecogedor. Las oficinas administrativas de la instalación se encontraban situadas en antiguas casas del poblado minero de Santa Bárbara, construido en los años cincuenta. Los residuos se almacenaban en una vieja mina de minerales uraníferos y en tres naves industriales de reciente construcción.

Atrás quedaba la historia de un poblado minero, con iglesia y cementerio, en el que nunca se celebraron bodas ni entierros.

Durante muchos años, la actividad del centro de almacenamiento como tal se había reducido a acoger unos centenares de bidones de residuos de baja actividad en la antigua Mina Beta, situada bajo tierra, y recurriendo para ello a los precarios medios con que se contaba en aquella época.



POR Ignacio Alonso L. Iñarra, DIRECTOR DE EL CABRIL DESDE 1986 A 1988.

La actividad era tan baja que algunos trabajadores dedicaban parte del día a cazar conejos, cultivar tomates o pasar largas horas frente a una lumbre de leña de encina, dando cuenta de interminables desayunos. No podía esperarse menos de un lugar donde la naturaleza te envuelve y condiciona en todo lo que haces.

Tras unos meses de transformación de las infraestructuras y de adaptación a las nuevas formas, empezamos a trabajar en la modernización de los sistemas de almacenamiento. Fueron años intensos en los que los antiguos trabajadores de El Cabril, con los nuevos medios materiales, transformaron la instalación.

El poblado recuperó la vida: calles con multitud de flores, limpieza y paredes encaladas; obras de acondicionamiento que propiciaron nuevas oficinas en las antiguas casas del poblado; salas de proyecciones, comedores y todos los talleres en marcha; y trabajo, trabajo para todos, en man-



Panorámica de la instalación, con la plataforma norte en primer plano.

tenimiento, protección radiológica, almacenamiento, acondicionamiento de residuos... Un lugar donde nunca había entrado nadie, de pronto era visitado por alcaldes, concejales, parlamentarios, periodistas, representantes de asociaciones y universidades, ecologistas, técnicos nacionales y extranjeros y ciudadanos de a pie. Esta era la respuesta de puertas abiertas que Enresa presentaba en contraposición a las múltiples manifestaciones sociales contrarias a la presencia de residuos radiactivos en El Cabil.

Técnicos de grandes empresas que realizaban trabajos de prospección, acondicionamiento de residuos o estudios de impacto ambiental, se mezclaban con las cuadrillas de las aldeas de Piconcillo o Argallón que podaban las encinas, fabricaban carbón de leña o recuperaban las cuencas de los arroyos tapadas por viejos pinos muertos y años de abandono.

Recuerdo la visita de un alto comisionado del organismo de gestión de residuos de Suecia, una mujer de mediana edad. Tras recorrer la instalación durante unas horas, al marcharse le entregamos un enorme ramo de cantueso silvestre, recogido del campo. Con lágrimas en los ojos

se despedía y, posteriormente, nos mandaba una carta de agradecimiento en la que solo hacía referencia al éxito del cantueso en su país.

Este nuevo ambiente lo impregnaba todo. Enresa, con paso firme, sorteando viejos fantasmas y dando a conocer su trabajo de forma insistente, abierta y sin ocultar nada, fue consiguiendo los permisos necesarios para, primero, vaciar de residuos la Mina Beta y almacenar temporalmente los de baja actividad dispersos por la geografía nacional; y, posteriormente, desarrollar un almacenamiento moderno y definitivo.

Los antiguos trabajadores de las minas de uranio, los de las plantas de procesamiento del mineral de Andújar (Jaén) y los que empezaron su andadura en las minas de El Cabil y su poblado minero —muchos de ellos luego empleados en el almacenamiento de residuos— merecen el reconocimiento de la sociedad a su labor callada, oculta y arriesgada como pioneros de una actividad que nunca ha sido entendida por la gente de la calle: la de procurar un destino adecuado a residuos que la sociedad produce como consecuencia de actividades necesarias, de las que todos nos beneficiamos. ■

bó una orden ministerial que regulaba las asignaciones a aquellas localidades en cuyos términos se ubicaran instalaciones que almacenaran residuos radiactivos. Estas asignaciones no iban destinadas a paliar ningún riesgo, sino a aumentar los beneficios industriales de este tipo de instalaciones allá donde se ubicaban, repartiendo así ayudas en los municipios cordobeses de Hornachuelos y Fuente Obejuna, además de en los sevillanos de Alanís de la Sierra y Las Navas de la Concepción.

El 9 de octubre de 1992, realizadas las pruebas correspondientes, se otorgó el permiso provisional de explotación para la nueva instalación. Los primeros residuos se trasladaron a las plataformas en abril de 1993; para entonces, como recuerda Andrés Guerra-Librero, director del centro entre 1988 y 2005, se habían llevado a cabo infini-



JORGE FERNÁNDEZ

Colocación de contenedores en una de las estructuras de almacenamiento de la instalación.

El Cabril o la soledad del corredor de fondo

Enresa me encargó la dirección de El Cabril desde mediados de noviembre de 1988 hasta finales de septiembre de 2005, aproximadamente diecisiete años. Durante los primeros años de ese periodo tuvo lugar la construcción de la ampliación de la instalación que la empresa había recibido de la Junta de Energía Nuclear (JEN) —luego Ciemat—, con la incorporación de tecnologías novedosas que, en poco tiempo, la configuraron como una referencia internacional de los sistemas de gestión de los residuos radiactivos de baja y media actividad. Se podría decir que Enresa recibió un botón y la ampliación de El Cabril consistió en coserle una gabardina. Ese era el núcleo de la cuestión, pero no todo. El crecimiento de las instalaciones debía compaginarse con el crecimiento de todo lo necesario para su correcto funcionamiento: recursos humanos, infraestructuras de apoyo a la nueva situación, procedimientos de funcionamiento... De las primitivas instalaciones que Enresa recibió en 1985, en las que trabajaban unas cincuenta personas, se pasó a una media de aproximadamente doscientos profesionales, como mínimo, para “levantar la persiana” cada día. Y eso sin contar las obras de mantenimiento y mejora, que incrementaban la cifra anterior en una media de entre cincuenta y cien personas.

Cuando decimos El Cabril, nombramos una instalación nuclear que está dentro de una finca de más de mil hec-



JORGE FERNÁNDEZ

POR **Andrés Guerra-Librero**, DIRECTOR DE EL CABRIL DESDE 1988 A 2005.

tareas de monte que también se conoce por el mismo nombre y cuya correcta gestión era, y es, de interés para Enresa. Dos son los aspectos principales a gestionar: el primero, la limitación del riesgo de incendios en una finca consorciada con la autoridad forestal, en la que el Patrimonio Forestal del Estado había sembrado unas ochocientas hectáreas de pinos de diversos tipos y en las que, salvo algunos cortafuegos, no se habían hecho otras labores de mantenimiento (limpieza, aclareos, etcétera) en treinta años.

El segundo aspecto importante era la posibilidad de que la finca se constituyera en el continente, correctamente gestionado desde el punto de vista medioambiental, que albergara una instalación nuclear en su interior. La posibilidad de una simbiosis entre ambas se consideró muy útil para los intereses de Enresa. Otra cosa es definir en qué consiste una gestión correcta, sobre todo cuando el interés no es económico y teniendo en cuenta los larguísimos plazos que implica cualquier actuación en la finca antes de hacer visibles sus resultados. Además de la finca y de su instalación nuclear, Enresa tiene la propiedad de los aproximadamente doce kilómetros de la vía de acceso principal desde la carretera que une la localidad cordobesa de Fuente Obejuna con la sevillana de Alanís

dad de pruebas para determinar las zonas radiológicas y “engrasar” una máquina que debía funcionar a la perfección.

Pero la concepción de El Cabil no es la de un mero almacén. En las instalaciones de la Sierra Albarrana se dispone de todo lo necesario para que este pro-

ceso se realice con las máximas garantías de seguridad. Así, el centro cuenta con distintos laboratorios de verificación (activa y no activa) para comprobar que lo que llega es acorde con los criterios de aceptación de la instalación y se produzca, de este modo, el necesario acuerdo entre el emisor del residuo y el receptor. También se estudian, simulan y prueban las barreras de almacenamiento y su permanencia en el tiempo, incluso en condiciones meteorológicas adversas.

También se decidió que El Cabil centralizara toda la actividad de tratamiento y acondicionamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad. Por ejemplo, recuerda Guerra-Librero, las campañas de compactación y reducción de volumen de residuos en algunas centrales nucleares, así como el acondicionamiento de los residuos procedentes, de los pequeños productores, que hasta



ALFREDO CÁIZ

Construcción del armazón metálico de un contenedor.

de la Sierra, por donde llega una parte importante de las personas que acuden a la instalación y todos los transportes de residuos, lo que supone un punto más de atención y responsabilidad en la gestión del conjunto.

En esta visión que trato de reflejar hay que destacar también la relación con un entorno que tenía una vaga e imprecisa idea de lo que era la instalación. En aquellos principios de los noventa, Hornachuelos, nuestro pueblo cordobés de referencia, estaba “separado” de El Cabil por una carretera muy mejorable —en cuya reparación y mantenimiento colaboramos y seguimos colaborando— y veía la instalación con desconfianza en la distancia del límite norte de su enorme término municipal. La localidad cordobesa de Fuente Obejuna y sus aldeas, las más cercanas geográficamente a la instalación, habían conocido distintas versiones de El Cabil: minas convencionales, minas radiactivas, almacén de residuos... Hay que subrayar, asimismo, las relaciones históricas con Azuaga (Bada-

joz) —la entrada natural Bembézar arriba— y Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba) —población en la que la JEN concentró a los trabajadores cuando dejaron de vivir en los poblados de la instalación—, que eran zona minera y reivindicativa.

A este escenario se unieron las nuevas relaciones creadas a partir de la Orden Ministerial de Asignaciones

con la incorporación de las localidades de Alanís de la Sierra y Las Navas de la Concepción. Por otro lado estaba Córdoba, que controlaba celosamente todos los movimientos que se daban en la provincia, y Sevilla, donde una nueva Administración autonómica daba sus primeros pasos.

Así las cosas, el planteamiento de la relación de la empresa con el entorno se organizó sobre la sencillez, la permanencia a largo plazo, la implantación de trabajadores en todas las zonas posibles, las puertas abiertas, la seriedad y la solvencia técnica. Valores a largo plazo que, poco a poco, fueron dando resultado. Ahora, siete años después de haber dejado la dirección, se me hace más notable el cambio en la percepción social de El Cabil por su entorno. Persiste algún estamento político que aún considera más provechoso para sus intereses estar en contra de la instalación, pero las connotaciones de miedo, peligro descontrolado y oscurantismo de los primeros años ya no tienen cabida en estos tiempos. ■

Gratitud y amistad

El mejor recuerdo que tengo de mi paso por el almacén centralizado de residuos de muy baja, baja y media actividad de El Cabril es la capacidad técnica de unos trabajadores que hacen posible una instalación modelo en todo el mundo.

Mi reto personal al frente del centro fue lograr que la actividad de Enresa mantuviera una relación continua con el entorno social, sobre la base de una gestión segura y eficaz y un cuidado exquisito del medio ambiente. Este objetivo no solo facilitaba y posibilitaba el desarrollo de la gestión que se lleva a cabo en la instalación en un marco razonablemente amigable, sino que trascendía más allá del ambiente social, asociando estos valores a la totalidad de las actividades de Enresa y, por tanto, a su imagen como empresa de servicio público.

Mi estancia en la instalación coincidió con el reconocimiento a la labor que en ella se lleva a cabo por parte de destacados líderes políticos, sociales y sindicales. Así, quiero destacar la excelente impresión del trabajo que aquí se realiza, expresada por los líderes sindicales de Comisiones Obreras, José María Fidalgo, y de la Unión General de Trabajadores, Cándido Méndez, tras conocer detalladamente el funcionamiento de la instalación. Representantes políticos, sociales y del mundo empresarial, además de técnicos de entidades internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Agencia de Energía Nuclear (AEN/OCDE) o de agencias internacionales de gestión de residuos radiactivos, fueron pasando por el centro de la Sierra Albarrana y, con sus impresiones, contribuyeron a la posición e imagen de instalación puntera y de referencia de la que actualmente disfruta El Cabril. Tuve la suerte de empezar a recoger el fruto del reconocimiento social y técnico a un trabajo colectivo que Enresa inició en 1992 con la puesta en operación de esta instalación.

En el terreno personal, guardo un grato recuerdo de la calidad humana de las gentes de la comarca. Allí forjé grandes amistades que mantengo y disfruto, especialmente en Fuente Obejuna, población cordobesa donde vivía. A esa tierra regreso cada vez que puedo para disfrutar de la amistad de sus gentes y compartir el mejor pulpo de España, el que hace mi amigo Jesús en el pueblo de La Granjuela, una experiencia gastronómica que les recomiendo encarecidamente. ■



JORGE FERNÁNDEZ

POR **Carlos Pérez Estévez**,
DIRECTOR DE EL CABRIL
DESDE 2005 A 2010.



Almacenamiento de residuos de muy baja actividad.

entonces se llevaba a cabo en las instalaciones del Ciemat, en Madrid. La decisión de darle a la instalación ese componente tecnológico se ha convertido hoy en una de sus señas de identidad.

Otra de las señas del almacén es su ubicación en la Sierra Albarrana cordobesa, a las puertas del parque natural de Hornachuelos. Por eso es más frecuente toparse con un ciervo que con un camión de residuos cuando uno se acerca a la instalación. La perfecta convivencia en un entorno natural de estas características es otro de los méritos del almacén, para el que se dispone de una red de vigilancia ambiental que, con más de mil muestras al año, certifica su nulo impacto radiológico.

Amanecer en El Cabril, con el edificio de administración en primer plano.



ALFREDO CÁLIZ



JORGE FERNÁNDEZ

Dos décadas de progreso imparable

Aunque la Junta de Energía Nuclear almacenaba en El Cabil residuos procedentes de investigaciones y de usos médicos desde principios de los sesenta, la transferencia de estas instalaciones a Enresa en 1985 supone el inicio de una serie de proyectos que culminan con la autorización de explotación, en 1992, del nuevo centro de almacenamiento. Se daba así respuesta a las necesidades de gestión definitiva que España tenía para los residuos radiactivos de baja y media actividad que se generaban en todo el país.

Hace ya veinte años de aquello y veintiuno desde mi llegada a Enresa, donde me esperaba un reto apasionante: la consolidación de este centro, al que el entorno no miraba entonces con muy buenos ojos.

Mi papel como directora —lo soy desde hace un par de años— es solo una pequeña parte de esta historia, pero mi antigüedad como empleada de Enresa me hace sentir protagonista de esta aventura llena de retos, hitos y logros en torno a la gestión de los residuos radiactivos.

Dicen que veinte años no son nada pero, en este tiempo, la adaptación a nuevas necesidades de gestión, los avances tecnológicos, la búsqueda de la optimización y mejora de los diferentes procesos, etcétera, han hecho de El Cabil una instalación dinámica y en constante evolución. Con todo, el principal cambio ha sido cualitativo: el esfuerzo, adaptación y profesionalidad de los trabajadores y su ilusión por construir algo nuevo han hecho posible que El Cabil sea hoy una realidad reconocida internacionalmente.

Sin duda, un balance positivo que contribuye a mantener la ilusión, implicación y compromiso de aquellos primeros años.



JORGE FERNÁNDEZ

POR **Eva Noguero**,
DIRECTORA DE EL CABRIL
DESDE 2010.

A lo largo de estos veinte años se ha demostrado que los procedimientos desarrollados no generan anomalías. Parte de ese éxito se debe también a la gran calidad del hormigón y del mortero con el que se fabrican los contenedores y se inmovilizan los materiales. No en vano el centro dispone de una fábrica propia, otra decisión de hace dos décadas que en la actualidad se revela como fundamental.

Nuevas necesidades, nuevas soluciones

En los años noventa se produjeron diferentes incidentes en acerías españolas que generaron gran cantidad de residuos con escasa contaminación radiológica, pero que debían ser gestionados como desechos radiactivos. Esta circunstancia, unida a los primeros datos disponibles de generación de residuos en los desmantelamientos, puso de manifiesto la necesidad de disponer de un

modelo de gestión acorde a estos materiales y que no ocuparan las estructuras de El Cabil, diseñadas para residuos con mayor actividad radiológica.

Por eso, tras las resoluciones aprobadas en el Congreso de los Diputados entre 1999 y 2002, Enresa se fijó el objetivo de diseñar una instalación complementaria, tecnológicamente diferente, pero igual de eficiente y destinada al tratamiento específico de los residuos radiactivos de muy baja actividad.

La primera estructura de esta instalación comenzó a funcionar en octubre de 2008. Meses antes, alcaldes, empresarios, vecinos y prensa compartieron un almuerzo con los técnicos de Enresa en el interior de la estructura. “De la épica a la lírica”, rezaban los titulares de aquella presentación en referencia al cambio experimentado en estos veinte años, desde que Sebastián

Cuevas denunciara el almacenamiento de residuos radiactivos en la Mina Beta hasta el momento actual, en el que antes de empezar a funcionar el entorno ya es partícipe de las nuevas soluciones.

El Cabil fue moderno hace veinte años y lo sigue siendo hoy. Su premisa de mejora continua ha dado como fruto la adaptación tecnológica de todos los procesos a las nuevas realidades, por lo que sus “entrañas” en nada se parecen a las de los años noventa, como puede comprobarse, entre otros procesos, en su renovada sala de control, en la que los puestos multidisciplinares y los propios equipos poco tienen que ver con aquellos otros, punteros para el momento, con los que se empezó a trabajar. Por eso, El Cabil fue hace dos décadas, y sigue siéndolo hoy, un referente dentro y fuera de España.

El Cbril, a facility which is integrated into its environment,
has become an international benchmark
in radioactive waste management.

Twenty years of modernity

In 1992, twenty years ago now, the world's most modern storage facility for low- and intermediate-level radioactive waste began operating in Córdoba's Sierra Albarrana region. El Cbril did not have an easy time of it. In technical terms, it provided confirmation of Spain's human and technological capacity for restructuring management of these materials, not only meeting international safety standards, but al-

so exceeding them. The greatest challenge lay in the social sphere: returning transparency and trust to a site which had from the start been branded as obscurantist and shadowy. Two decades later, El Cbril operates safely and efficiently, while also being open to the public. This has led the facility to be regarded warmly in the surrounding area and made it an international benchmark. ■ BY **Teresa Palacio, ENRESA.**

On December 13, 1985, a ministerial order transferred control of the facilities at El Cbril, in Córdoba's Sierra Albarrana region, from the Nuclear Energy Board (JEN in the Spanish acronym) to the newly formed Enresa. The company then undertook its first great challenge: restructuring management of the low- and intermediate-level radioactive waste. In addition to the facilities, Enresa took charge of more than fifty workers. This marked the beginning of modernization, with a capital M.

Previously, as the locals still remember, the mines at El Cbril had been locked up tight. Together with the certainty that radioactive waste was being stored there, this caused the site to be enveloped in an aura of fear and distrust. One of Enresa's main aims, along with its technical work, was to focus on opening up the facility: familiarizing local residents with the activity carried out at the site, so that the 'nuclear bomb', as some called it, would come to be viewed as a technologically reliable company engaged in a safe activity, one which also provided jobs.

Before that time, no one had ever been invited to visit the site. Only one journalist, Sebastián Cuevas, had reported on the activity carried out there. 'A complete opening up in terms of information took place overnight,' recalls Ignacio Alonso, the facility's first director. One of the first steps was to set up a room so that buses could bring people to El Cbril every afternoon for question and answer sessions.

Originally, before Enresa was created, the radioactive waste produced by research centres, industry and hospitals was stored in a former uranium mine, Mina Beta, located on the El Cbril property. This land was managed by the JEN. In the early 1960s, the or-

ganization chose to return these radioactive components, conditioned and stored in drums, to a location where minerals with a radioactive element like uranium had been mined.

However, global trends pointed in new directions, to new methods of managing these materials. On the instructions of the recently created Nuclear Safety Council (CSN in its Spanish acronym), the waste was removed from the mine galleries, reconditioned and transferred to storage units for greater control. Meanwhile, Enresa looked to French storage facilities as an example and began to plan the new El Cbril, the current facilities. The decision was made to store the waste in concrete platforms using automated processes. This new site would also make it possible to empty the storage facilities at nuclear power plants and standardize management of all low- and intermediate-level waste produced in Spain.

However, implementing the new facility was no easy task. Hornachuelos city authorities and the Parliament of Andalusia, among others, expressed their disapproval in the form of a decree and a non-binding resolution. Finally, Córdoba's Provincial Planning Commission granted final authorization on November 13, 1989. On December 5 of that year, the Hornachuelos mayor's office agreed to grant the first building permits. In addition, the Córdoba storage facility was one of the first industrial projects required to have an environmental impact statement in order to begin construction.

An investment of over 9.5 billion pesetas

The creation of the new El Cbril would provide jobs for 300 people and involve an investment of 7.5 billion pesetas, along with another 2 billion for road infrastructure work in the surrounding area.

That contagious original vitality

Enresa had just replaced the Nuclear Energy Board in managing El Cabil. It was January 1986 and the weather in Sierra Albarra-na was very cold. The facility occupied a small area of a large property with rugged terrain, damaged by reforestation, but breathtaking in appearance. The facility's administrative offices were located in what were once houses in the mining town of Santa Bárbara, built in the 1950s. The waste was stored in a former uranium minerals mine and three relatively new industrial buildings.

Behind it lay a history as a mining town, with its church and cemetery, where neither weddings nor funerals were held.

For many years, the activity at the storage facility had been limited to housing a few hundred containers of low-level waste in the former Mina Beta. They were stored underground, utilizing the precarious measures of the time. There was so little activity that workers spent part of the day hunting rabbits, raising tomatoes and in long hours before an oak fire, recalling endless breakfasts. This was hardly surprising in a location where nature envelops you and determines everything you do.

After a few months spent transforming the infrastructure and adapting to new methods, we began working on modernizing the storage systems. These were intense years, during which the old El Cabil workers transformed the facility with new material resources.

The town took on a new life: clean streets filled with flowers and whitewashed walls; refurbishments that converted the town's former houses into offices, screening rooms, dining halls and all the workshops in operation; and work, work for everyone, in maintenance, radiological protection, storage, waste conditioning, etc. A place nobody had ever entered was suddenly visited by mayors, town councilors, members of Parliament, journalists, representa-

tives of associations and universities, ecologists, Spanish and foreign experts and everyday citizens. This was Enresa's open-door response, contrasting with the many public demonstrations against the presence of radioactive waste at El Cabil.

Engineers from large firms carrying out research, waste conditioning or environmental impact studies mixed with groups from the villages of Piconcillo and Argallón who pruned the oaks, manufactured charcoal and reclaimed streambeds blocked by old pine trees and years of neglect.

I can recall the visit of a high commissioner from a waste management organization in Sweden, a middle-aged woman. After touring the facility for a few hours, when she was leaving we gave her an enormous bunch of wild lavender, gathered in the countryside. With tears in her eyes, she said goodbye. Later, she sent us a thank-you card in which she emphasized how well the lavender had been received in her country.

This new atmosphere pervaded everything. At a steady pace, dodging old ghosts and publicizing its work in a consistent, open way, not hiding anything, Enresa obtained the necessary permits to first remove the waste from Mina Beta, temporarily store the low-level waste in various places around the country, and then develop a permanent modern storage facility.

The former workers from the uranium mines, from the mineral processing plants in Andújar (Jaén) and those who began their involvement in the mines at El Cabil and its mining town—many of them later waste storage workers—deserve society's recognition for their quiet, unseen and hazardous work as pioneers in an activity which has never been understood by people on the street: providing a suitable destination for waste which society produces as a result of necessary activities from which we all benefit. ■ *Ignacio Alonso L. Iñarra, director of El Cabil, 1986-1988*

This major project, for which workers from the local area and province were given preference, had more than just technical aspirations: it sought to win the battle for public opinion.

In order to provide support for neighbouring municipalities, in December 1988, a ministerial order was passed governing allowances to municipalities with radioactive waste facilities located in their jurisdictions. These allowances were not intended to alleviate any risk, but rather to increase the industrial benefits of this type of facilities, wherever they were located. Aid was thus distributed to the Córdoba municipalities of Hornachuelos and Fuente Obejuna, as well as Alanís de la Sierra and Las Navas de la Concepción, in Seville.

On October 9, 1992, once the necessary tests had been completed, a provisional operating license was granted for the new facility. The first radioactive waste was transferred to the platforms in April 1993. Before that time, as Andrés Guerra-Librero, director of the facility between 1988 and 2005, recalls, countless tests were conducted, using radioactive waste, in order to determine the

radiological areas and to 'lubricate' a machine that would need to function perfectly.

However, El Cabil was conceived as more than just a repository. The Sierra Albarra facility has everything required to ensure that this process is carried out with every guarantee of safety. Consequently, the site has various verification laboratories (active and inactive) to confirm that all material brought to the facility meets its criteria for acceptance. The result is the necessary agreement between the source of the waste and the recipient. The storage barriers and their durability over time are also studied, simulated and tested, including in adverse weather conditions.

It was also decided that El Cabil would be used to centralize all processing and conditioning of low- and intermediate-level radioactive waste. As Guerra-Librero recalls, this included waste compacting and volume reduction campaigns at some nuclear power plants and conditioning of waste from small producers previously carried out at Centre for Energy, Environment and Technology Research (Ciemat in ►

El Cabril or the loneliness of the long-distance runner

Enresa put me in charge of El Cabril from mid-November 1988 until late September 2005, approximately seventeen years. During the early years of this period, the facility which the company had received from the JEN (Spanish acronym for the Nuclear Energy Board), later Ciemat (Spanish acronym for the Centre for Energy, Environment and Technology Research) was expanded, incorporating new technology. Before too long, this made it an international benchmark in low- and intermediate-level radioactive waste management systems. We might say that Enresa received a button and the expansion of El Cabril involved sewing it a raincoat. That was the heart of the matter, but not everything. The growth of the facilities had to be combined with the growth of everything required for them to operate properly: human resources, support infrastructure for the new location, operating procedures, etc. From the original facilities Enresa received in 1985, which employed some fifty people, we grew to need an average of approximately two hundred workers, at least, in order to 'roll up the shutters' each day. And this does not include maintenance and improvement work, which increased the previous number by an average of between fifty and one hundred people, and I think things remain more or less the same.

When we say El Cabril, we refer to a nuclear facility located on a mountain property more than one thousand hectares in size, which is also known by the same name. Proper management of this property was, and is, in Enresa's interest. There are two main aspects to be managed. The first involves limiting the risk of fire on a property under shared supervision with the forest authority, where State Forestry Heritage had planted some eight hundred hectares of pines of various kinds and where, except for a few fire-breaks, no other management work (cleaning, clearing, etc.) had been done in thirty years.

The second important aspect was the possibility that the property would act as a container, properly managed from an environmental point of view, which housed a nuclear facility inside it. The possibility of a symbiosis between these two areas was considered very useful for Enresa's interests. Another thing to be determined was exactly what proper management consisted of, when the interest was not economic and given the extremely long periods before the results of any action on the property would be visible. In addition to the property and its nuclear facility, Enresa owns the approximately twelve

kilometers of the main access road from the road between the Córdoba town of Fuente Obejuna and Alanís de la Sierra, in Seville province, which is used by most of the people who come to the facility and for all waste transport. This is an additional area of focus and responsibility in managing the site.

In this overview, which is intended to be reflective, it is also important to highlight the relationship with local society, which had only a vague and imprecise idea of what the facility was. At that time, in the early 1990s, Hornachuelos, our aforementioned Córdoba town, was 'separated' from El Cabril by a road with much need for improvement—something we were involved with and continue to contribute to—. It also viewed the facility in the distance on the northern border of its enormous municipal area with distrust. The Córdoba town of Fuente Obejuna and its hamlets, which are the closest to the facility geographically, had known various versions of El Cabril: conventional mines, radioactive mines, waste repository. There were also important historical relationships with Azuaga (Badajoz), the natural upstream access to the Bembézar River, and Peñarroya-Pueblonuevo (Córdoba), the town where the Nuclear Energy Board had gathered workers when they moved away from the villages on the site. They were both mining regions with a great deal of activism.

To this scenario were added new relationships created as a result of the ministerial order granting allowances, with the inclusion of the towns of Alanís de la Sierra and Las Navas de la Concepción. On the other side lay Córdoba, which jealously controlled all movement through the province, and Seville, where a new autonomous community government was just taking its first steps.

With things as they were, the company's approach to its relationship with local society was based on simplicity, a long-term presence, establishing workers in all possible areas, open doors, dependability and technical reliability, long-term values which gradually produced results. Now, seven years after having left my management post, I find the change in local society's perception of El Cabril even more remarkable. There are still some political figures who continue to believe it more beneficial to their interests to remain against the facility, but today there is no longer any place for the suggestions of fear, uncontrolled danger and obscurantism of the early years. ■ *Andrés Guerra-Librero, director of El Cabril, 1988-2005*

► its Spanish acronym) facilities. The decision to give the facility this technological component has now become one of its hallmarks.

Another key aspect of the Córdoba storage facility is its location in the Sierra Albarrana region, on the doorstep of the Hornachuelos Nature Reserve. You are more likely to come across a deer than a waste vehicle when visiting the facility. Perfect coexistence in a natural area of this kind is another of the storage facility's merits. To achieve this, there is an environmental surveillance network. With more than one thousand samples each year, it certifies the site's zero radiological impact.

Over the past twenty years, it has been demonstrated that the procedures carried out do not result in anomalies. Part of this success is also due to the high quality of the concrete and mortar used to manufacture the containers and immobilize the materials. The site certainly benefits from having its own factory, another decision made two decades ago which has now shown itself to be crucial.

New needs, new solutions

In the 1990s, there were several incidents at Spanish steelworks

that generated a large amount of waste with limited radiological contamination, but which had to be handled as radioactive waste. This, together with the availability of the first data on waste generated from decommissioning, demonstrated the need for a management model suited to these materials, which were not handled by the El Cabril structures, designed for waste with greater radiological activity.

For this reason, following the resolutions adopted by the lower house of Parliament between 1999 and 2002, Enresa set itself the goal of designing an additional facility. It would be technological-

Gratitude and friendship

The best memory I have of my time at the central storage facility for very low-, low- and intermediate-level waste at El Cabril is the technical skills of employees who operate a facility which serves as a model for the entire world.

My personal challenge when heading the site was to ensure that Enresa's activity at El Cabril maintained an ongoing relationship with local society, based on safe and effective management and painstaking care of the environment. This aim not only facilitated and made possible managing the facility within a reasonably amicable atmosphere, but also extended beyond the social environment, associating these values with all of Enresa's activities, and therefore, with its image as a public service company.

My period at the facility coincided with recognition of the work carried out there by prominent political, social and union leaders. In this regard, I would like to highlight the excellent opinion of the work done here which was expressed by union leaders from CC.OO. (José María Fidalgo) and UGT (Cándido Méndez) after gaining in-depth knowledge of how the facility operates. Representatives from politics, society and the business world, as well as experts from international bodies such as the International Atomic Energy Agency (IAEA), the Nuclear Energy Agency (NEA/OECD), and international radioactive waste management agencies, visited the Sierra Albarrana site. Their opinions contributed to the status and reputation as a leading facility and benchmark which El Cabril currently enjoys. I was fortunate enough to begin to reap the rewards of social and expert recognition of a collective effort which Enresa started in 1992 when it began operating this facility.

On a personal note, I have fond memories of the human warmth of the people of this region. I forged great friendships which I still maintain and enjoy, especially in Fuente Obejuna, the Córdoba town where I lived. I return as often as possible to enjoy their friendship and share the best octopus in Spain, made by my friend Jesús in the town of La Granjuela, a culinary experience which I can well recommend. ■ *Carlos Pérez Estévez, director of El Cabril, 2005-2010*

Two decades of unstoppable progress

Although the Nuclear Energy Board had stored waste from research and medical use on the El Cabril property starting in the early 1970s, the transfer of these facilities to Enresa in December 1985 marked the start of a number of projects which culminated in the operating authorization for the new storage facility issued in 1992. This made it possible to meet Spain's need for a permanent management solution for low- and intermediate-level radioactive waste produced throughout the country.

It has now been twenty years since that time and twenty-one since I joined Enresa, where a fascinating challenge awaited me: establishing this site, which at the time was not viewed positively by the local population.

My role as director, a position I have held for two years, is only a small part of this story. My length of time as an Enresa employee allows me to feel like a key player in this adventure filled with challenges, milestones and achievements involving the management of radioactive waste.

They say that twenty years is nothing, but in that time, adapting to new management requirements, technological progress, striving to optimize and improve the different processes, etc. have made El Cabril a dynamic facility in constant evolution. However, the main change has been qualitative: the hard work, adaptation and professionalism of the workers and their excitement about building something new have made it possible for El Cabril to be the internationally recognized reality it is today.

This is without a doubt a positive outcome, which helps maintain the excitement, involvement and commitment of those early years. ■ *Eva Noguero, current director of El Cabril*

ly different, but just as efficient, and intended specifically to process very low-level radioactive waste.

The first structure at this facility began operating in October 2008. Months earlier, mayors, business owners, local residents and the press shared a lunch with Enresa engineers inside the structure. 'From the epic to the lyric' read the title of that presentation, referring to the change which had taken place in the twenty years between when Sebastián Cuevas had condemned the storage of radioactive waste at Mina Beta and the present day, when even before beginning operations, local society was already involved in the new solutions.

El Cabril was modern twenty years ago and remains modern today. Its focus on continuous improvement has borne fruit: the technology involved in all processes has been adapted to new realities. As a result, the site's 'guts' bear little resemblance to those of the 1990s. Among other processes, evidence of this can be found in the renovated control room, where the multi-purpose stations and equipment have little to do with those used when work began, although they were cutting-edge for their time. As a result, two decades ago, El Cabril was, and still remains, a benchmark within Spain and abroad. ■

Francisco Gil-Ortega es, desde el pasado mes de junio, el cuarto presidente de Enresa, tras los mandatos de Juan Manuel Kindelán, Antonio Colino y José Alejandro Pina. Químico de formación, posee un amplio conocimiento de la empresa que ahora preside tras formar parte, durante tres legislaturas, de la Comisión de Industria del Senado. Desde su incorporación a Enresa, Gil-Ortega se ha centrado en impulsar los trabajos para la puesta en marcha del Almacén Temporal Centralizado (ATC) en la localidad conquense de Villar de Cañas, así como en consolidar los proyectos de desmantelamiento y gestión de residuos que actualmente lleva a cabo esta empresa pública. ■ **POR Jorge Fernández y Teresa Palacio, ENRESA.**

Francisco Gil-Ortega Rincón,
presidente de Enresa

“El ATC es una apuesta estratégica para España que completa la gestión integral de los residuos radiactivos”

—*Se abre una nueva etapa en su vida profesional, ¿cómo afronta este nuevo reto al frente de Enresa?*

—Enresa desarrolla una labor esencial para nuestro país y me siento orgulloso e ilusionado por haber sido escogido para ocupar este cargo. Dirigir una compañía como Enresa supone también un nuevo desafío para mi carrera, aunque considero que, al fin y al cabo, continúo desarrollando un servicio público.

Mi llegada a Enresa coincide con un momento en que la casa afronta uno de los retos clave en materia de gestión de este tipo de materiales, como es la construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) y su centro tecnológico asociado para residuos de alta actividad y combustible gastado. Me hace especial ilusión que un proyecto de la magnitud del que tenemos entre manos —no olvi-

demo que son aproximadamente 1.000 millones de euros de inversión— se vaya a realizar en Castilla-La Mancha, mi tierra, a la que, como político, he dedicado gran parte de mi vida profesional. El ATC no solo es seguro y necesario, es también una promesa de prosperidad y empleo. No me cabe duda de que Villar de Cañas, Cuenca y, por ende, Castilla-La Mancha, se convertirán en la tierra de las oportunidades, y eso es mucho decir en una época de crisis como la que nos ha tocado vivir.

—*Desde su experiencia como miembro de la Comisión de Industria del Senado, ¿cómo ve la gestión de los residuos radiactivos en España? ¿En qué momento nos encontramos?*

—En mi opinión, los residuos radiactivos se han gestionado con total seguridad y sensatez desde que, en la década

de los sesenta, comenzara la producción de energía eléctrica de origen nuclear en nuestro país y, con ella, la generación de residuos radiactivos.

Desde la creación de Enresa hace más de veinticinco años, la gestión de los residuos ha dado grandes pasos, como la creación del Almacén Centralizado para Residuos de Media y Baja Actividad de El Cabril, en Córdoba, que es todo un referente internacional en su campo. En materia de recuperación ambiental también destacan proyectos como la clausura de la fábrica de concentrados de uranio de Andújar, en Jaén, y el desmantelamiento a nivel 2 de la central nuclear de Vandellós I, en Tarragona.

Con la puesta en marcha del ATC, se garantizará la gestión centralizada de todos los residuos de alta actividad que



se generan en nuestro país. Hablamos de unas 7.000 toneladas que se corresponden con el combustible gastado de las centrales nucleares españolas, los residuos procedentes del reprocesado del combustible de Vandellós I en Francia y los del desmantelamiento de instalaciones nucleares que no puedan ser enviados a El Cabril.

Además de necesario y totalmente seguro, el ATC es una apuesta estratégica para España que completa la gestión integral de los residuos. De carácter temporal y reversible, la instalación nos da un margen de tiempo vital para avanzar en I+D y desarrollar una solución definitiva para los residuos de alta actividad y el combustible gastado. España colabora con la Unión Europea y otros organismos internacionales en la búsqueda de una solución consensuada a la gestión

definitiva de los residuos radiactivos, que bien puede pasar por su reproceso y reutilización, o bien por su aislamiento en un Almacén Geológico Profundo (AGP). Asimismo, y en caso de que Europa apueste por esa segunda opción, el ATC ejerce otra labor esencial: aporta tiempo para permitir que el combustible almacenado decaiga en actividad y calor residual, por lo que será más sencillo su manejo en la solución definitiva.

—*¿En qué punto está el proyecto del ATC y cuál es su hoja de ruta más inmediata?*

—Soy de la opinión de que las cosas hay que hacerlas en tiempo y cuanto antes mejor. Por ese motivo, desde que el pasado enero la Secretaría de Estado de Energía publicara la resolución del Consejo de Ministros de ubicar el ATC en Villar de Cañas, hemos actuado con

resolución y hemos empezado a trabajar con rapidez en el emplazamiento.

En este momento ya contamos con los terrenos en los que se construirá el almacén y todas las infraestructuras que lo completan: un total de noventa hectáreas en dos fincas cercanas. Los estudios de caracterización del terreno ya se han licitado y empezarán pronto. Paralelamente, hemos lanzado la licitación de la ingeniería principal y hemos firmado un convenio con la Consejería de Fomento de la Junta de Castilla-La Mancha para mejorar las carreteras de acceso.

En lo que respecta a los campos de información y atención al público, nuestros técnicos han realizado una serie de jornadas informativas para explicar a los habitantes de las poblaciones cercanas las características técnicas de la instalación, los estrictos parámetros de

Enresa, más de 25 años de trayectoria “impecable”

—En los primeros meses como responsable de Enresa ha tenido la oportunidad de conocer sus distintos centros de trabajo. ¿Cómo valora las tecnologías y el equipo humano con el que cuenta?

—Enresa es una empresa con una trayectoria impecable. Con 25 años de experiencia y un cuaderno de bitácora sin mácula, es también un ejemplo de transparencia y responsabilidad social. No tengo más que buenas palabras sobre la forma de trabajar de la casa, así como de la valía, rigor y entrega de sus profesionales, que, además, me han acogido con los brazos abiertos.

En resumen, Enresa como empresa aúna tres valores que, en mi opinión, son sinónimos de éxito: solvencia económica, medios técnicos de vanguardia y la dilatada experiencia y calidad humana de sus profesionales. ■



seguridad y las necesidades de personal. También hemos abierto una oficina de información en la localidad para calmar inquietudes y satisfacer la curiosidad de los habitantes de la zona. Asimismo, colaboramos con el Ayuntamiento de Villar de Cañas en la recepción, análisis y mantenimiento de una base de datos con los currículos de miles de personas interesadas en formar parte del proyecto.

—Unido al ATC, está previsto un centro tecnológico. ¿Están definidos ya sus objetivos y las líneas de investigación en las que allí se trabajará?

—El centro tecnológico desarrollará programas de investigación básica sobre combustible gastado, comportamiento de materiales y restauración ambiental. También dará apoyo a otros programas de investigación locales y autonómicos.

Nuestra intención es que convierta la zona en un referente industrial y tecnológico, y en un foco de interés para la comunidad científica de todo el mundo, ya que contribuirá al desarrollo nacional de infraestructuras científicas y tecnológicas clave. En concreto, se desarrollarán investigaciones sobre comportamiento de materiales, como las cápsulas

de almacenamiento, barreras de ingeniería y materiales avanzados. También se estudiarán programas de modelación y simulación.

Los materiales que almacena el ATC no serán el único objeto de investigación del centro, ya que también servirá de foco de investigación sobre medio ambiente y restauración ambiental.

El centro tecnológico asociado al ATC establecerá un marco de colaboración científica con otros centros de investigación nacionales y autonómicos. En este espacio se fomentarán las relaciones con distintas universidades a través de cátedras, se realizarán cursos de verano, así como otras colaboraciones institucionales que harán del centro, como he señalado, un referente nacional e internacional.

—Enresa dispone de uno de los programas de I+D más potentes y con mayor inversión de España. Son muchos los grupos de investigadores de universidades españolas que trabajan en proyectos de Enresa. ¿Cómo interactuarán con el centro tecnológico del

ATC? ¿Se centralizarán en esta instalación los trabajos de investigación en el campo de los residuos radiactivos de alta actividad?

—El centro tecnológico será receptor de una gran parte de las inversiones que el Plan de I+D de Enresa destina a la gestión temporal y definitiva del combustible gastado y residuos de alta actividad, y constituirá un centro de referencia europeo en el ámbito de la investigación aplicada a la gestión de residuos radiactivos.

—Se cumple este año el vigésimo aniversario del almacén centralizado de El Cabril. ¿Cómo valora la evolución de esta instalación y su futuro?

—El Cabril ha sido y es, al menos hasta la llegada del ATC, la instalación insignia de Enresa. Cuando se cumple su vigésimo aniversario, la instalación se encuentra al 65,9% de su capacidad de almacenamiento para residuos radiactivos de media y baja actividad, sin

que las cerca del millar de muestras que anualmente se toman en los alrededores de la instalación hayan detectado influencia radiológica alguna en el entorno.

Considero que no hay mejor carta de presentación que esa, aunque quisiera llamar la atención sobre un par de novedades en la instalación. Por un lado, la primera estructura de almacenamiento de residuos de muy baja actividad, con la que optimizamos al máximo el espacio de almacenamiento, se encuentra casi al 10% de su capacidad. Y por otro, la nueva sala de control del almacén, desde la que se supervisan los procesos de almacenamiento de los residuos de forma robotizada. Inaugurada a finales de 2010 y adaptada a las últimas tecnologías, la sala de control elimina cualquier sospecha de que, tras dos décadas, El Cabril pudiera estar obsoleto.

En definitiva, El Cabril está en plena forma para continuar haciendo las cosas tan bien como hasta ahora. Y no es algo que digamos nosotros, sino la Nuclear Regulatory Commission estadounidense, que la valora como una de las mejores instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos del mundo y una referencia para centros similares fuera de España.

—Tras veinte años de operación y, a pesar de los difíciles comienzos, parece que es una instalación asentada en su entorno y valorada socialmente en la zona. ¿El modelo de sus relaciones con el entorno puede ser un referente para el ATC?

—Por supuesto. En sus comienzos, El Cabril también tuvo que afrontar la oposición de parte de la sociedad cordobesa. No es de extrañar, teniendo en cuenta la delicada labor que se nos ha encomendado y la alarma social que genera todo lo que lleva como apellido la palabra *radiactivo*.

Pero lo cierto es que, como se suele decir, el tiempo pone las cosas en su lugar, y en estos veinte años Enresa ha demostrado a los cordobeses la total inocuidad de la instalación. Desde la entrada en operación de El Cabril no se ha detectado influencia radiológica alguna sobre el entorno, al tiempo que se ha dinamizado la actividad socioeconómica de la comarca y se ha dado a conocer entre

los numerosos miembros de la comunidad internacional que visitan sus instalaciones y la zona en que se ubica.

Los cordobeses han podido comprobar de primera mano la forma de trabajar de Enresa y su implicación en el tejido social de la provincia. Prueba de que hemos vencido esta desconfianza inicial fue la entrega en 2010, y coincidiendo con nuestro vigésimo quinto aniversario, del Premio Cordobeses del Año, un reconocimiento a nuestro buen hacer y nuestra vinculación con la provincia.

—Enresa cuenta con una destacada presencia internacional, ¿en qué medida contribuirá el ATC a reforzar ese papel?

“El ATC no solo es seguro y necesario, es también una promesa de prosperidad y empleo”

—En un campo como en el que nos movemos, resulta vital compartir y contrastar conocimientos y experiencias. De este modo alcanzamos mayores cotas de conocimiento y desarrollo tecnológico sin disparar los costes. Convencidos de que la comunidad internacional debe trabajar conjuntamente en la búsqueda de soluciones a los residuos radiactivos, Enresa siempre ha colaborado en programas de investigación con la Unión Europea, el Organismo Internacional de la Energía Atómica y la Agencia para la Energía Nuclear, dependiente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

A nivel europeo, el parque tecnológico de Enresa servirá para posicionar a España en materia de I+D energético y medioambiental. No hay duda de que el ATC en sí mismo será objeto de estudio entre nuestros homólogos internacionales, por su sencillez y eficacia, y por

supuesto, porque contará con tecnologías de vanguardia en manejo y gestión de combustible irradiado. Asimismo, los laboratorios del centro tecnológico asociado nos permitirán avanzar en el estudio del comportamiento de estos materiales y en el diseño de barreras para aislarlos. Estudios que, hasta ahora, nuestros investigadores solo podían llevar a cabo en centros extranjeros.

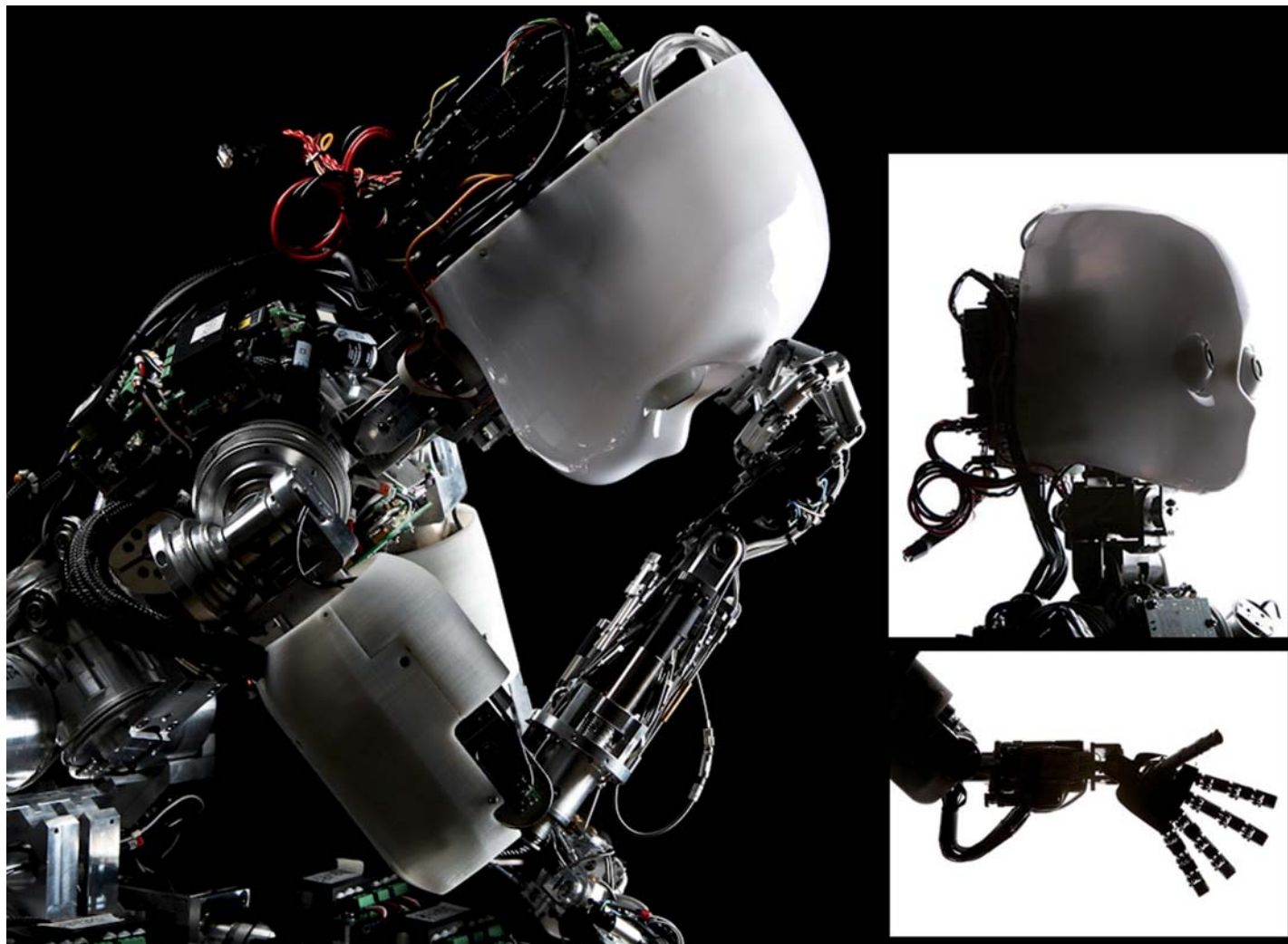
Hay que pensar que la gestión de los residuos radiactivos no termina en el ATC. Y es la propia instalación la que nos permitirá preparar las soluciones más allá del ATC, al igual que lo están haciendo otros países del entorno.

—Otro de los hitos de la empresa se está produciendo con el desmantelamiento de la central nuclear José Cabrera. ¿En qué fase se encuentra en la actualidad?

—Enresa cuenta con una larga experiencia en desmantelamiento. En el periodo 1998-2003, la empresa realizó con éxito el desmantelamiento a nivel 2 de la central nuclear Vandellós I, en Tarragona. Posteriormente se hizo cargo del proyecto PIMIC, en el Ciemat, y ya en 2010 comenzó con el desmantelamiento de José Cabrera, proceso que se prolongará hasta 2016.

En la actualidad está teniendo lugar uno de los hitos de este proceso: el corte de los componentes internos del reactor que se realiza bajo el agua. Para poder empezar con el desmantelamiento del reactor y de las partes activas de la central nuclear, antes se tuvo que completar una fase de adecuación de la planta al desmantelamiento para readaptar los edificios a sus nuevos usos. Un ejemplo de esto es la reconversión del antiguo edificio de turbinas en edificio auxiliar de desmantelamiento, donde se acondicionan los residuos hasta que son enviados a El Cabril.

El desmantelamiento de Zorita está generando gran interés nacional e internacional, como pone de manifiesto la gran cantidad de visitas de expertos que acuden casi cada semana a la central. No en vano es el primer desmantelamiento completo de una central nuclear que se realiza en España y uno de los primeros del mundo. ■



El iCub es un robot-niño con capacidad de aprendizaje. Uno de los veinte ejemplares que hay en el mundo está en la Universitat Pompeu Fabra (Barcelona).

La robótica y la inteligencia artificial aspiran a desarrollar robots sociales que entiendan a las personas y sus emociones

El sueño de los andróides, más cerca

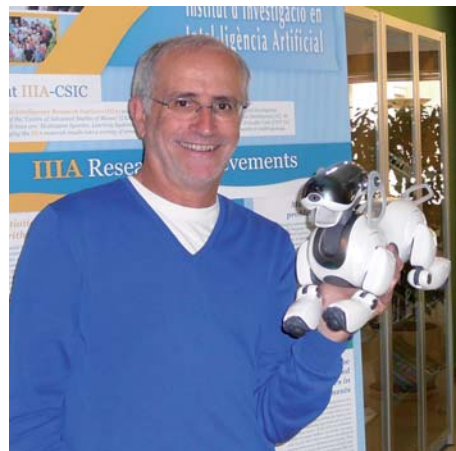
Estamos acostumbrados a verlos en las películas de ciencia ficción, pero cada vez están más cerca de ser una realidad al alcance de todos. Robots, andróides, humanoides... cuidarán en un futuro cercano de nuestros hijos y de nuestros padres y nos ayudarán en múltiples tareas cotidianas. El objetivo que persiguen los investigadores es que máquinas “tan inteligentes o más que los humanos”, sociables y con emociones, vivan entre nosotros. ■ **POR Mónica Salomone, PERIODISTA CIENTÍFICA.**



HIROAKI KITANO



SETHWOODWORTH



RAMÓN LÓPEZ DE MÁNTARAS

De izquierda a derecha: Hiroaki Kitano, uno de los directores del Sony Computer Science Lab, en Tokio (Japón); Marvin Minsky, pionero de la inteligencia artificial, y Ramón López de Mántaras, director del Instituto de Investigación de Inteligencia Artificial (IIIA-CSIC), en Barcelona.

SITUÉMONOS EN EL AÑO 2050. CONcretamente, en la noche de la final del Mundial de fútbol. No es probable que la Roja esté jugando, pero, si lo hace, sus contrincantes probablemente no sean humanos. Tampoco de otro planeta. Serán robots. Y con grandes posibilidades de ganar. Esa es, al menos, la predicción-reto de Hiroaki Kitano, uno de los directores del Sony Computer Science Lab, en Tokio. A principios de los años noventa del pasado siglo, Kitano ya soñaba con crear robots humanoides capaces de competir con humanos. ¿Ambicioso? ¿Utópico? En robótica los sueños son un motor potente y, a menudo, rentable. En el camino hacia su meta, Kitano creó el perro Aibo —uno de los grandes éxitos comerciales de Sony y de la robótica— y a QRIO —el primer bípedo capaz de correr—. Pero, ¿cuán lejano está realmente el robot humanoide de las películas, el compañero androide capaz de compartir la vida con las personas?

Como siempre, el nivel de la botella depende de las expectativas personales, pero el recorrido es muy largo y prueba de ello es que cada vez más investigadores se concentran ya en lo que tradicionalmente se ha considerado más difícil: las emociones de los robots y su sociabilidad. Algunos de los principales proyectos en curso trabajan en los primeros robots que aprenden a desarrollar un lenguaje entre ellos, juegan con niños y aspiran a cuidar de los mayores.

Los robots que imagina Kitano para 2050 tienen muchos antepasados. De

hecho, ya existen los mundiales de fútbol de robots: las robocopa —o *Robocup*—. La primera, celebrada en Japón en 1997, congregó a cuarenta equipos, en su mayoría de universidades y empresas japonesas. En la actualidad participan varios cientos de equipos procedentes de decenas de países diferentes. Y no es una mera frivolidad. Se trata de promover la investigación en robótica e inteligencia artificial (IA), de forma que los campeones de esta competición son también los mejores en navegación autónoma, trabajo en equipo, reconocimiento de imágenes, toma de decisiones en tiempo real, apren-

dizaje... Hoy en día, la Robocopa se divide en cinco ligas, y una de ellas es la aún incipiente de los humanoides.

¿Dónde estamos?

Lo anterior quiere decir —además de que no conviene infravalorar los sueños de Kitano— que la robótica y toda el área de la IA no ha estado parada en las últimas décadas. “Hemos avanzado mucho y, ocasionalmente, alcanzado muchos de los objetivos que los fundadores de la inteligencia artificial plantearon para motivar la investigación en el área”, dice Ramón López de Mántaras,



YONATANH

Los Aibos de Sony, durante un partido de la Robocopa de 2005.

El mejor amigo del hombre



El humanoide Nao expresa emociones y es capaz de interactuar con una persona.

¿Dejaría usted a su hijo pequeño al cuidado de un robot canguro? ¿Y a sus padres dependientes? Tal vez veamos ese partido del Mundial de fútbol de 2050 compartiendo el sofá con un androide. El proyecto Aliz-E, financiado con más de diez millones de euros, procedentes en su mayoría de la Comisión Europea, aspira a crear un robot capaz de relacionarse con los niños. Aliz-E toma el testigo de Feelix-Growing, otro proyecto también europeo liderado por la investigadora española Lola Cañamero en la Universidad de Hertfordshire (Reino Unido) para desarrollar robots capaces de percibir y expresar emociones.

Aliz-E usa como plataforma el robot humanoide Nao —que ya ha participado en varias Robocopas—. El proyecto prevé probar los nuevos Nao con niños ingresados en el Hospital San Rafael, en Milán (Italia), centro que forma parte de este proyecto. Si el robot mantiene el interés de los niños adaptando su comportamiento a las emociones y el lenguaje de los pequeños, habrá nacido un nuevo compañero de juegos.

Otra iniciativa de la Unión Europea (UE) en esta línea es la acción coordinada Robot Companions for Citizens (RCC) (compañeros robóticos para los ciudadanos), lanzada en 2011 para “desarrollar robots que asistan a las personas en sus tareas cotidianas y contribuyan a mantener y aumentar nuestra calidad de vida”, explica la UE en un comunicado. El proyecto, en el que participan expertos de disciplinas muy diversas, dura solo un año y se considera un primer paso que trazará la hoja de ruta para conseguir robots con grandes dotes sociales y, por supuesto, seguros. Los nuevos mejores amigos de ancianos y niños. ■

director del Instituto de Investigación de Inteligencia Artificial (IIIA-CSIC), en Barcelona, y el primer científico no estadounidense que ha recibido —en 2011— el premio Robert S. Englemore de la Asociación Americana para el Avance de la IA.

Pero si ha habido tantos progresos... ¿dónde están? ¿Se limitan a ser exhibidos en las robocopas? Lo que ocurre es que

la IA se ha vuelto ubicua y asombrosamente capaz de ocultarse. “La inteligencia artificial está por todas partes, ¡pero raramente es visible!”, dice López de Mántaras. Y pone ejemplos: “Los sistemas de inyección de nuestros coches usan algoritmos de aprendizaje automático; los videojuegos emplean redes neuronales; los sistemas de detección de fraudes financieros se basan en técnicas de apren-

dizaje automático relacional; la gestión del tráfico de llamadas en telefonía móvil, la detección de hábitos de consumidores, los buscadores en la web... Todos usan técnicas de inteligencia artificial”. Incluso se han demostrado complejos teoremas matemáticos con herramientas de IA.

Y si se buscan aplicaciones más vistosas, también las hay: desde programas que juegan al ajedrez a nivel de gran maestro hasta robots que exploran la superficie de Marte, pasando por automóviles sin conductor capaces de sortear sin problemas el tráfico urbano. En el propio IIIA-CSIC —y volviendo al tema del fútbol— han desarrollado robots que aprenden por experiencia cuándo deben pasarse la pelota.

Pero sí, admitámoslo: no es eso lo que todo el mundo tiene en mente cuando piensa en un robot inteligente. El imaginario popular anhela lo que López de Mántaras llama la IA fuerte: una máquina “tan inteligente o más que los humanos” y que además tenga una mente, es decir, estados mentales, consciencia, etcétera.

Lo que tal vez sorprenda a los escépticos es que, para los propios expertos en IA, este reto no es imposible. Pero sí lejano. Hasta ahora se han desarrollado habilidades para hacer frente a tareas concretas y, aunque los avances son importantes, “los sistemas de razonamiento más sofisticados están aún lejos de poseer la robustez, la amplitud y el sentido común de un niño de tres años”, dice López de Mántaras. El director del IIIA-CSIC cita a Ron Brachman, actual vicepresidente de Yahoo Labs y exdirector de la Oficina de Tecnología de Procesado de la Información (IPTO) en la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa estadounidense, la famosa DARPA. Brachman señaló: “Tenemos ladrillos maravillosos, pero para construir la casa necesitamos cemento que los una y un plan arquitectónico”.

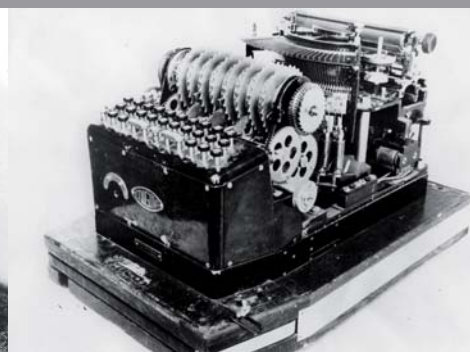
Robótica del desarrollo

El gran desafío actual, por tanto, es integrar todas las capacidades desarrolladas hasta el momento en “un robot multi-propósito, social, capaz de acumular

Turing, o cómo las grandes revoluciones tecnológicas empiezan con ideas intangibles

Muy probablemente nada o casi nada de lo que aquí se cuenta sobre robots *inteligentes* sería como es sin el trabajo de Alan Turing (1912-1954), el matemático británico de cuyo nacimiento se celebra este año el centenario. Turing puede poseer muchos títulos: el genio que descifró los mensajes encriptados del bando nazi durante la Segunda Guerra Mundial con la máquina Enigma; el autor de las bases teóricas sobre las que ha crecido la informática, o uno de los *padres* de la inteligencia artificial. Las celebraciones de su centenario ensalzan el impacto de sus aportaciones en nuestra vida cotidiana: no hay teléfono móvil, consulta a Internet o dispositivo electrónico en general que no deba algo a Turing. “Merece que la sociedad le incorpore a su elenco de grandes investigadores de la Historia en la misma categoría de Kepler, Darwin, Marie Curie, Galileo, Newton o Einstein”, dice Juan José Moreno Navarro, vicerrector de Sistemas Informáticos y de Comunicación en la Universidad Politécnica de Madrid y comisario del Año Turing en España.

Se diría que Turing es el constructor de algún dispositivo totipotente y sofisticado, pero no es exactamente el caso. Sus descubrimientos partieron de una investigación básica en lógica y matemática, que abordaba cuestiones tan abstractas como si se puede determinar si un enunciado matemático es verdadero o falso, o si es posible construir una máquina con inteligencia equiparable a la humana. De estas ideas intangibles nació en los años



A la izquierda: Alan Turing; sobre estas líneas, la máquina Enigma.

treinta la Máquina Universal de Turing, considerada el modelo teórico del computador digital.

Turing es también el creador del test que lleva su nombre, y que puede considerarse una medida de la inteligencia de un ordenador. El cerebro supera la prueba —básicamente— si, tras mantener una conversación por escrito con un humano, logra convencerle de que él también lo es. Ningún programa por ahora ha superado el Test de Turing.

Pero para los no expertos en informática e inteligencia artificial puede que lo más admirable del genial matemático sea su versatilidad e interdisciplinariedad. Turing se interesó incluso por la biología, y llegó a escribir un conjunto de ecuaciones que determinan cómo adquieren el patrón de manchas en la piel animales con pelaje rayado o moteado. Lo más asombroso es que un grupo de biólogos japoneses demostró en 2010 que las ecuaciones de Turing funcionan. ¡Larga vida a Alan Turing! ■

conocimientos diversos durante largos periodos de tiempo y de aplicarlos eficazmente para tomar decisiones”, explica López de Mántaras.

Una máquina así debe saber crearse su propia representación del entorno, advertir las imprecisiones de lo aprendido, comprender las complejas relaciones entre personas, objetos, conceptos y lugares, la causalidad... El pionero de la inteligencia artificial Marvin Minsky ponía hace ya veinte años el ejemplo de un niño pequeño con una cuerda: su cerebro aprende enseguida que una cuerda sirve para tirar, pero no para empujar. ¿Cómo enseñarle eso a una máquina?

La robótica del desarrollo, una de las áreas más jóvenes de la IA, podría tener una respuesta al problema. La propuesta de esta rama es copiar, precisamente,

la forma en que aprenden los niños, es decir, a partir de la interacción con los objetos y los seres vivos de su entorno. El robot mira a su alrededor, un determinado objeto le llama la atención y empieza entonces el juego: ¿puedo empujarlo? ¿Por qué no? ¿Por qué con otro objeto de la misma forma y color no ocurre lo mismo? Esa es la formulación en términos humanos. En realidad el robot tal vez note simplemente que, por ejemplo, el flujo de imágenes que le transmiten sus sensores de visión se ha interrumpido, a pesar de que su motor sigue funcionando; si con esos datos es capaz de concluir que ha chocado y está, por tanto, parado, puede que logre además relacionar el tipo de objeto presente en su campo de visión con un obstáculo, y aplicar ese conocimiento en el futuro.

Se trata de programar solo los conocimientos innatos estrictamente indispensables para que el robot construya por sí mismo su propia visión del mundo. Uno de los retos, por supuesto, es “identificar cuáles son exactamente estos innatos”, dice López de Mántaras. No en vano es un área interdisciplinar, en la que investigadores en robótica e inteligencia artificial interaccionan con neurocientíficos y expertos en desarrollo infantil.

El robot-niño

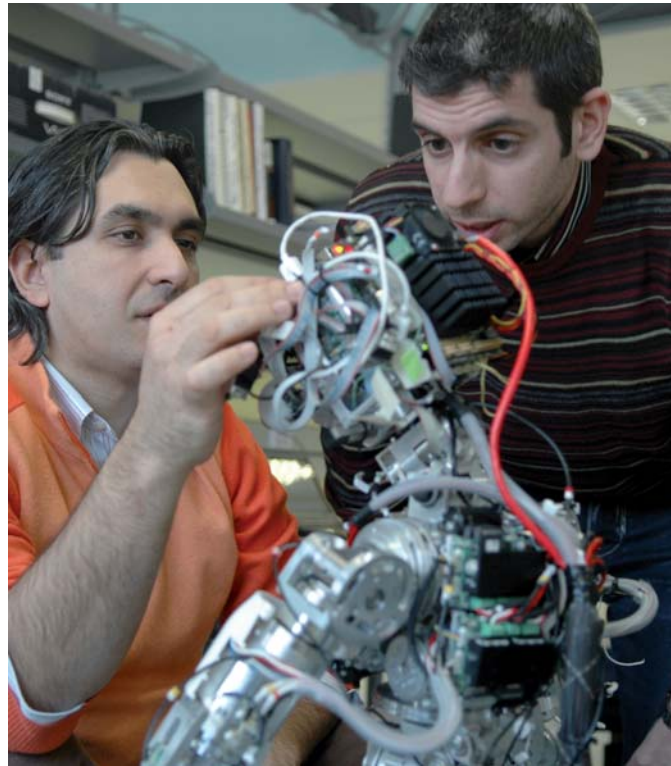
Hay varias plataformas que los investigadores pueden usar en sus experimentos de robótica del desarrollo. Una de ellas es un robot-niño del tamaño, precisamente, de un niño de tres años, llamado iCub y desarrollado entre 2004 y 2009 por una decena de centros de investigación euro-

peos y estadounidenses dentro del programa RobotCub, de la Comisión Europea. El iCub gatea y se sienta, puede coger objetos y su cabeza y ojos están articulados; tiene sensores auditivos, de visión, tacto y equilibrio. Pero, sobre todo, “desarrolla sus capacidades cognitivas como lo haría un niño, aprendiendo progresivamente sobre sus propias capacidades físicas, interactuando con el entorno y, eventualmente, comunicándose con otros individuos”, explican sus creadores en una nota informativa.

Uno de la veintena de iCubs que ya están en uso en diversos centros de investigación se encuentra en la Universitat Pompeu Fabra (UPF), en Barcelona. Aquí, el laboratorio de Sistemas de Percepción, Emotivos y Cognitivos, liderado por Paul Verschure, ha programado su cerebro —doce procesadores situados fuera del robot y comunicados con él por un grueso cable— para que aprenda a tocar un instrumento musical —creado en el propio laboratorio— a través de la interacción con un entrenador. El iCub de la UPF ya ha ofrecido varios conciertos públicos.

Este robot, con su cuerpo de niño, aplica una de las hipótesis que guían los avances de la inteligencia artificial: la forma hace al órgano. En otras palabras, la capacidad de desarrollo y aprendizaje del organismo, sea este biológico o mecánico, se relaciona directamente con sus posibilidades físicas a la hora de interactuar con su entorno. De ahí la importancia de la forma humanoide.

Estos experimentos también sirven a la inversa. Los robots humanoides permiten ensayar teorías sobre cómo crece cognitivamente el cerebro humano. Como ha explicado en la revista *Nature* Luciano Fadiga, neurofisiólogo de la Universidad de Ferrara (Italia) y uno de los creadores de iCub, antes de que los niños



Dos investigadores trabajan en un robot en el iCub Summer School celebrado el pasado mes de julio en Sestri Levante (Italia).

logren coger una pelota en el aire deben aprender a coordinar los movimientos de la cabeza y los ojos para mantener la pelota en el campo de visión predecir su trayectoria, guiar su mano hasta ella y cerrar sus dedos con la fuerza y el ángulo correctos. Ninguna de esas habilidades es innata. “Hay muchas teorías que tratan de explicar cómo aprende el cerebro todo eso, y la única manera de saber si son correctas es probarlas en un sistema artificial”, ha dicho Fadiga.

Un lenguaje propio

Luc Steels, fundador del Sony Computer Science Laboratory de París, profesor en el Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-UPF) de Barcelona e investigador del Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad de Bruselas, también usa los robots para aprender sobre las personas. La cuestión que más le interesa es el desarrollo del lenguaje, pero no solo esa. “Investigamos muchas de las cuestiones que interesan a los filósofos: autoconciencia, empatía, capacidad deductiva, intencionalidad... ¿Puede un robot llegar a desarrollarlas?”, se pregunta Steels.

Su grupo trabaja con el perro Aibo y con QRIO, y lo hacen con una hipótesis de partida: “Nosotros no creemos que el lenguaje nazca de las propiedades físicas del cerebro, sino de la capacidad de formar redes, conexiones muy complejas entre conceptos, experiencias sensoriales, palabras, construcciones gramaticales, pensamientos... En nuestro cerebro se crean redes dinámicas gigantes conectadas con el resto de nuestro cuerpo [para integrar la información sensorial] y con el exterior, con otras personas. Tratamos de reproducir esta red en nuestros robots”.

Lo que esto significa, como explica Steels en una de sus últimas publicaciones, es que la “evolución cultural” es tremendamente poderosa, tanto que “hacen falta menos estructuras

innatas” de las que habitualmente se asumen. “La evolución del lenguaje humano depende menos de la evolución genética”, escribía este investigador en 2011 en la revista *Physics of Life Reviews*.

Los robots de Steels hacen juegos de lenguaje: uno señala un objeto y pronuncia un término, y su compañero responde señalando el objeto que cree que se corresponde con ese término; si la respuesta es correcta, el primer robot asentirá. Si no lo es, señalará el objeto correcto. Poco a poco, han desarrollado un lenguaje propio.

“Lo primero que este juego exige a los robots es aprender a percibir su mundo a partir de un flujo de información visual”, explica Steels. “Lo que es mágico, en mi opinión, es que cada robot tiene su propia imagen del mundo y aun así logra comunicarse con el otro. E incluso más mágico es que nosotros no les damos las palabras, un vocabulario. Las inventan ellos. Ni siquiera les programamos conceptos como izquierda o derecha. Creemos que solo cuando estos robots desarrollan sus propios conceptos, es decir, su propia visión del mundo, podemos llamarles inteligentes”. ■

En dos años, los sistemas de calidad de Enresa han puesto en marcha más de 500 acciones para aumentar la eficiencia de sus actividades y procedimientos

LA MEJORA CONTINUA, HERRAMIENTA CLAVE EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS



La base de todos los sistemas modernos de calidad tiene un esquema muy simple que Edwards Deming, uno de los gurús de calidad de los años cincuenta, resumió en cuatro fases: **planificar, hacer, revisar y mejorar**. En inglés, el famoso acrónimo PDCA (*plan, do, check, act*) se representa como una rueda para indicar que una vez conseguida la mejora se inicia de nuevo el ciclo, y así continuamente. Las dos últimas fases, la revisión de lo hecho y la corrección o mejora de la eficiencia, son las que controlan el Sistema Integral de Mejora con el que cuenta Enresa para optimizar su sistema de gestión a todos los niveles. ■ POR Julián Herrero y Juan Diego Quesada, DEPARTAMENTO DE GESTIÓN DE CALIDAD DE ENRESA.

A FINALES DE ABRIL DE 2010, ENRESA puso en marcha el Sistema Integral de Mejora (SIM). Inicialmente se implantó como un requisito normativo que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) introdujo en la Instrucción de Seguridad 19. Sin embargo, la dirección vio en este requisito normativo la oportunidad de implantar una importante herramienta para facilitar y

promover la participación de todo el personal en la mejora de las actividades de la empresa. El SIM se diseñó como un sistema que gestiona las distintas incidencias, ya sean de corrección o de mejora, detectadas por cualquier persona que trabaje en Enresa, así como los compromisos que se adquieren con el organismo regulador en cualquiera de las interrelaciones que se mantienen con él.

Existen tres tipos de incidencias (ver figura 1):

— *No conformidad*: considerada como incumplimiento de un requisito impuesto por la reglamentación externa o autoimpuesto por la propia empresa. La misma se resuelve tomando una acción inmediata sobre el incumplimiento detectado. Esta acción se denomina disposición o acción de corrección. Por otro lado, es necesario realizar un análisis de la causa que lo originó, con el fin de implantar acciones para su eliminación y, por ende, evitar la repetición de dicho incumplimiento.

— *No conformidad potencial*: surge cuando se detecta algo que, no siendo un incumplimiento, es un síntoma de que puede serlo. En este caso, la misma incidencia se corrige tomando acciones para evitar que se produzca dicho incumplimiento, lo que se denomina acción preventiva.

— *Propuesta de mejora*: busca la participación del personal en la mejora de

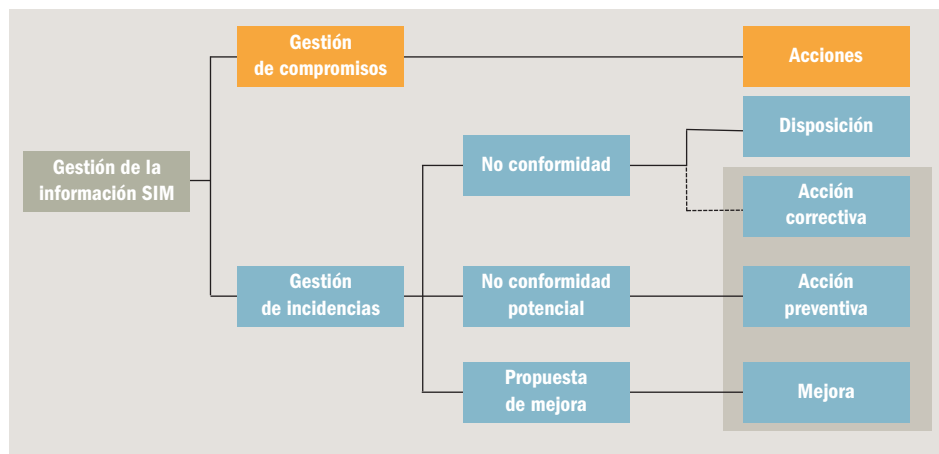
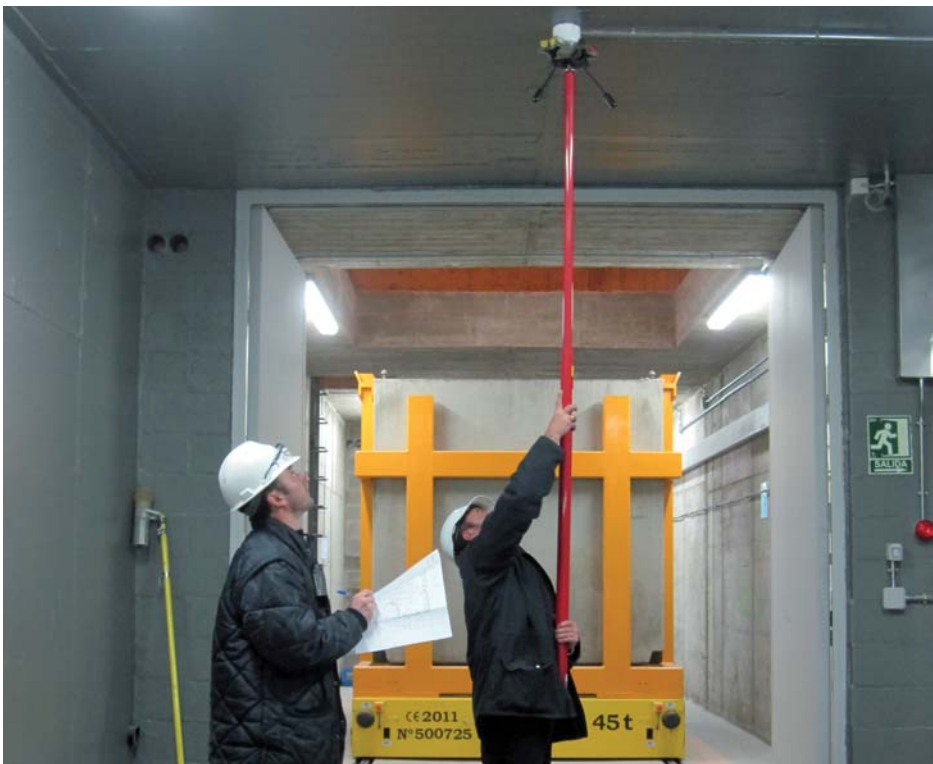


Figura 1. Esquema de gestión del Sistema Integral de Mejora (SIM) de Enresa.



Los trabajadores de Enresa son una importante fuente de iniciativas del Sistema Integral de Mejora.

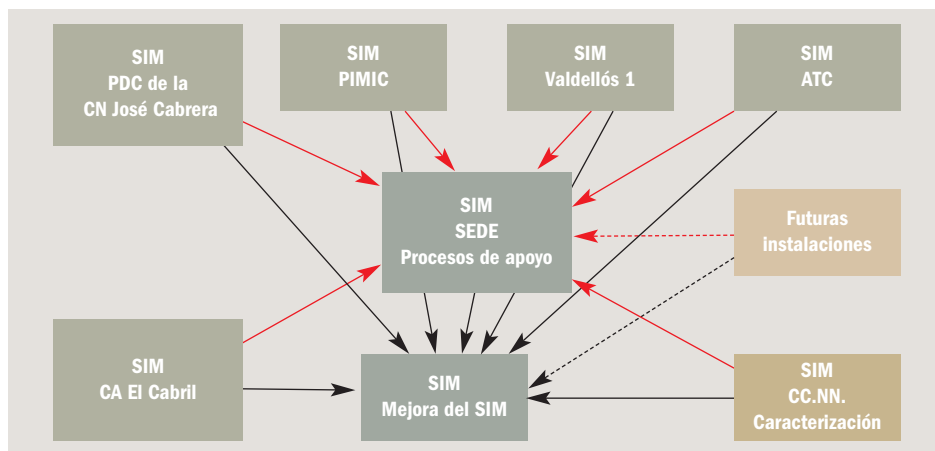


Figura 2. El SIM y las distintas instalaciones de Enresa.

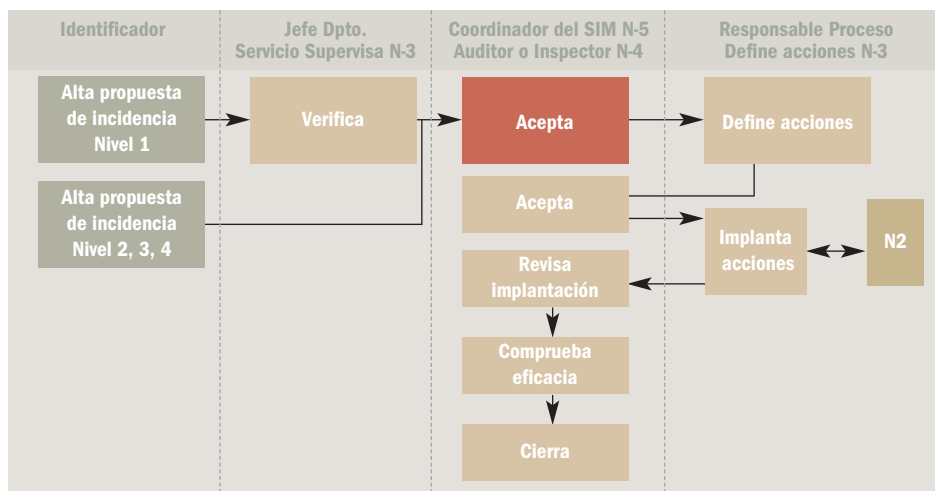


Figura 3. Tramitación de incidencias en el SIM.

la eficacia o eficiencia de los procesos y actividades.

Cada instalación de Enresa cuenta con su propio SIM y accede, a su vez, al SIM de la sede, ya que desde esta se proporcionan distintos servicios a las instalaciones (ver figura 2).

La herramienta proporciona la posibilidad de que cualquier persona que trabaje o sea colaborador en Enresa pueda, una vez autorizado a ello, dar de alta una incidencia.

La tramitación de las incidencias

El SIM se diseñó partiendo de los requisitos normativos y buscando la sencillez, con el objetivo de facilitar la accesibilidad y el uso a todos los niveles de la organización. El procedimiento es el siguiente: una persona que está dada de alta en el sistema identifica una incidencia y la reporta al SIM. En función del perfil de la persona que la reporta, se le requiere más o menos información y, en algunos casos, es supervisada por su responsable, que completará dicha información (ver figura 3).

Todas las incidencias se centralizan en primera instancia en la figura del coordinador, que las dota de cierta uniformidad de criterios a la hora de clasificarlas y catalogarlas para que el responsable del proceso defina e implante posteriormente las acciones pertinentes. Las medidas que se adoptan son revisadas por personal cualificado que comprueba la correcta implantación y su eficacia.

En poco más de dos años el sistema ha empezado a dar sus frutos, como demuestra la participación de los usuarios al dar de alta 517 incidencias. Como se puede comprobar en el gráfico de la figura 4, la cifra de incidencias reportadas en el primer semestre de 2012 superó a las registradas en todo 2011. Esta evolución al alza permite asegurar que el personal está incorporando poco a poco esta herramienta como la vía habitual para gestionar la mejora de Enresa.

De las 517 incidencias dadas de alta desde que se puso en explotación el SIM, el 95% fueron tramitadas y ya se han resuelto o están en curso; y solo el 5% fueron rechazadas de forma justificada. El 90% recayeron en la gestión interna,

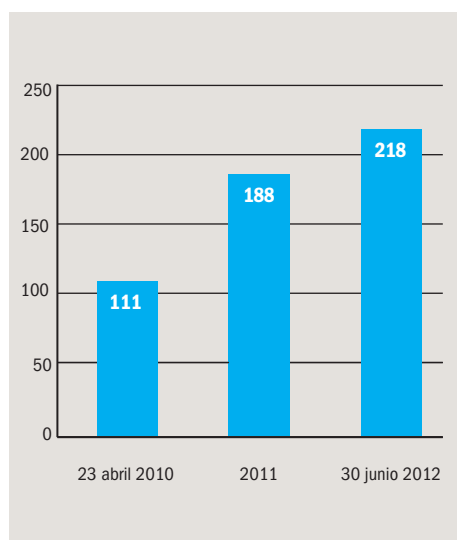


Figura 4. Evolución de alta de incidencias.

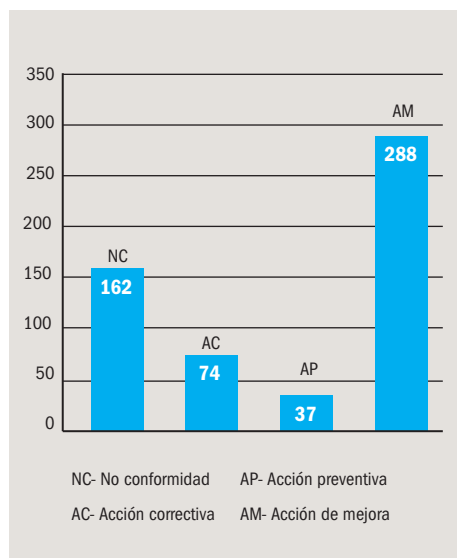


Figura 5. Situación de las acciones gestionadas.

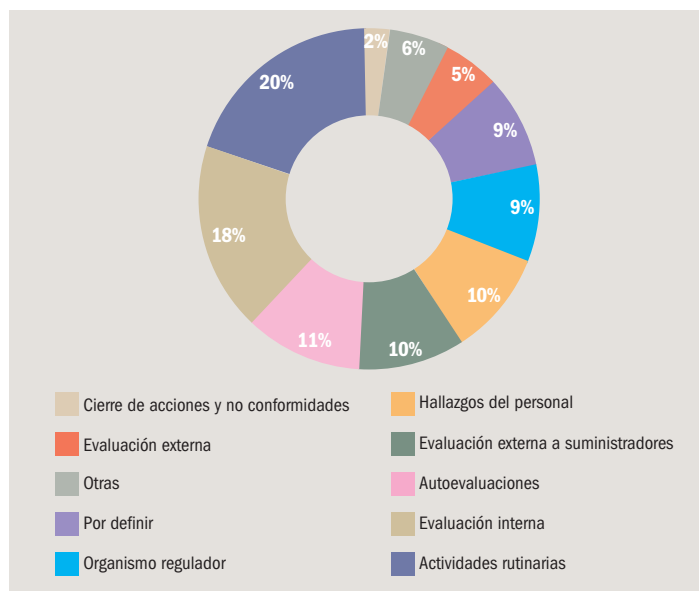


Figura 6. Origen de las incidencias atendidas en el SIM.

mientras que el 10% fueron responsabilidad de los suministradores.

Además de la corrección, que ya se realizaba previamente a este sistema, destaca el hecho de que en el 50% de las 162 no conformidades se tomaron acciones correctivas dirigidas a eliminar la causa de raíz. También cabe subrayar la actitud constructiva que se evidencia entre el personal, pues ha realizado un total de 288 propuestas de mejora, es decir, la mitad de las entradas al SIM. De las 561 acciones iniciadas, tres cuartas partes han sido prácticamente atendidas y solventadas, y el resto están en vías de implantación (ver figura 5).

Si atendemos a la forma u origen de identificación de las incidencias, tal y como se puede comprobar en el gráfico de la figura 6, el 40% de las incidencias se detecta en las actividades rutinarias y en las evaluaciones internas (auditores y/o inspecciones). Otro 40% se distribuye, en partes casi iguales, entre las detectadas por los trabajadores de forma individual, también denominados hallazgos de personal; las detectadas en los procesos de autoevaluación, como autoanálisis del propio trabajo; las identificadas por el organismo regulador, y las que se detectan en el seguimiento de trabajos hechos por terceros o en la evaluación de los mismos, con el fin de incluirlos o renovarlos en la lista de suministradores evaluados.

En lo que respecta al módulo de gestión de compromisos que Enresa adquiere con el organismo regulador en las distintas interrelaciones que mantiene con él, se han gestionado 56 compromisos que han generado 88 acciones, de las cuales 61 ya están implantadas y 27 en fase de implantación. En el gráfico de la figura 7 se puede apreciar que, como es natural, es en las instalaciones con más actividad —centro de almacenamiento de El Cabril y central nuclear José Cabrera— donde se produce la mayor aportación de actividad de mejora derivada de la interacción con el CSN.

A modo de resumen, cabe destacar que la evolución de las incidencias dadas de alta en el SIM es positiva, ya que demuestra un espíritu de mejora. La implicación de los trabajadores se traduce en unos procesos y actividades más controlados y, por otra parte, el mismo análisis es un indicativo de un cambio de actitud respecto a lo que supone la detección de errores y la aportación a la mejora continua como una labor de todos, es decir, un cambio en la cultura organizativa y, por tanto, en la cultura de seguridad de la empresa. Es un camino largo, pero se deben incorporar nuevas formas de hacer y de pensar que potencien la actitud constructiva. En este caso, el SIM ha demostrado ser una herramienta clave para conseguirlo y los resultados obtenidos avalan que el camino es el correcto. ■

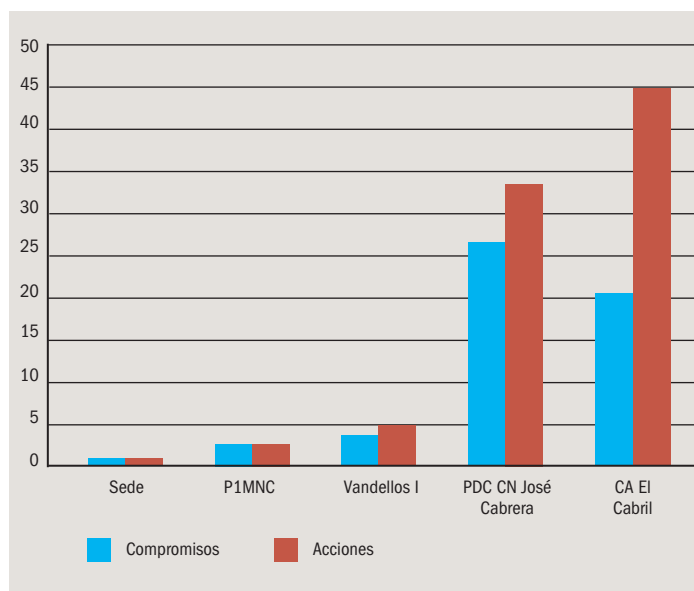


Figura 7. Compromisos y acciones por sedes atendidas por el SIM.

*Se cumple medio siglo del libro más influyente del ambientalismo,
escrito por la naturalista estadounidense Rachel Carson*

NARCISO CORRALES



La obra de Rachel Carson cuestionó el uso del DDT en los insecticidas industriales y fue el primer paso para su prohibición a nivel global en 2001.

La ‘Primavera silenciosa’ que atronó las conciencias

“Un día, llegó por fin la primavera. El invierno quedaba atrás: las plantas florecían, de los árboles brotaban hojas verdes, los días se alargaban y se tornaban más cálidos... Sin embargo, faltaba algo esencial: los pájaros. ¡Sí, reinaba un silencio anormal! No se oía ningún píar, ningún graznido, ningún gorjeo. Las aves habían desaparecido como por ensalmo...” Con este inquietante cuadro imaginario empezaba *Primavera silenciosa*, la obra que hace medio siglo conmovió las conciencias del mundo civilizado al pintar de forma vívida el horror de un mundo al que la contaminación había privado hasta del canto de los pájaros. ■ **POR Pablo Francescutti, PERIODISTA CIENTÍFICO.**

LA ESTADOUNIDENSE RACHEL CARSON (Pennsylvania, 1907-Maryland, 1964) no era una novata en lides literarias. En 1952, había ganado el US National Book Award por el ensayo *The Sea Around Us* (*El mar que nos*

rodea). Su siguiente obra, *The Edge of the Sea* (*El borde del mar*), así como la versión revisada del libro galardonado, *Under the Sea Win* (*Bajo el triunfo del mar*), también fueron *best sellers*. En *El mar que nos rodea*, la escritora, bióloga marina de for-

mación, forjó un estilo que alternaba la retórica apocalíptica, para describir los estragos causados en los mares por la polución, con la prosa poética, para cantar el indisoluble nexo entre el ser humano y la naturaleza. Con el mismo estilo

compuso en 1962 un texto que tendría un impacto infinitamente mayor: *Silent Spring* (*Primavera silenciosa*).

¿Su tema? El impacto de los insecticidas sintéticos en el medio ambiente, un asunto sugerido por el director de la prestigiosa revista *The New Yorker* a raíz de la protesta de numerosos vecinos de la ciudad de los rascacielos contra el uso masivo de tales agentes químicos. El citado semanario publicó el texto por entregas a lo largo del verano de 1962, y poco después fue editado en formato de libro. La obra cosechó un espectacular éxito, hasta el punto de que, en menos de dos años, las ventas superaron el millón de ejemplares. Saturada de datos y conceptos técnicos, *Primavera silenciosa* no era un libro de fácil lectura; pero, engarzadas con una elocuencia precisa y lírica a la vez, las áridas estadísticas de aquel *best seller* se convirtieron en un ariete certero y demoledor al servicio de una contundente soflama contra la contaminación de origen industrial.

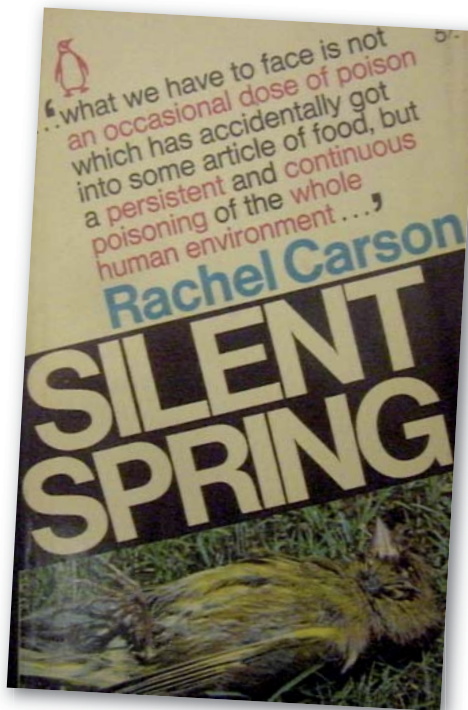
La naturalista partía de un fenómeno de gran actualidad: la sorprendente mortandad de pájaros en los países desarrollados. No se salvaba ninguna especie: zorzales, perdices, jilgueros, faisanes y alondras caían de las alturas, muertos o presa de una extraña parálisis. En EE.UU., las poblaciones aviares iban descendiendo aceleradamente; hasta el símbolo nacional, el águila calva, se hallaba en peligro de extinción. Algo extraño ocurría: las hembras ponían menos huevos, las cáscaras de estos se volvían quebradizas y muchos no eclosionaban. Se multiplicaban las conjeturas acerca de la causa, sin que nadie atinara a identificarla a ciencia cierta. Y de pronto apareció *Primavera silenciosa* denunciando con pelos y señales al culpable: el DDT.

Un insecticida espectacular

La potentísima acción insecticida del dicloro-difenil-tricloroetano o DDT —creado en 1874 por el químico alemán Othmar Zeidler— fue descubierta en 1939 por el investigador suizo Paul Müller y puesta a prueba en 1944, en pleno campo de batalla. Los entomólogos del Ejército aliado decidieron uti-



El impacto de 'Primavera silenciosa' convirtió a Rachel Carson en una habitual de los medios de comunicación.



lizar el novedoso agente contra los piojos que transmitían el tifus a las tropas en el frente italiano. Su eficacia fue fulminante. Por su hallazgo, Müller fue galardonado con el Premio Nobel de Medicina en 1948.

En años sucesivos, el compuesto sería rociado a mansalva sobre cultivos, riberas fluviales, pantanos y zonas urbanas de todo el mundo. Sus espectaculares resultados parecían dar la razón al galar-

dón otorgado por la Academia sueca; además de promover un impresionante aumento de la productividad agrícola, el DDT hizo retroceder flagelos seculares como la malaria y el tifus, llegando a erradicarlos de Italia, Grecia y España. Su potencia exterminadora hizo creer que acabaría con las plagas para siempre. En ese contexto en el que los pesticidas industriales eran considerados un milagro tecnológico, se abrió paso la denuncia de Rachel Carson y su *Primavera silenciosa*.

El argumento de la obra pivotaba en un hecho poco conocido o subestimado: el DDT no desaparecía tras su uso, sino que se acumulaba en los seres vivos y podía pasar a la cadena alimentaria. “Por primera vez en la historia, cada ser humano se ve sometido al contacto con productos químicos peligrosos, desde el momento de la concepción hasta la muerte”, escribió la bióloga, que aclaró: “No estoy defendiendo que los insecticidas químicos no deban usarse nunca, sino que planteo que hemos puesto agentes venenosos y biológicamente potentes en manos de personas parcial o totalmente

ignorantes de su potencial dañino. Y sostengo, además, que hemos autorizado el uso de dichos productos químicos con poca o nula investigación de sus efectos en suelo, agua, vida silvestre y el ser humano mismo. Difícilmente las generaciones futuras perdonarán nuestra falta de preocupación por la integridad del mundo natural que sostiene la vida entera”.

Kennedy escuchó a Carson

El primer y más eficaz alegato contra los efectos adversos de la industrialización no quedó sin respuesta. Los fabricantes de pesticidas vertieron contra Rachel Carson toda clase de descalificaciones, acusándola de histérica, alarmista, anticientífica, comunista e incluso... ¡de no estar casada! Su biógrafa, Linda Lear, recuerda que “un exsecretario de Agricultura llegó a preguntar en público por qué una solterona sin hijos se interesaba tanto por la genética”. Más mesurado, Parke Brinkley, director ejecutivo de la National Agricultural Chemicals Association, argumentó que “cualquier daño causado por los pesticidas se ha visto compensado con creces por el bien que hacen”.

Pero los datos expuestos por Carson eran tozudos, y su cruzada contra el DDT tuvo enorme repercusión: el presidente John F. Kennedy encomendó a sus asesores científicos que estudiaran su denuncia y, en 1963, estos presentaron un informe en el que se concluía que el empleo masivo de insecticidas permitía la acumulación de sustancias nocivas en la cadena alimentaria, creando un riesgo real para los humanos, y, por tanto, “la eliminación del uso de pesticidas tóxicos persistentes debería ser la meta”. Tras una inacabable sucesión de informes, contrainformes y litigios, en 1972 se prohibió la producción y el uso agrícola del cuestionado agroquímico en EE.UU., aunque este país siguió exportándolo al Tercer Mundo hasta mediados de los años ochenta. Finalmente, el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, que regula las sustancias tóxicas, restringió en 2001 el uso global de muchos de los pesticidas criticados por la naturalista.

El dilema del DDT

Hoy, cuando la malaria afecta de 300 a 500 millones de personas cada año y se cobra las vidas de 2.000 niños al día, el debate se crispa en torno a un aparente dilema: usar el DDT para salvar vidas al precio de contaminar el entorno, o cuidar del medio ambiente y privarse de un arma contra el paludismo. Algunos partidarios del DDT llegan a responsabilizar a la autora de *Primavera silenciosa* de la muerte de millones de africanos y asiáticos que podrían haber vivido de no haberse vetado el pesticida. Entre ellos se cuenta Gilbert Ross, director médico del American Council on Science and Health, un *think-tank* estadounidense financiado por Monsanto, Du Pont y otras grandes corporaciones: “El trabajo de Rachel Carson es polémico, pues tiene más de poema épico que de trabajo científico”, afirma. En el documental *3 Billion and Counting*, dirigido por el médico californiano Rutledge Taylor, se califica la prohibición del insecticida como “uno de los mayores crímenes contra la humanidad que este mundo haya conocido, mucho peor que el Holocausto y todas las guerras combinadas”.

No obstante, el cargo es rechazado por historiadores de la ciencia como Naomi Oreskes y Erik Conway, quienes recuerdan que en el abandono del DDT no influyó solo su efecto en la salud humana, sino también su ineficacia. De hecho, en 1969, la Organización Mundial de la Salud (OMS) canceló la meta de erradicar la malaria, al comprobar las limitaciones del DDT en regiones tropicales, debido a factores como el ciclo continuo de los mosquitos, la aparición de resistencias y la falta de infraestructuras adecuadas.

A día de hoy, el debate se mantiene vivo. Hay países en vías de desarrollo que, tras suspender el uso del polémico compuesto, han vuelto a emplearlo. Por su parte, la organización ecologista Greenpeace lo acepta con condiciones: “Apoyamos el uso continuo del DDT en programas de control de la malaria donde no existen alternativas eficaces”, afirmó uno de sus portavoces. Otra entidad ambientalista, World Wildlife Fund (WWF), insiste en la necesidad de su abandono paulatino y en la adopción de medios de eficacia similar, a saber: mosquiteros impregnados de pesticida, cebos adhesivos para insectos transmisores, pesticidas de baja toxicidad aplicados en rotación para evitar las resistencias, la introducción de predadores naturales de los mosquitos y una exhaustiva destrucción de sus zonas de cría. Actualmente, la OMS solo autoriza el uso del DDT en interiores domésticos para combatir los vectores del paludismo.

“El debate se halla trabado por las posturas extremas e irreductibles”, señala el ornitólogo Miguel Ferrer. “Necesitamos sistemas de control de la malaria, pero estos no deben crearnos nuevos problemas. No existe ningún dilema: no debemos resignarnos al paludismo ni a los daños ambientales y, por ello, debemos buscar soluciones *limpias*”.

Carson fue así reivindicada, pero no llegó a disfrutar de su victoria, pues había fallecido de cáncer de mama en abril de 1964, a los 57 años de edad.

Efecto persistente

“*Primavera silenciosa* me sigue pareciendo una obra magnífica”, comenta Miguel Ferrer, ornitólogo del Consejo Supe-

rior de Investigaciones Científicas (CSIC), quien añade: “uno de sus aciertos fue centrarse en las aves de presa. Estos carnívoros constituyen un buen modelo de estudio de la contaminación, ya que, por encontrarse al final de la cadena alimentaria, los compuestos sintéticos diseminados en las plantas pasan a los ratones y acaban acumulándose en



JAMES GATHANY

El debate sobre el uso del DDT para erradicar la malaria continúa en la actualidad. A la derecha, anuncio de un insecticida de los años cincuenta.

las rapaces. Sobre este efecto deletéreo existen tantas pruebas en revistas científicas que nadie puede plantearse seriamente cuestionarlo”.

Pero el legado más duradero del libro trasciende la polémica de los insecticidas sintéticos, pues no ha sido otro que el desarrollo de la conciencia ambiental contemporánea. “Debemos agradecer a Carson la existencia de un poderoso movimiento ecologista, la conciencia de que no podemos castigar a la fauna indiscriminadamente y la comprensión de la fragilidad de la cadena alimentaria natural”, recuerda Jonathon Porritt, exdirector de la asociación ecologista Amigos de la Tierra. “Su aviso contundente de los efectos del DDT marcó un antes y un después, al introducir para siempre un sentimiento de precaución que antes no existía”, señala Ferrer. Una institución cuyo origen se sitúa en la estela de aquella obra es la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU., un polo de referencia internacional en materia ambiental. Por esos méritos, Carson recibió en 1980, a título póstumo, la Medalla presidencial de la Libertad, el mayor honor otorgado a un civil en su país.



Miguel Delibes, gran admirador de la escritora

El impacto de la escritora se hizo sentir también en España. “Carson fue mi ídolo de juventud”, recuerda Miguel Delibes de Castro, exdirector de la Estación Biológica de Doñana (CSIC). “En mis tiempos de estudiante, la leí apasionadamente”, comenta el biólogo, que compartía esta admiración con su padre, el novelista Miguel Delibes. “De hecho, su discurso de ingreso en la Real Academia Española, recogido en *El mundo en la agonía*, tiene por piedra angular las

reflexiones de Carson sobre el progreso y el deterioro ecológico”.

Hoy, las poblaciones de águila calva y otras especies se han recuperado, ratificando el diagnóstico de Carson. “En nuestro entorno cabe citar el caso de la nutria euroasiática, cuyo número se ha multiplicado en Europa tras la prohibición de los pesticidas más agresivos, algo que no ocurre en Marruecos, donde se siguen empleando a discreción”, especifica Delibes. “Hemos encontrado rastros de DDT incluso en los pingüinos de la Antártida, pero, afortunadamente, en niveles tolerables”, añade Ferrer. “Los estragos causados por ese insecticida se han reducido a un recuerdo desagradable”, concluye.

Sin embargo, no todo son buenas nuevas en este aniversario. “Cincuenta años más tarde, la primavera no ha sido silenciada, pero por doquier hay signos de perturbaciones severas y sutiles”, advierte Elizabeth Grossman, columnista de *The Washington Post* y adalid de la química verde. “Los mares están siendo testigos de los horrores en tierra firme descritos en *Primavera silenciosa*”, dice el oceanógrafo Callum Roberts, de la Universidad de York (Canadá). “Se han convertido en sumideros de los agentes químicos arrastrados por los ríos. Estos deberían sedimentarse en el lecho oceánico, pero la pesca intensiva remueve continuamente esas toxinas, mezclándolas con el agua”.

En el balance, una cosa es cierta: el silencio de aquella primavera imaginaria resultó atronador. No faltan errores en sus páginas: el petirrojo, por ejemplo, no se hallaba en apuros por culpa de los pesticidas; ni exageraciones: el aumento del cáncer en los años cincuenta del siglo pasado no era imputable a la química, sino a la longevidad y al tabaquismo; ni omisiones: los millones de vidas salvadas por el DDT. No obstante, como dice Delibes de Castro, “esos fallos no me escandalizan, porque el grueso de la obra sigue siendo válido”. Eximia divulgadora científica para unos, pionera del alarmismo ecologista para otros, sea cual fuere el juicio que merezca Rachel Carson, el quincuagésimo aniversario de su libro más famoso no debe dejar indiferente a nadie. ■

El conocimiento acumulado por un siglo de investigación en radiaciones nucleares es impresionante, pero aún es mucho mayor lo que queda por saber, algo que se pone de manifiesto cuando se intenta profundizar con detalle en la física y el comportamiento de los materiales radiactivos y sus efectos. Una adecuada gestión de los residuos radiactivos y de la seguridad nuclear y radiológica exige un conocimiento cada vez más detallado de muchos de esos procesos. De ahí la convergencia que inevitablemente se produce entre los organismos dedicados a ambas misiones, Enresa y el Consejo de Seguridad Nuclear, que han tendido un puente de colaboración en materia de investigación científica y desarrollo tecnológico. ■ POR **Ignacio F. Bayo y Lorena Cabeza**, DIVULGA.

*Crece y se refuerza la colaboración científica y tecnológica
entre Enresa y el Consejo de Seguridad Nuclear*

Un puente de I+D

EL CORAZÓN DE UNA CENTRAL NUCLEAR lo forman el reactor y el elemento que lo contiene, la vasija. Ese espacio, situado en el edificio de contención y sólidamente aislado del mundo exterior, es durante decenios el escenario de una singular obra de teatro en la que se recrea un ambiente infernal, con temperaturas muy elevadas y una permanente e intensa radiación recorriéndolo e impactando sobre las paredes. Los seres vivos no pueden sobrevivir en semejantes condiciones, e incluso los materiales que forman la vasija y el edificio de contención, metales especiales y hormigón de altísimas prestaciones, deben ser cuidadosamente seleccionados para poder cumplir su misión: impedir que la radiación alcance el exterior y pueda afectar a las personas y al medio ambiente. La cuestión es saber si su fortaleza se resiente con los años, entre otras cosas porque,

con el proceso de alargamiento de la vida de las centrales que algunos países han puesto en marcha, conviene conocer el riesgo de aparición de debilidades estructurales en la vasija y en el edificio que la contiene.

En el caso de la central española José Cabrera, situada en Almonacid de Zorita (Guadalajara), el corazón está ahora abierto de par en par, como en una operación quirúrgica a vida o muerte. Tras cesar su actividad en 2006, José Cabrera está en pleno proceso de desmantelamiento y la recogida de sus materiales constituyentes puede proporcionar datos vitales para responder sobre la respuesta de metales y hormigones a los efectos de la intensa radiación y las elevadas temperaturas soportadas durante largos periodos, en este caso 38 años de actividad. “Conocemos bien la historia de la temperatura y de la intensidad y tipo de

irradiación (alfa, beta, gamma, neutrónica) del interior de la vasija; incluso diferenciando con cierta precisión entre distintos puntos, a partir de los datos de las recargas e incidentes. Por eso se planteó analizar muestras de internos (materiales metálicos del reactor y su entorno) de diferentes zonas para determinar con precisión esos efectos”, dice Julio Astudillo, responsable del Departamento de I+D de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa).

La ocasión es ideal, porque José Cabrera es de las pocas centrales en todo el mundo que se encuentran en este punto crucial del desmantelamiento. Por eso, el Instituto de Investigación en Energía Eléctrica (EPRI) de Estados Unidos, una institución privada perteneciente a las eléctricas estadounidenses, se interesó por la cuestión. Se ha puesto en marcha un proyecto, con la participación del



Julio Astudillo, responsable de I+D de Enresa, y José Manuel Conde, jefe de la Unidad de Investigación y Gestión y Conocimiento del CSN.

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Enresa, EPRI y entidades de otros países, para analizar piezas de acero perfectamente definidas y semejantes a las que se emplean en otras centrales. “Enresa se encarga de cortar estos elementos internos y de su extracción. El análisis se llevará a cabo en Studsvik (Suecia), porque aquí en España no hay capacidad para hacerlo”, señala Astudillo. La idea es empezar los cortes a finales de 2013, porque antes hay que solucionar numerosos problemas para ajustar los trabajos a las condiciones del desmantelamiento.

Además de los aceros, el comportamiento del hormigón tiene también gran importancia para modelizar el comportamiento de estructuras críticas en este tipo de instalaciones. “Para Enresa es importante porque en el Almacén Temporal Centralizado (ATC, que albergará el combustible gastado procedente de todas las centrales nucleares españolas) vamos a tener hormigones expuestos a altas temperaturas y radiación durante periodos largos”, apunta el responsable del Departamento de I+D de Enresa. En este proyecto participan, además, Endesa, Gas Natural Fenosa (antigua propietaria de José Cabrera) y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC). En este caso, al ser materiales de baja y media actividad, podrán ser analizados en España.

El estudio de los materiales obtenidos del desmantelamiento de esta central es una de las líneas más fructíferas de la colaboración que actualmente existe entre Enresa y el CSN, pero hay muchas más. Los primeros pasos se dieron a mediados de los años noventa y se centraron en “tecnologías que necesitábamos ambas partes, pero normalmente que no estuvieran sujetas a un proceso de licencia”, explica Astudillo. La cuestión era evitar que el CSN se sintiera “juez y parte”, dado que es quien concede o informa las solicitudes de licencia. Por eso, durante más de una década la colaboración se ciñó a temas muy generales, como estudios de sismicidad de emplazamientos. Desde 2008, sin embargo, la colaboración se ha reforzado, entre otras cosas por la aparición de la Plataforma Ceiden, promovida por el Ministerio de Industria y que agrupa a todas las entidades, públicas y privadas, que realizan labores de I+D en el ámbito nuclear y radiactivo.

Seguridad a cien años vista

Otra de las líneas de investigación cruciales en el ámbito que comparten Enresa y el CSN es la relacionada con el combustible gastado y su comportamiento, tanto durante su transporte como en su almacenamiento en seco, de cara a la futura gestión del ATC. Según José Manuel Conde, jefe de la Uni-

dad de Investigación y Gestión del Conocimiento del CSN, “hasta ahora se trata de la línea de investigación más prolongada en el tiempo y, muy probablemente, la que más recursos ha recibido”. Dicho programa, que comenzó en 2004, está coordinado por la Empresa Nacional del Uranio (Enusa).

Este proyecto, que busca garantizar la integridad del combustible gastado durante todo el proceso asociado al ATC, contempla dos aspectos. Por un lado, el análisis de la composición isotópica del propio combustible una vez finalizada la irradiación. Por otro, el estudio de la degradación de las vainas que alojan el combustible.

La vaina metálica que contiene las pastillas de combustible es el lugar en el que se producen las reacciones nucleares del reactor. Ya durante la operación en el reactor sufre una serie de fenómenos (oxidación, deformación, pérdida de espesor, etcétera) que suponen una primera fase de degradación, la cual afectará a su comportamiento en el futuro. El paso del tiempo y el contacto con el combustible harán el resto. La investigación emprendida por Enresa y el CSN persigue conocer con precisión cuál es la alteración de las propiedades mecánicas de la vaina para después modelar este comportamiento y saber, así, si estos elementos resistirán a eventos como posibles accidentes durante el transporte al ATC o cuál será su esta-

Areniscas para la calidad del agua

Vivimos rodeados por radiaciones, incluidas aquellas capaces de arrancar electrones a los átomos de la materia, es decir, las ionizantes. Los radionúclidos naturales se encuentran en el aire que respiramos, en los alimentos que ingerimos y en el organismo de todos los seres vivos, incluidos nosotros mismos. También en el agua que bebemos se hallan, invisibles, estos elementos radiactivos cuyos posibles efectos perniciosos se deben no tanto a su origen, sea este natural o no, como a lo elevado de sus niveles.

Reducirlos en lo posible, aun cuando sus límites se encuentren dentro de lo tolerable y lo legalmente permitido, es uno de los objetivos compartidos entre la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Por ello han llevado a cabo un proyecto conjunto dirigido a reducir los niveles de contaminación radiactiva presentes en el agua, especialmente en aquellos lugares de España con mayor grado de contaminación radiactiva natural.

El proyecto, en el que colaboran las universidades del País Vasco y Extremadura, busca desarrollar un método sencillo para reducir el contenido de uranio y radio de las aguas de poblaciones ubicadas en estos lugares. “Finalmente, determinamos que, modificando algunos procesos en el tratamiento de aguas, gran parte del uranio y del radio quedaban retenidos simplemente haciendo pasar el líquido por unos materiales muy frecuentes y baratos en España, de base arenisca”, explica Julio Astudillo, responsable del Departamento de I+D de Enresa.

La aplicación de esta tecnología ha sido tan útil que Enresa y el CSN se aplican ahora en el desarrollo de un segundo proyecto de tratamiento de los lodos retirados, que son, ahora sí, residuos radiactivos procedentes de la limpieza y concentración del radio y el uranio presentes en el agua. La meta, como explica José Manuel Conde, jefe de la Unidad de I+D del CSN, es “inertizar en lo posible ese material, es decir, hacer que deje de ser radiactivo y pueda ser considerado de nuevo como residuo convencional”. Todo ello es un excelente ejemplo, a su juicio, de las colaboraciones más novedosas y recientes entre las dos instituciones clave en nuestro país en el ámbito de la seguridad nuclear. ■



Enresa y CSN desarrollan un proyecto para reducir la contaminación radiactiva presente en el agua.

do tras un almacenamiento en seco, durante un periodo del orden de cien años, sometidos a condiciones extremas de temperatura y radiación.

La investigación, por tanto, consiste en someter a las vainas que albergan el combustible a toda una suerte de maltratos con el fin de comprobar hasta qué punto resisten las peores condiciones imaginables. Una vez que ya se puede estimar cuál será su comportamiento, se construyen modelos que se contrastan con el comportamiento real del material irradiado.

En cuanto a la línea de investigación dedicada a la caracterización isotópica

del combustible, su objetivo consiste en el conocimiento en profundidad de la naturaleza del combustible gastado en los reactores nucleares. “El inventario de los radionúclidos que tenemos varía en función del grado de quemado y de la colocación dentro del reactor. Podemos calcularlo, pero no deja de ser una estimación”, dice Julio Astudillo. Por ello es necesario analizar efectivamente las muestras de combustible irradiado para constatar la validez de los cálculos realizados y dotarlos de mayor

precisión. Hasta ahora, estos análisis se han hecho, de nuevo, en los laboratorios suecos de Studsvik —donde ya había muestras de combustible español, con todas las ventajas de tipo logístico que eso supone—, pero la meta es, en un futuro próximo, realizar esta caracterización isotópica en los laboratorios que albergará el ATC. Para el combustible no irradiado, se utiliza el labora-

radiactivo en estos lugares ha sido la apertura de las fronteras y el aumento progresivo de los envíos de materiales entre las distintas naciones de la Unión Europea.

Calibración neutrónica nacional

La práctica totalidad de los detectores de neutrones que se encuentran en centrales nucleares, hospitales o fábricas de combustible nuclear de nuestro país han sido calibrados, paradójicamente, fuera de nuestras fronteras. Para resolver esa incongruencia, Enresa y el CSN, en colaboración con el Ciemat, Enusa y empresas como Tecnatom y Geocisa, han resuelto la creación y puesta en marcha del que será, en un futuro próximo, el laboratorio de calibración neutrónica de referencia en España. El proyecto ya casi está finalizado, por lo que pronto el país tendrá la capacidad suficiente para cubrir la demanda existente por parte de instituciones y empresas nacionales.

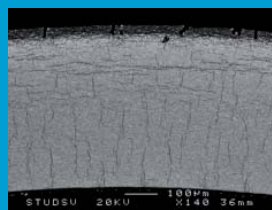
“Hasta ahora, en España solo había unidades de investigación en la Escuela de Ingenieros Industriales en Madrid —dice Julio Astudillo—. El Ciemat tenía el *know-how*, pero el país necesitaba más capacidades para hacer este tipo de calibraciones”. El impulso final para la creación de este laboratorio vino a raíz del desmantelamiento de la planta de José Cabrera, cuando hubo un fuerte incremento de la demanda de este tipo de análisis. El desarrollo de dicho proyecto ha estado unido de nuevo a la Plataforma Ceiden, en la que se ha formado un grupo de usuarios potenciales, no solo en cuanto a la calibración, sino también en el conjunto de las líneas tecnológicas que se van a desarrollar en él.

Como se ve, temas de investigación no faltan, y la mayor parte de las veces son de común interés para ambas instituciones, por lo que la mejor forma de afrontarlos es tendiendo puentes entre ellas. Como dice Julio Astudillo, “hay temas, como el de hormigones, que nosotros hubiéramos hecho en cualquier caso, pero es bueno que tengamos esta colaboración sistemática, eficiente y cordial para resolver los problemas de la mejor manera para todos”.

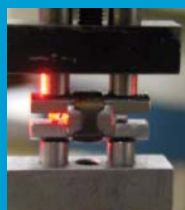
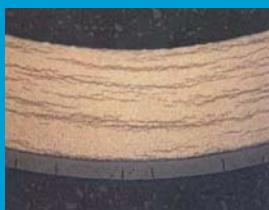


Probeta para ensayo de fluencia mecánica.

Ensayo de compresión anular.



Metalografías de vaina irradiada (izquierda) y no irradiada (derecha).



Ensayo de tracción anular.

Diferentes pruebas con vainas de combustible dentro del programa conjunto CSN-Enresa-UCM-ETSICCP-Enusa.

torio de la UCM-ETSICCP, en el que participan Enusa, el CSN y Enresa.

La chatarra radiactiva, controlada

Por error en la inmensa mayoría de los casos, o de manera intencionada en una pequeña minoría, lo cierto es que en ocasiones se *cuelan* residuos de media o baja actividad en las chatarras que entran a las acerías para fundición, así como en el tráfico de mercancías de puertos y aeropuertos de todo el mundo. Se trata de un nuevo campo de interés común para el CSN, responsable último de la protección del público frente a las radiaciones ionizantes, y Enresa, a cargo de la gestión de los residuos. Por ello, ambos desarrollan una línea de investigación destinada, primero, a mantenerse en la avanzadilla mundial del conocimiento en el ámbito de los detectores de material radiactivo, y segundo, a desarrollar nuevos detectores más eficientes y sensibles que los existentes hasta ahora.

Como explica José Manuel Conde, “la idea es conocer bien esos equipos y mejorarlos. Es decir, generar un cuerpo de conocimiento que permita formar a expertos en el uso de estos aparatos y, a continuación, desarrollar nuevos pórticos de análisis”. El proyecto, que se lle-

va ejecutando desde hace diez años, ha avanzado significativamente en ambas líneas y ya se han instalado, de hecho, un buen número de nuevos detectores en lugares como acerías, fundiciones y puertos. Los pórticos de detección desarrollados han de ser lo suficientemente rápidos como para operar sin interferir en las operaciones de movimientos de materiales en infraestructuras tan complejas como puertos o aeropuertos con un incesante tráfico internacional. Y han de ser, además, extremadamente sensibles. ¿Cuánto? Conde lo ilustra con un ejemplo: “Hace poco me llamaron para notificarme que se había detectado uranio 232-238 y radio 226 en un contenedor que iba vacío y en el que quedaba solo un poco de arena, y lo *cazaron*”.

En los últimos veinte años, el control del material radiactivo ha mejorado de manera exponencial, en parte debido al propio avance tecnológico, que hace posible controlar el paso de camiones y contenedores en empresas, puertos y aeropuertos sin interferir con su actividad habitual, sin olvidar el impacto y el cambio de mentalidad surgidos a partir de los atentados del 11-S. Otro factor que ha influido en el fortalecimiento del control del material

Juan Ignacio Cirac (Manresa, Barcelona, 1965) es probablemente el físico español con mayor proyección internacional. Sus trabajos en los campos de la información cuántica, la teoría cuántica de la luz y la física atómica le valieron el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica en 2006. Desde 2001 tiene su laboratorio en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Garching, Alemania), cuya División Teórica dirige y donde ha sentado los fundamentos del ordenador cuántico. En la actualidad, Cirac está implicado, junto a un equipo que es “lo mejorcito” del mundo, en un proyecto de simulador cuántico que dará mucho que hablar, aunque él prefiere no soltar prenda. A pesar de ser uno de los investigadores más solicitados, mantiene contacto con su país de origen, al que acude para participar en jornadas y seminarios, y donde es codirector de Nest, el proyecto de mecenazgo más importante de la historia científica de España. ■ POR **Concha Barrigós**, PERIODISTA.

*Juan Ignacio Cirac,
director del Instituto
Max Planck de Óptica
Cuántica*

“Hasta que los ordenadores cuánticos lleguen al mercado pasarán veinte, treinta o cincuenta años”

—Este verano ha participado en Bilbao en las jornadas ‘Ideas para cambiar el mundo’, donde ha debatido con personajes tan diversos como el cineasta británico Colin Vaines, el filósofo polaco Zygmunt Bauman o la periodista estadounidense Amy Goodman. Cuando era un estudiante de Física en la Universidad Complutense de Madrid, ¿pensó alguna vez que llegaría a ser ponente en una reunión de cerebros semejante?

—No. Nunca se me pasó algo así por la cabeza [risas].

—¿Y cuáles son las ideas que le parece que podrían cambiar el mundo?

—La ciencia puede cambiar el mun-

do. Para bien o para mal. La ciencia tiene cosas buenas y malas, pero si uno es capaz de aprovechar las cosas buenas y administrarlas de forma adecuada, puede cambiar el mundo. Participar en el encuentro de Bilbao me resultó muy satisfactorio. Conocí a gente muy curiosa porque yo, normalmente, trabajo con científicos y en aquella ocasión estaba rodeado de arquitectos, productores de cine, filósofos...

—¿Qué sensación tuvo? ¿Que, quizá, usted está encerrado en un concepto y una interpretación del mundo muy concretos?

—Solo pude acudir un día de los tres

que duraban las jornadas, porque tenía que participar en un congreso en otro lugar. El día que participé me gustó mucho la iniciativa, porque estuve escuchando a Bauman y a gente muy conocida; me gustaría repetir la experiencia, pero con más tiempo. No cada semana, claro, porque mi trabajo es verdaderamente científico y no dispongo de mucho tiempo para otras cosas, pero una vez cada dos o tres años estaría bien.

—Su proyecto ha sido durante mucho tiempo el desarrollo de un ordenador cuántico, esas increíbles construcciones de ocho iones metidas en laboratorios enormes, en



los que unos equipos juntan esos átomos en una cámara de vacío, se manipulan, se pasan de ceros a unos y se crean y destruyen universos...

—Trabajo en investigación científica. Lo que hago, junto a mi equipo, es descubrir nuevos fenómenos, establecer nuevos principios, ver que están bien, que son correctos y que pueden servir para algo. Eso es lo que hace mi comunidad. Cuando eso ocurre, otra gente empieza a desarrollarlos, a decidir si van a aplicarlo a esto, a lo otro... Eso le corresponde a otra comunidad. En cuanto a la computación cuántica, existen prototipos, lo que pasa es que

hasta que se desarrollen y puedan llegar al mercado pueden pasar veinte, treinta o cincuenta años. Los plazos son impredecibles: todo tarda mucho tiempo y estos ordenadores se utilizan para cálculos muy grandes. Seguimos en contacto con la gente que está desarrollando los ordenadores cuánticos pero, ahora, nosotros ya nos estamos concentrando en otras preguntas y otros fenómenos.

—¿En qué?

—En el mundo microscópico ocurren cosas muy extrañas y algunas de ellas son muy difíciles de describir. Por ejemplo, cuando tienes un material y se enfría

mucho, empieza a conducir la electricidad de una forma muy especial, sin gastar, y queremos entender por qué. Hay que hacer unas teorías y verificarlas con los experimentos. Estamos viendo unas teorías y haciendo experimentos sobre ello.

—¿Tienen que ver con la búsqueda del cero absoluto?

—No. Lo que pasa es que cuando te vas acercando, cuando se baja mucho la temperatura, pasan cosas extraordinarias. Tenemos que entenderlas y describirlas para entenderlas.

—¿Los fundamentos de la teoría de ordenación cuántica están establecidos?

—Lo que es el ordenador cuántico, sus bases fundamentales, sí; ahora lo que hace falta es ponerlo en marcha. Hay cosas que nos consultan, para saber cómo algo funciona mejor o peor; pero ya no son investigaciones tan básicas como las anteriores. Existen otros campos, como los simuladores cuánticos, que están relacionados con lo anterior y ahí sí que hace falta concentrarse y es en lo que estamos trabajando ahora.

—Básicamente, ¿en qué consisten los simuladores cuánticos?

—Es como dominar el mundo microscópico para llevar a cabo simulaciones de materiales que no sabemos hacer con ordenadores normales.

—¿Cuánta gente forma su equipo?

—Alrededor de veinticinco personas.

—Qué lujo...

—La verdad es que sí. No porque sea un número muy grande, sino por la calidad. Son de lo mejorcito del mundo, sin ninguna duda.

—¿Su carrera obedece a su talento o tuvo mucha suerte?

—Ha habido muchas coincidencias en mi carrera. En primer lugar, he tenido la suerte de trabajar en la Universidad de Castilla-La Mancha [de 1991 a 1996] y de que me dejaran completa libertad para que me dedicara a lo que quisiera; llegar a Estados Unidos [1993-1994] y encontrarme en el meollo de la investigación en temas muy particulares, y empezar a trabajar en una cuestión a la que nadie más prestaba atención por aquel entonces... Para que las cosas salgan bien tienes que tener suerte y trabajar mucho, debes

Un nido de cerebros

La de Juan Ignacio Cirac es una carrera de éxitos imparable. Se licenció en Física Teórica por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en 1988; luego, de 1991 a 1996, fue profesor titular de la Universidad de Castilla-La Mancha (Ciudad Real); durante 1993 y 1994, trabajó como investigador postdoctoral en el Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA) de la Universidad de Colorado (EE.UU.) y como catedrático, entre 1996 y 2001, en el Institut für Theoretische Physik en la Universidad de Innsbruck (Austria).

Cirac empezó a colaborar con el Instituto de Ciencias Fotónicas de Barcelona (ICFO), con sede en Castelldefels, desde su creación, en 2002, casi al tiempo que se hacía cargo de la División Teórica del Instituto Max Planck para la Óptica Cuántica (Max-Planck-Institut für Quantenoptik). Por eso está personalmente empeñado en que el Nest tenga éxito, un centro de I+D en el que se han invertido ocho de los dieciséis millones de euros que la Fundación

Cellex donó al ICFO. El Instituto, creado por la Generalitat y la Universitat Politècnica de Catalunya, está especializado en el estudio de las ciencias y tecnologías de la luz y en él trabajan 220 investigadores de 50 nacionalidades.

La donación de la Fundación Cellex, promovida por el filántropo Pere Mir, es la mayor aportación de mecenazgo en la historia de la ciencia en España, superando los 15 millones de euros que la Fundación Esther Koplowitz dio al Hospital Clínic de Barcelona para la puesta en marcha de un centro de investigación.

El “nido (*nest*) de cerebros” tiene 4.000 metros cuadrados, que se suman a los 9.000 de los que ya disponía el ICFO, y está previsto que con su programa de atracción de talentos se contrate a cincuenta investigadores de todo el mundo. El Nest-Cellex, del que Cirac es codirector, tendrá siete jefes de grupo, elegidos por medio de un concurso, en cuyo entorno se aglutinará ese vivero de investigadores.

“Se les da una plaza, se les evalúa pasado un tiempo y si superan el examen pueden obtener un puesto fijo. Tienen la posibilidad de quedarse —explica Cirac—. A lo

disponer de ciertas habilidades, como el dominio de la física y las matemáticas...; pero lo más importante es haber estado en el sitio apropiado en el momento apropiado y también haber pensado en dirección contraria de la que pensaba entonces todo el mundo.

—*Luego llegan premios como el Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica o la Medalla Franklin de Física. ¿Se sorprende de su propia trayectoria?*

—Lo que veo es que he sido una persona que ha trabajado mucho. Ahora trabajo diez o doce horas todos los días —Cirac lo dice como si hubiera bajado mucho el ritmo—. Cuando estaba en Estados Unidos, trabajaba todo el día, aunque de vez en cuando salía a cenar y hacía deporte.

—*Una vez al año...*

—No. Más a menudo [risas].

—*Es el codirector del mayor proyecto de mecenazgo científico de la historia de España, el Nest-Cellex, en Castelldefels (Barcelona). ¿Eso es como la Masía del Barça en ciencia?*

—En Cataluña, sobre todo, existen algunos institutos que tienen una forma de funcionar distinta a la de la universidad y otros centros de investigación

en España. Son peculiares en el sentido de que son muy internacionales y quieren competir con los principales centros del mundo. Colaboro con uno de estos centros, que es el Instituto de Ciencias Fotónicas de Barcelona [ICFO], y allí, en algún momento, se pensó cómo se podría competir con algunos de los mejores centros de investigación en intentar atraer a los mejores científicos y vimos que es muy difícil, si no imposible, traerte a Barcelona o a Madrid a una persona que esté en la Universidad de Harvard [EE.UU.] o en Alemania, porque no se le puede ofrecer las mismas condiciones. Tampoco existe la tradición que hay en otros países. Lo que pensamos es que una forma de ganar esa batalla es intentar atraerlos cuando todavía no han destacado del todo. Intentar encontrar a la gente que es muy buena, pero que tiene veinticinco o treinta años. Esa es la cuestión: buscar a la gente que, con toda seguridad, si esperamos un poco, se llevarán los mejores centros del mundo, y ofrecerles condiciones atractivas.

—*¿Esto obedece a un empeño personal o a que el nivel de la ciencia en España ha mejorado tanto en los últimos años que ya es posible salir al mercado?*

—La ciencia ha mejorado mucho en toda España en los últimos quince años y, en particular, en los últimos diez, en lugares como Cataluña o Madrid. Cataluña es un sitio muy especial, porque hubo un gobierno allí que apostó por la ciencia de calidad y ahora están recogiendo los frutos, y por eso se pueden hacer proyectos como el Nest-Cellex para intentar competir con los mejores del mundo.

—*A pesar de los recortes...*

—Los recortes pueden estropear completamente el plan. Uno puede ser todo lo bueno que sea posible, pero si no tiene el dinero para investigar o para pagar a la gente de su equipo no va a poder competir.

—*¿Se sigue sintiendo muy español? ¿Le conmueve especialmente la forma en la que la crisis está afectando a España?*

—Sí, sígo mucho las noticias. Soy español, aunque lleve viviendo mucho tiempo en el extranjero. Me preocupa la situación de España.

—*Seguro que usted es capaz de explicar lo que es el bosón de Higgs. ¿Cómo vive un descubrimiento así un científico? ¿Cómo se lo explica a sus hijos?*

—La humanidad quiere saber desde hace mucho tiempo de qué está com-

mejor son tan buenos que luego los fichan en Harvard, pero el tiempo que hayan estado en Barcelona habrán hecho una ciencia muy buena. Con eso ya estamos contentos”.

El ICFO se orienta a las investigaciones con luz, especialmente láser, con aplicación en salud, energía e información, centradas estas últimas en las comunicaciones por fibra óptica. Del Instituto han surgido cuatro *spin-off* y, además, han desarrollado varias patentes, cuya explotación les sirve para obtener algunos ingresos, aunque todavía incipientes. Los investigadores del ICFO han descubierto un dispositivo fototransistor basado en el grafeno —el supermaterial de propiedades extraordinarias que revoluciona la industria de la optoelectrónica— que han combinado con unos puntos cuánticos (nanocristales), en un tándem ultrasensible a la luz. Esta tecnología *made in Spain* ha seducido ya a medios como *The Economist*, que sostiene que se trata de un paso hacia la nueva generación de electrónica de consumo, basado en fotodetectores flexibles, ligeros y eficientes, con aplicación en sistemas de visión nocturna y de imagen biomédica. ■

puesto el Universo, cuáles son las partículas más pequeñas de las que sale todo lo que conocemos. Con el tiempo, hemos ido viendo que estamos compuestos de moléculas; las moléculas, de átomos; los átomos, de núcleos... De momento tenemos el capítulo prácticamente cerrado, porque sabemos cuáles son las partículas elementales, y en ese capítulo que queremos cerrar nos faltaba una, que es ese bosón. Ahora se puede cerrar ese capítulo y abrir el siguiente, ir más allá y ver si existen otras partículas o qué pasa con la gravedad. Eso cierra un capítulo que se llama el “modelo estándar”. Podemos decir que hemos entendido los fundamentos básicos de la materia.

—¿Se sintió especialmente emocionado con el descubrimiento?

—No es mi campo de investigación, pero uno se contagia porque tengo muchos colegas que trabajan en él.

—El anuncio fue algo así como ganar la *Champions de la Física*... ¿Le da pena que el fútbol esté tan valorado por la sociedad y la ciencia tan poco?

—Me gustaría que la ciencia estuviera más valorada, pero que el fútbol lo esté tanto... La verdad es que no me meto, porque a mí me gusta verlo. Lo que pasa



“Lo más importante es haber pensado en dirección contraria a lo que pensaba todo el mundo”

es que me da un poco de pena que en este deporte se paguen esos salarios tan elevados, pero eso también es comprensible en el marco de la economía de mercado en que vivimos.

—¿Cómo podría volver a ocupar portadas la ciencia, como ocurría con Einstein allá por 1917?

—Eso no se hace de un día para otro. Alemania, el país que conozco mejor, está empapada de ciencia; por todas partes aparece la ciencia de una forma u otra desde el comienzo del colegio. Hay que intentar darle prestigio a la ciencia y a los profesores. Con el tiempo, eso se ha perdido en España y no sería malo recuperarlo.

—¿A sus hijos les gusta la ciencia?

—Mis hijos tienen dieciocho, dieciséis y siete años. La mayor estudia Medicina, la segunda no sabe aún en qué carrera se matriculará y al tercero le gusta sobre todo el fútbol; pero, sí, en general, creo que tienen un cierto interés por la ciencia.

—¿Y a usted qué le interesa cuando no está en el laboratorio?

—Me gusta el deporte, sobre todo jugar al fútbol. Y también me gusta verlo. Me reparto entre el Real Madrid y el Barcelona.

—Es un ser excepcional, está claro.

—[Risas] No es muy normal, no. Luego leo bastante, sobre todo literatura clásica española o histórica y oigo música.

—Su ordenador será, como mínimo, un superordenador...

—No, de verdad que no; es como el de todo el mundo.

—Entonces no es porque sepa más secretos que los demás...

—No. Cualquier niño sabe manejar mejor que yo el ordenador y el móvil. Eso es seguro.

—¿Sin qué o quién no conoceríamos el mundo como es?

—Sin Newton, Einstein y Planck. El primero porque formuló la ciencia con leyes, a través de las cuales se puede predecir lo que ocurre. Einstein porque determinó que ninguna ley es cierta, que hay supuestos en los que no se cumplen, como la Teoría de la Relatividad. Y Planck por ser el impulsor de la física cuántica y por debilidad profesional.

Y termina la entrevista deshaciéndose en disculpas porque lleva “un ratito” esperándole en su despacho un visitante. Un premio Nobel, justifica, como si hiciera falta. ■

Los estudios hidrogeológicos, químicos y geotécnicos son clave para desarrollar este tipo de filtros eficaces en el control de sustancias radiactivas como el cesio 137

Diseño de una barrera reactiva permeable para eliminar contaminantes radiactivos

Como consecuencia de las actividades industriales se generan residuos que pueden contaminar todo tipo de aguas. Junto a los métodos tradicionales de aislamiento y extracción de las aguas contaminadas existe una alternativa menos costosa: la construcción in situ de barreras o filtros permeables. Este es el método elegido por Enresa para un proyecto cuyo objetivo es eliminar el isótopo radiactivo cesio 137 de una zona de marisma en Andalucía. ■ POR **Carlos Ayora y Jesús Carrera**, IDAEA-CSIC, Y **Miguel García-Gutiérrez**, CIEMAT.

LOS RESIDUOS INDUSTRIALES CONTIENEN sustancias que, por lo general, son fácilmente lixiviables y pueden ser fuente de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. El aislamiento y la extracción de las aguas contaminadas para su tratamiento fuera del sitio son efectivas pero implican un elevado coste energético y económico. Sin embargo, existe otra opción, las tecnologías que tratan esas aguas contaminadas allí donde se encuentran. De este modo, la degradación o la fijación del contaminante se producen en el mismo lugar de la contaminación, evitando así su migración a los acuíferos y los cursos de aguas superficiales.

En las dos últimas décadas se han desarrollado diseños de ingeniería que posibilitan la instalación de los materiales adecuados para el tratamiento in situ, tanto en el medio subterráneo como en la superficie del terreno. En el primer caso, el diseño se basa en la construcción de barreras o filtros permeables, basados en la excavación de una zanja y su posterior relleno con los materiales adecuados pa-

ra cada caso. En la figura 1 se muestra un esquema del funcionamiento de una barrera reactiva permeable.

Este tipo de tratamiento requiere que los materiales de relleno reúnan seis características. En primer lugar, deben ser reactivos, por tanto, capaces de provocar reacciones químicas durante el tiempo de residencia del agua en el sistema. Además han de ser permeables, de forma que su permeabilidad sea mayor que la de los materiales del entorno y favorezca el flujo del penacho contaminante a través de ellos. En tercer lugar, estos materiales tienen que ser pasivos, es decir, que funcionen de manera natural sin necesidad de cuidado o supervisión continuos. La cuarta característica es la estabilidad, ya que deben permanecer activos durante el tiempo suficiente para que se amortice la inversión. Asimismo, serán accesibles y baratos, pues la construcción de una barrera requiere, en general, grandes cantidades de relleno, de modo que su disponibilidad y coste son parámetros muy importantes para su viabilidad. En sex-

to y último lugar, deben ser seguros y compatibles con el medio ambiente, de modo que no se formen nuevos productos contaminantes y que su manejo no implique riesgos para la salud.

Eliminación por degradación química o biológica

Dependiendo del material que se emplee en la barrera, la retención o eliminación del contaminante se producirá mediante su degradación química en una nueva sustancia no peligrosa, su precipitación como un nuevo sólido o su adsorción química en la superficie del relleno.

La degradación química o biológica se produce mediante reacciones de oxidación-reducción al reaccionar el contaminante con el material de relleno. El caso más común es la reducción química de disolventes orgánicos halogenados (TCE, DCE, CTC, etcétera) en nuevos compuestos solubles no tóxicos mediante la oxidación de virutas de hierro metálico. La inmensa mayoría de las barreras reactivas instaladas en Norteamérica y Europa se basan en este

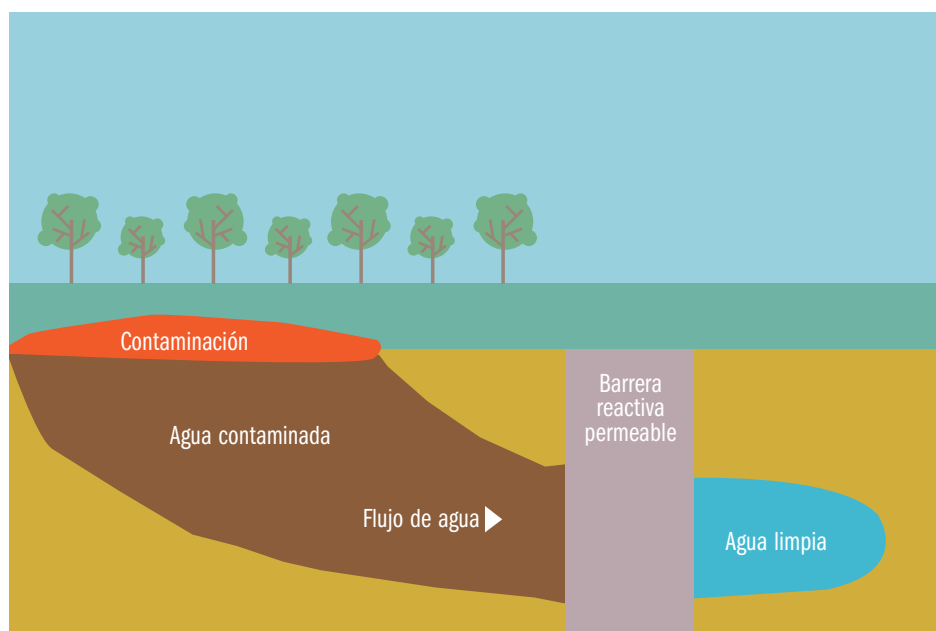


Figura 1. Esquema del principio de funcionamiento de una barrera reactiva.

proceso. Apenas presentan inconvenientes importantes, excepto el recubrimiento progresivo de los fragmentos de hierro por una capa de óxido y la pérdida de permeabilidad por la generación de burbujas de hidrógeno procedentes de la reducción de la propia agua. Las virtudes de hierro también se han empleado con éxito en la reducción de compuestos solubles de Cr(VI) y U(VI) y su fijación como precipitados insolubles de Cr(III) y U(IV).

El uso de virutas de hierro ha fracasado, sin embargo, en la degradación de NO_3^- . En este caso, la reducción es exhaustiva a NH_4^+ , siendo el amonio un contaminante más tóxico que el nitrato original, por eso se ha intentado la degradación biológica no exhaustiva del nitrato. Para lograrlo se hace pasar el agua por un filtro con residuos vegetales en lugar de las virutas de hierro, y el resultado es que el carbono orgánico se oxida y el nitrato se reduce a nitrógeno, un gas inocuo. Este proceso está catalizado por bacterias desnitrificantes que viven a expensas de la energía de la reacción. De forma muy semejante, aguas ácidas con mucho sulfato y metales pesados se hacen pasar por barreras con materia orgánica. Las bacterias sulfato-reductoras transforman el SO_4^{2-} del agua en H_2S , que forma sulfuros insolubles con muchos metales, fijándolos a la barrera.



Figura 2. Precipitados de sulfato-hidróxidos de hierro (color rojo superior) y de aluminio (color blanco inferior) en una balsa de infiltración rellena de una mezcla de calcita y virutas de madera en Mina Esperanza, Huelva.

Existen pocos casos de barreras biológicas a escala real y aunque el proceso planteado es impecable, el principal problema es que la cinética de los procesos biológicos es lenta y se requiere que el agua permanezca dentro de la barrera largo tiempo (semanas) para que la reacción tenga lugar de forma significativa. Esto solo es posible con flujos de agua muy lentos o con barreras excesivamente anchas para los sistemas de construcción habituales.

Precipitación y adsorción

La fijación de contaminantes también se puede llevar a cabo mediante su precipitación en compuestos poco solubles, algo que se logra con el aporte al agua contaminada de compuestos que favorecen la precipitación. El caso más común es la adición de alcalinidad a aguas ácidas con metales. En la mayoría de los casos se emplea la disolución de carbonato cálcico, aunque otros compuestos como el óxido de magnesio no deben descartarse. La neutralización de las aguas favorece la precipitación de hidróxidos de Fe(III) y Al, así como carbonatos de Fe(II), Mn, Cu, Cd, Zn, Pb, etcétera. La barrera de Aznalcóllar, así como las balsas de infiltración de la cuenca del Odiel, diseñadas para tratar aguas ácidas, se basan en este principio (ver figura 2).

Otro tipo de barrera de precipitación interesante consiste en la adición, además de alcalinidad, de PO_4^{3-} y la precipitación de fosfatos muy poco solubles de metales, como el Pb o el Zn. El PO_4^{3-} proviene de la disolución de espinas de pescado, constituidas en su mayor parte por fosfato cálcico. Existen pocas barreras reactivas de precipitación. Sus problemas principales provienen de la propia formación de precipitados ya que estos obturan los poros del relleno disminuyendo la permeabilidad, o bien recubren los granos de material reactivo provocando su inactividad química.

El tercer modo de detener o eliminar el contaminante es la adsorción, que consiste en el establecimiento de enlaces químicos entre las especies acuosas del contaminante y los radicales libres de la superficie del relleno reactivo. Estos procesos son muy eficaces pero tienen un problema, los enlaces libres de la superficie del sólido se saturan rápidamente de contaminante y hay que reponer el material, por lo que el sistema requiere de una intervención casi continua; un ejemplo típico son los filtros de carbón activo y las resinas intercambiadoras. Por este motivo se usan en sistemas de potabilización, si bien no se pueden considerar un sistema pasivo. El empleo de

la adsorción como tratamiento pasivo durante un tiempo dilatado requiere, pues, que el contaminante a adsorber esté en una concentración muy baja y que tenga mayor afinidad por los enlaces con las superficies que el resto de iones del agua.

La instalación del material reactivo en el campo es variada y debe adaptarse a cada caso concreto. Son dos las configuraciones utilizadas con mayor frecuencia: por un lado, una zanja continua que discurre en perpendicular a la dirección del penacho contaminante, generalmente utilizada si la anchura de este penacho no es muy grande; y por otro lado, una forma de embudo (*funnel and gate*), para lo que se establecen unas pantallas impermeables que canalizan el penacho hasta la barrera reactiva. En la figura 3 se presenta un esquema de ambas configuraciones.

Existen otras configuraciones que incluyen la circulación forzada de agua contaminada a través de depósitos con el material reactivo, lo que permite su recambio por nuevos contenedores una vez que se ha consumido el relleno reactivo. La elección de una u otra depende de las características hidrogeológicas del lugar, la extensión de la contaminación y del coste del material reactivo. El diseño requiere conocer la naturaleza del contaminante, la geología de la zona y realizar ensayos de laboratorio para determinar el tiempo de contacto o de residencia necesario (lo que implica definir la anchura y mezcla de materiales necesarios), la estabilidad del material reactivo y el coste de instalación.

Diseño de una barrera: el caso de Enresa

Una barrera reactiva exige diferentes tipos de trabajos: hidrogeológicos, químicos y geotécnicos. El principal objetivo del trabajo hidrogeológico es asegurar que el penacho de contaminación atravesará la barrera reactiva y determinar su velocidad. Por su parte, el estudio químico debe encontrar el medio reactivo adecuado al contaminante y definir el tiempo de residencia que asegure la reacción. En el diseño es clave comparar el tiempo de residencia del

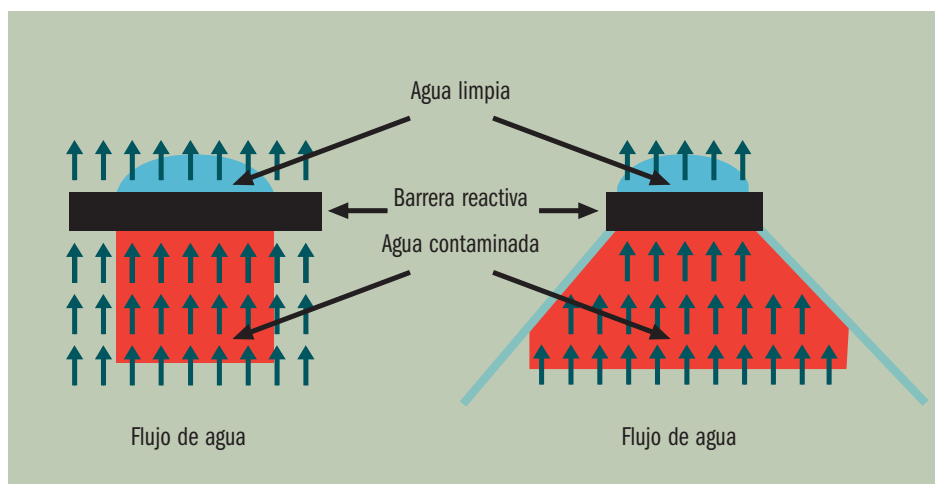


Figura 3. Esquema de barrera reactiva en zanja continua (izquierda) y en forma de embudo (derecha).

contaminante en la barrera con el necesario para completar la reacción química de eliminación, lo que puede hacerse de forma eficaz mediante programas de modelación del transporte reactivo. Finalmente, el trabajo geotécnico debe definir la configuración más adecuada, la forma, las dimensiones, el tamaño y la anchura de la barrera y los métodos de excavación.

A continuación se describe, paso a paso, cómo se diseña una barrera de adsorción a través de un proyecto que lleva a cabo Enresa para eliminar el isótopo radiactivo cesio 137 (^{137}Cs) del agua subterránea en una zona de marisma en Andalucía, donde se vertió material contaminado accidentalmente como consecuencia de la fusión accidental de una fuente de ^{137}Cs . Para evitar su salida a las aguas superficiales se propuso la construcción de una barrera permeable reactiva que retuviera el ^{137}Cs .

Para el estudio hidrogeológico se realizaron más de treinta sondeos que permitieron determinar las características de las capas de material por las que circula el agua subterránea y la dirección de su flujo. En estos sondeos también se llevaron a cabo ensayos hidráulicos de inyección y extracción de agua, con objeto de conocer las propiedades hidráulicas de las diferentes capas de materiales. La conductividad hidráulica varía en órdenes de magnitud de unos materiales a otros, siendo las capas inferiores las más conductivas y que previsiblemente concentrarán la mayoría del flujo. Con los

gradientes de niveles y las conductividades hidráulicas se ha podido calcular un flujo máximo en las capas inferiores y mucho menor en el resto. Este flujo es el que deberá tenerse en cuenta en los cálculos de diseño de la barrera.

El otro aspecto importante del estudio hidrogeológico es determinar la composición química del agua a tratar. Para ello, en este proyecto se tomaron muestras en todos los sondeos realizados y en las surgencias naturales. La mayor actividad medida de ^{137}Cs es la que se ha tenido en cuenta en el diseño. Las aguas subterráneas tienen salinidades altas, incluso mayores que el agua de mar. Dado que los iones presentes en el agua pueden interferir con las reacciones de fijación del ^{137}Cs , esto también deberá tenerse en cuenta en el diseño.

Illita y virutas de madera para la adsorción del ^{137}Cs

De forma paralela a los estudios hidrogeológicos se realiza el trabajo químico, cuyo primer objetivo, en este caso, ha sido seleccionar el proceso de remoción del ^{137}Cs . Estudios previos han demostrado que la illita, un mineral de la arcilla, presenta una alta capacidad para adsorber el ^{137}Cs en la superficie de los granos minerales. De los materiales accesibles y baratos del entorno, se determinó aquella formada por un alto porcentaje de illita, por lo que se seleccionó este material.

La capacidad de adsorción de un contaminante por un material se mide mediante el coeficiente de distribución,



Figura 4. Aspecto de la arcilla mezclada con virutas de madera.



Figura 5. Montaje de una columna de experimentación. De derecha a izquierda, depósito de agua de entrada, bomba peristáltica, columna y muestras de agua de salida.

K_d , que muestra la relación entre la cantidad de contaminante que se adsorbe sobre el sólido y la que queda en disolución. La presencia de iones en las aguas que puedan competir por los sitios de adsorción en el sólido afectará al valor del K_d según su concentración. Por lo tanto, el K_d refleja el efecto de la composición del sólido y la composición química del agua en el momento del ensayo. Si se mide el K_d para diferentes tiempos de contacto entre el agua y la arcilla se puede determinar la cinética de adsorción y decidir si se alcanza el equilibrio o adsorción máxima durante

el tiempo de residencia del agua en la barrera.

Las primeras pruebas consistieron en experimentos realizados en frascos cerrados (*batch*) donde se pusieron en contacto estas arcillas con diversas aguas subterráneas. Los resultados confirmaron una disminución significativa del ^{137}Cs . Sin embargo, se observó que la adsorción del ^{137}Cs era menor cuanto mayor potasio tenía el agua, ya que ambos iones compiten por los mismos lugares de adsorción en las superficies del sólido. Por tanto, es clave para el diseño de la barrera determinar la concentración de pota-

sio de las aguas subterráneas. Otra conclusión derivada de los ensayos fue que la adsorción se produce, principalmente, durante las primeras horas de contacto entre el agua y el sólido, por lo que no serán necesarios tiempos de residencia del agua en la barrera mayores a un día.

El siguiente desafío fue conseguir que un material como la arcilla fuese permeable. Para ello se mezcló con virutas de madera, material con alta porosidad y permeabilidad (ver figura 4).

Las conductividades hidráulicas medidas en las mezclas con diversos grados de compactación resultaron siempre mayores a las medidas en las capas más transmisivas de los materiales de la zona. Con objeto de simular el funcionamiento de una barrera reactiva permeable, se montaron dos columnas con la mezcla de arcilla y virutas y se inyectaron caudales de diferentes aguas trazadas con ^{137}Cs (ver figura 5). Sin embargo, a fin de obtener datos experimentales en pocas semanas, se inyectó el flujo máximo medido en el campo con una concentración de dos órdenes de magnitud superiores a la medida en el campo.

Con los coeficientes de adsorción K_d obtenidos experimentalmente, la densidad de lugares de adsorción calculada a partir de la proporción de illita en la mezcla reactiva y con los datos de flujo experimentales, y la composición del agua utilizada en los ensayos (especialmente la concentración de ^{137}Cs y potasio), se calculó la actividad esperada de ^{137}Cs en el agua de salida. Como muestra la figura 6 (en la siguiente página), existe un buen ajuste entre los datos predichos y los experimentales en las dos columnas, lo que confirma la validez y robustez del modelo. La falta de ajustes es, en general, debida a que el modelo predice concentraciones más altas que las medidas, por lo que las predicciones serían, en todo caso, algo conservadoras.

Análisis de escenarios, paso previo a la construcción

Una vez validado el modelo de transporte reactivo, este se puede utilizar para predecir el comportamiento de una barre-

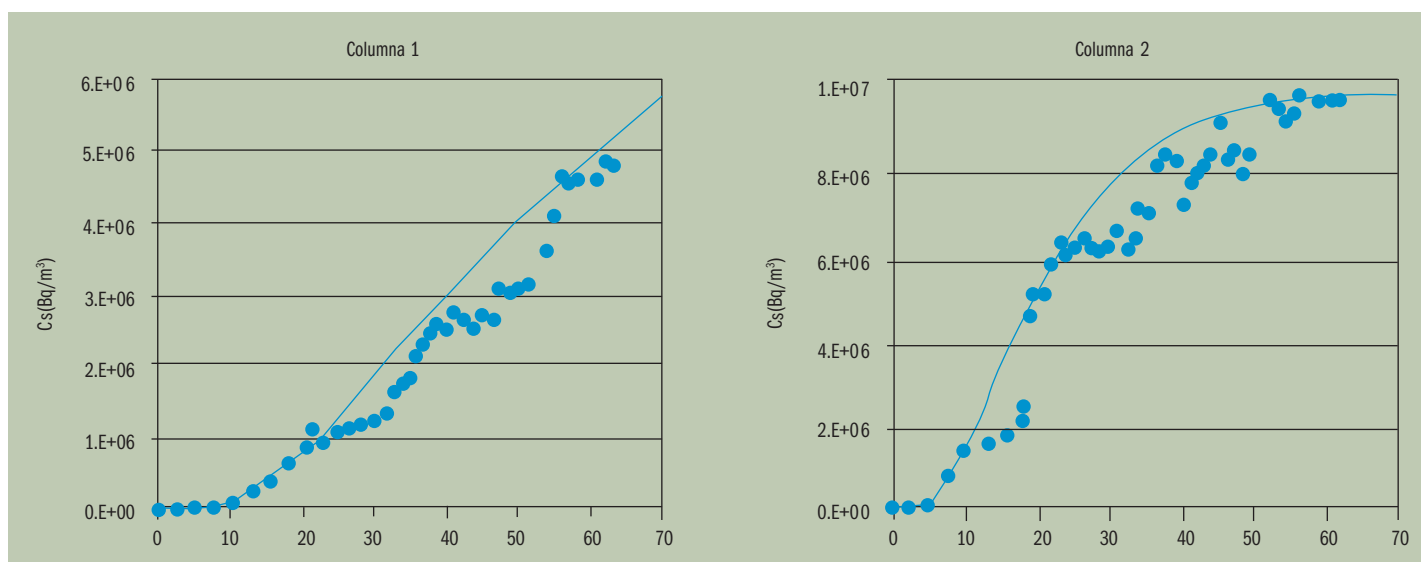


Figura 6. Comparación entre la actividad de ^{137}Cs medida a la salida de las columnas (puntos) y las predichas por el modelo de transporte reactivo (línea continua).

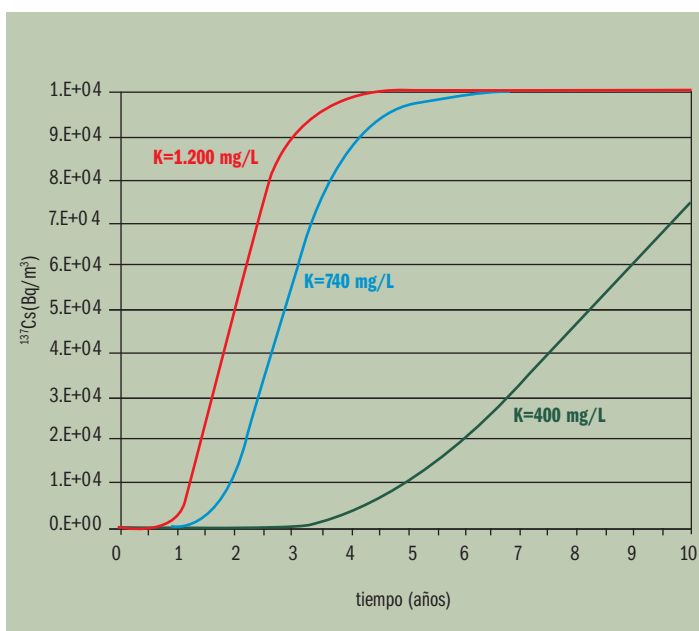


Figura 7. Evolución calculada de la actividad de ^{137}Cs en aguas debajo de una barrera. Las concentraciones de K del agua de entrada varían entre los límites superior (1.200 mg/L) e inferior (400 mg/L) medidos en los sondeos.

La evolución de la concentración de ^{137}Cs en el agua abajo de la barrera se representa en color azul en la figura 7. Para describir el comportamiento de la barrera se ha tomado arbitrariamente una concentración de 10^4 Bq/m^3 como referencia, pues esta es la concentración límite admitida en agua potable. Como se observa en la figura 7, a partir de 22 meses de funcionamiento la concentración de

inicial. Con la mitad del flujo, el tiempo transcurrido con concentraciones menores de 10^4 Bq/m^3 es de 44 meses, aproximadamente el doble que en el caso base. Esto ilustra el comportamiento lineal de la barrera frente al flujo advectivo de agua. Exactamente el mismo comportamiento lineal puede observarse al aumentar al doble o disminuir a la mitad la capacidad de adsorción del relleno de la barrera. El aumento de la capacidad de adsorción puede obtenerse bien por aumento de la proporción de arcilla en el relleno o por aumento del espesor de la barrera.

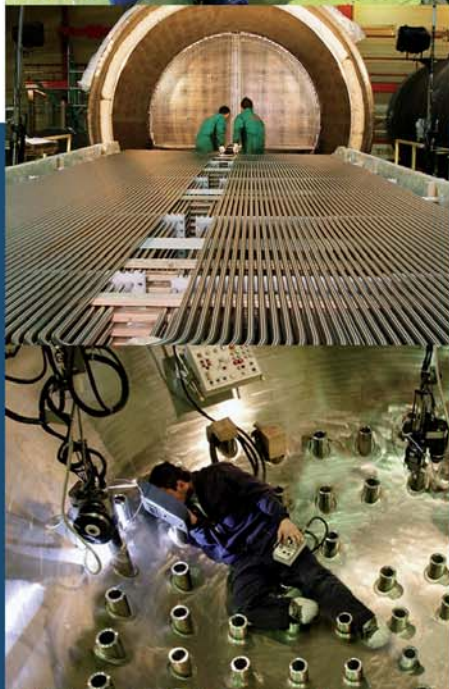
Aunque el ^{137}Cs es adsorbido de forma preferente al potasio, concentraciones altas de este ión en el agua a tratar pueden disminuir significativamente la retención del primero. Así, como puede observarse en el gráfico de la figura 7, concentraciones de K^+ de 1.200 mg/L, en el rango más alto de las medidas en los sondeos, reduce a menos de 15 meses el tiempo transcurrido con concentraciones inferiores a la de referencia. Por el contrario, concentraciones de K^+ de 400 mg/L, en el rango inferior de las medidas en los sondeos, alarga el tiempo transcurrido con concentraciones bajas a 65 meses.

Una vez establecidos los escenarios posibles de flujos y química del agua a tratar, se puede decidir el tipo de barrera, así como su espesor y pasar a los trabajos de excavación y relleno. ■

ra hipotética ante varios escenarios posibles. En primer lugar, se supuso una barrera de dos metros rellena de una mezcla con 100 g de arcilla y 200 g de viruta que recibe un flujo del orden de magnitud del flujo promedio esperable en el campo. La composición química del agua de entrada empleada para este primer caso era semejante a una de las muestras de sondeos analizadas, tenía una concentración de potasio próxima al promedio de las muestras analizadas. Para el ^{137}Cs se tomó una actividad semejante a la concentración máxima analizada en la zona.

aguas abajo de la barrera es superior a 10^4 Bq/m^3 de ^{137}Cs .

Dada la variabilidad existente en algunos parámetros del funcionamiento del agua subterránea en la zona de estudio, se han realizado cálculos tentativos para determinar la influencia de esta incertidumbre en la concentración de ^{137}Cs aguas abajo de la barrera. Con el doble de flujo al planteado en el supuesto inicial, la concentración de referencia (10^4 Bq/m^3) se alcanza a los 11 meses de inicio del sistema, aproximadamente la mitad del tiempo empleado con el flujo



Passion for improvement

Ensa is a Spanish Company whose main activities are manufacturing of: Nuclear components, mainly Steam Generators (S.G), Reactor Pressure Vessels (RPV) and RPV heads. Fresh and spent fuel containers, casks, spent fuel pool racks. Components for Research Centers: CERN, NASA, EURATOM, UKAEA, etc. Also: Metallurgy, welding, NDE, decontamination, decommissioning R & D activities. Technology assistance and heat exchangers.

PRODUCT LINES

Nuclear Components

Elements for spent fuel storage and / or transport

Components for research centers and development programs

Technology Services

SERVICES AREA

Plant Maintenance

Radwaste Treatment-Conditioning and Decommissioning of nuclear and radioactive installations

EQUIPOS NUCLEARES S.A.

Plant:

Avda. Juan Carlos I, 8
39600 Maliaño, Cantabria (Spain)

Phone: +34 942 200 101

Fax: +34 942 200 148

commercial@ensa.es

José Ortega y Gasset, 20-5º
28006 Madrid (Spain)

Phone: +34 915 553 617

Fax: +34 915 563 149

www.ensa.es

EL FUEGO

Y LOS ALIMENTOS, NO TAN BUENOS AMIGOS

La ciencia da la voz de alarma: la aplicación de calor excesivo a la hora de cocinar implica riesgos tóxicos, incluso cancerígenos

ALGUNOS EXPERTOS CREEN QUE LOS primeros homínidos comenzaron a utilizar el fuego, aunque no a provocarlo, hace un millón y medio de años. Esa podría ser la causa de que el *Homo erectus*, inicialmente contemporáneo de su antecesor el *Homo habilis*, llegara a desarrollar cambios constitucionales e incluso cerebrales que darían lugar, más tarde, a la aparición del *Homo sapiens*. Lo que parece probado es que la cocción sistemática de los alimentos, indicativa de un dominio del fuego habitual, es mucho más reciente: se cifra en menos de medio millón de años.

Cocinar los alimentos gracias al fuego, y al calor que este produce, supuso una enorme ventaja. Permitió al ser humano una mejora notable en la calidad de los nutrientes que, cocinados, se digerían mejor y aportaban elementos a la dieta imposibles de obtener en esos mismos alimentos crudos. Y así, en unos pocos cientos de miles de años, los humanos primitivos vieron cómo, poco a poco, se reducía su estómago, lo mismo que sus dientes. Ese menor esfuerzo a la hora de masticar y digerir alimentos más blandos proporcionó unas reservas extra que aportaron mejoras definitivas al género humano, como una mayor fuerza para caminar



El calor del fuego es el principal aliado del hombre en la cocina, pero también puede convertirse en un enemigo.

distancias más largas y un sistema inmunitario cada vez más eficiente, entre otras. Ahora bien, el más beneficiado de todo este proceso de mejora en el aprovechamiento energético y químico de los alimentos debió de ser el cerebro, un órgano enormemente consumidor de energía en forma de glucosa.

Con el tiempo, y sobre todo a partir de la Revolución Industrial, las formas de alimentarnos se han ido diversificando de tal manera que hoy podemos comer casi de todo y preparado de cualquier forma. La gastronomía, como elemento cultural, es una conquista de las diversas civilizaciones humanas, y a ello han contribuido los avances de la física y la química, así como las diversas tecnologías que pueblan hoy las cocinas modernas.

Todo ello ha hecho cada vez más compleja la alimentación de los países desarrollados, pero con más de un *handicap*, como la aparición de la llamada “comida basura” o “rápida”. La propia incorporación del fuego a la preparación de alimentos implica determinados inconvenientes que ahora la ciencia desvela. Especialmente, debido a la moda —renacida con las barbacoas— de preparar carnes y otros alimentos directamente sobre la brasa, como sin duda hacían, por ejemplo, nuestros antepasados neandertales y cromañones.

Las sociedades desarrolladas han conseguido tan elevado nivel de sofisticación en la comida, que algunas de las ventajas proporcionadas por el fuego en la lejana noche de los tiempos se han ido convirtiendo en amenazas. Al cocinar los alimen-

El hallazgo del fuego por los primeros homínidos fue un paso definitivo en la evolución hacia el hombre actual. Con las llamas y sus brasas, y luego con los líquidos calentados para sumergir en ellos todo tipo de alimentos, nuestros ancestros aprendieron a cocinar plantas y animales que hasta entonces consumían crudos, con lo que obtuvieron más nutrientes y de mayor calidad. Hoy, después de muchos milenios de evolución, los seres humanos nos enfrentamos a inconvenientes desvelados por la ciencia: el fuego y el calor en la cocina pueden convertirse en enemigos de la salud si no sabemos controlar sus efectos sobre la tan variada como industrializada alimentación disponible en la actualidad. ■ **POR Manuel Toharia.**

tos utilizando el calor, los sometemos a toda una serie de procesos físicos y químicos que pueden cambiar su estructura y generar nuevas sustancias. Los alimentos, por su naturaleza biológica, son ya de por sí químicamente complejos, y aún se complica más la cosa cuando en

Los cambios químicos pueden ser peligrosos

En algunos casos, esos cambios de tipo físico, y sobre todo las variaciones de estructura química de los alimentos, pueden convertirlos en elementos claramente perjudiciales, cuando no tóxicos o can-

lia química que incluye diversas sustancias similares, la inmensa mayoría de las cuales es igualmente tóxica o cancerígena. Por ejemplo, las nitrosaminas pertenecen al grupo de las aminas heterocíclicas (AHC), el benzopireno es uno de los principales hidrocarburos aromáticos po-



Las frituras y las barbacoas pueden producir compuestos peligrosos en los alimentos, especialmente en las carnes.

la cocina, como suele ser habitual, trabajamos con muchos alimentos juntos. Desde luego, las consecuencias del proceso son en general muy positivas: se mejora el sabor, se ablandan los alimentos y se favorecen las reacciones entre moléculas del alimento, originando nuevas moléculas que contribuyen a aumentar su calidad nutritiva o gastronómica (dorado del alimento, caramelizado cuando hay carbohidratos, etcétera). Además, se desnaturalizan algunas proteínas, facilitando así su absorción en la digestión; se favorece la solubilidad de sustancias como el almidón y se forman emulsiones grasas que facilitan la digestión de los lípidos de los alimentos; finalmente, se vaporiza el agua, cambiando la consistencia e incluso el sabor y la absorción de ciertos nutrientes. Pero...

cerígenos. Y eso es precisamente lo que ahora preocupa a los científicos, porque en todo ello interviene de forma determinante el fuego, sobre todo cuando es aplicado directamente sobre las llamas y las brasas, pero también por vía indirecta, mediante el calor que produce. Los productos implicados suelen pasar desapercibidos, pero ahora sabemos que a la larga suponen una seria amenaza para la salud. Desde la acrilamida (que aparece al tostar, asar o freír vegetales con almidón, como cereales o patatas) al benzopireno (presente en todos los alimentos tostados o asados en exceso), pasando por las nitrosaminas de muchos alimentos fermentados y sobrecalentados...

En conjunto, cada uno de estos compuestos peligrosos pertenece a una fami-

licíclicos (HAP), las famosas dioxinas que aparecen en la mayor parte de las combustiones están incluidas dentro del conjunto de los policlorobifenilos (PCB). En cambio, otros compuestos tóxicos o sospechosos son sustancias aisladas, como ocurre, por ejemplo, con la acrilamida o algunos subproductos residuales de las frituras o procedentes de la degradación de los alimentos sobrecalentados.

Aunque el benzopireno y la nitrosamina son los principales componentes de cada uno de los grupos tóxicos a los que pertenecen, a partir de ahora se hará referencia por comodidad a los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos, de los que el benzopireno es el exponente más abundante) y las AHC (aminas heterocíclicas, básicamente las nitrosaminas).

Calentar mediante moléculas bipolares

El horno de microondas se ha generalizado de forma casi absoluta en las cocinas, por su sencillez y el ahorro de tiempo y energía que supone. En este caso, el calor para cocinar no es exterior —primitivamente, el fuego—, sino que aparece por fricción al vibrar las moléculas bipolares en un campo de microondas. Las moléculas bipolares son las que tienen un reparto de sus cargas eléctricas de tal modo que, aun siendo neutra la molécula, sus cargas positiva y negativa no están homogéneamente distribuidas. Se entiende fácilmente con el ejemplo del agua (H_2O), donde los dos átomos de hidrógeno (H) están a un lado y el de oxígeno (O), al otro. Es la molécula bipolar típica, lo que le permite, por ejemplo, disolver sales separando los átomos de esta en iones positivos y negativos. Pues bien, las microondas (radiación electromagnética parecida a las ondas de radio y televisión) tienen la facultad de hacer vibrar a esas moléculas bipolares, energía de vibración que se comunica a toda la sustancia y consigue así calentarla sin descomponerla ni alterarla.

En general, el microondas es una de las formas más seguras de calentar alimentos: no hay producción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) ni de AHC (aminas heterocíclicas), ni *reacción de Maillard*, ni aparición de subproductos tóxicos... A cambio, el alimento parece más hervido que asado; por eso muchos microondas cuentan con un grill eléctrico que añade calor directo, como las brasas, con el fin de dorar la superficie superior del alimento que se cocina. Por desgracia, dicho dispositivo equivale a las brasas e implica, al igual que estas, posibles efectos secundarios nocivos. ■

Como la inmensa mayoría de estos productos aparece al poner en contacto directo con la llama o el calor muy intenso un material orgánico (vegetal y, sobre todo, animal), eso incrimina directamente a una de las actividades al aire libre más populares hoy, la cocina con llama directa o con brasas —barbacoa y parrilla—.

Cuidado con las barbacoas...

Sin duda, el peor enemigo de la salud en la cocina moderna es... el fuego. Curiosamente, calentar alimentos en contacto directo con la llama o las brasas debió de ser hace muchos miles de años casi la única forma de cocinar por parte de los humanos primitivos, especialmente en el caso la carne. Pero, en la actualidad, esa forma de cocinar tan antigua se ha generalizado gracias a artilugios tan populares como las barbacoas. Y la cocina a la brasa se ha convertido en un modo moderno de preparar alimentos en grata compañía y preferentemente al aire libre. ¿Cuál es la razón de que tan primitiva y sabrosa forma de aderezar un alimento haya acabado adquiriendo tan mala fama entre los especia-

listas en medicina y nutrición? La respuesta se encuentra en la temperatura del foco de calor. La llama del gas puede alcanzar los $1.500\text{ }^{\circ}\text{C}$, las brasas de carbón superan ampliamente los $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, y las de madera llegan a cerca de $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo mismo que la resistencia eléctrica del tostador de pan, por ejemplo. En cambio, dentro de un horno el aire en general no supera los $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, y en el agua hirviendo la cocción se hace a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (en olla exprés poco más de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Y es que no hay que olvidar que el calor es radiación electromagnética en el rango de los infrarrojos y la temperatura expresa la agitación molecular de las sustancias. Cuando esa energía calorífica se transmite al alimento, altera muy rápidamente su composición química, al menos en las zonas exteriores. Y, a menudo, el interior se queda casi crudo mientras que el exterior, literalmente, se abrasa. La alteración de la mayor parte de los alimentos, en especial la de la carne, debido a la alta temperatura de las brasas, conduce a la formación de compuestos muy diversos, algunos de ellos relacionados con



El microondas es una de las formas más seguras de calentar alimentos.

el cáncer: ya se ha dicho que las AHC aparecen al cocinar a la brasa la mayor parte de los alimentos de origen animal —carnes de todo tipo e, incluso, pescado—, y también los HAP se hacen presentes en cuanto el asado adquiere tonalidades muy oscuras.

De hecho, las AHC aparecen al cocinar cualquier tipo de carne o pescado, incluso sin contacto directo con el calor; pero las cantidades son pequeñas en todas las preparaciones —excepto cuando se hacen a la brasa y a alta temperatura—, tanto más cuanto más prolongado sea el tiempo de cocción, y más en la carne que en el pescado. En cuanto a los HAP, están siempre ligados al color marrón oscuro o negro, y no son solo privativos de la carne y el pescado, sino que también aparecen al cocinar vegetales si están casi quemados. O sea, que para evitar la formación de estos HAP (el benzopireno y su familia) basta con no calentar en exceso la materia orgánica; por ejemplo, el pan tostado del desayuno debe estar amarillento o marrón claro, pero nunca marrón oscuro ni aún menos negro: lo oscuro o negro en la comida por exceso de calor debe ser eliminado.

... y con las frituras

Por supuesto, hay más formas de cocinar con calor y, aunque menos dañinas que la cocina a la brasa o al fuego, también tienen sus riesgos si no se manejan con cuidado. Por ejemplo, la fritura. Las mejores grasas para este método son las que contienen una elevada proporción de ácidos grasos monoinsaturados, como el aceite de oliva. No solo por



El agua hirviendo y el vapor, lo más saludable

Finalmente, la cocción en agua hirviendo —que junto al uso directo de las llamas o las brasas es, probablemente, la más antigua forma de cocinar— se utiliza, sobre todo, para alimentos muy duros que se reblandecen al ser sumergidos durante cierto tiempo. Por ejemplo, las patatas cocidas en agua hirviendo no tienen nada que ver con las patatas crudas... Aún mejor es la cocción al vapor, que preserva mucho más los nutrientes del alimento crudo. Ambos métodos, agua hirviendo o vapor, constituyen la forma más saludable de cocina al fuego indirecto, sobre todo si el agua sobrante es utilizada posteriormente para salsas, caldos o purés. Todo ello, sin olvidar su efecto esterilizador.

En suma, negar la importancia del dominio del fuego para la evolución humana sería un sinsentido. No obstante, la complejidad de las formas de cocinar alimentos que ha alcanzado el mundo moderno aconseja cierta prudencia a la hora de imitar hoy lo que hacían nuestros remotos antepasados. Es cierto que, por ahora, no existen regulaciones legales, pero no tardarán en controlarse los niveles de los temibles HAP, de los que el benzopireno es el máximo representante y que tiene el triste privilegio de haber sido reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como probadamente cancerígeno.

¿Debemos, pues, dejar de asar alimentos, prohibiendo las brasas o las patatas fritas? Como en todo, la moderación debe ser la regla. Es cierto que en general los especialistas recomiendan reducir la carne —cocinada de cualquier manera— en la dieta y aumentar la proporción de vegetales de todo tipo, a la vez que se privilegia la cocción en agua y al vapor sobre la cocina a alta temperatura, que en todo caso debe ser utilizada en periodos cortos de tiempo. Lo cual no excluye un asado o una parrillada esporádicamente, y siempre evitando ingerir las partes de alimento que se hayan tostado en exceso, sobre todo las que se hayan ennegrecido. Así el fuego seguirá siendo no solo nuestro aliado gastronómico, sino también biológico, como lo fue de nuestros antecesores. ■

razones ligadas a la grasa misma, sino porque su temperatura de degradación es muy superior a la de los demás aceites vegetales insaturados, ya que no se inicia hasta los 200 °C. La fritura ha de hacerse a temperaturas no superiores a los 175 °C, excepto si se usa aceite de oliva, pues al superar esa “temperatura de humeo” (el humo aparece cuando el aceite hierve) se descomponen las moléculas grasas por oxidación para formar aldehídos o cetonas en un primer tiempo, y luego otros compuestos más complejos, algunos muy tóxicos. Esos problemas no se dan en la cocción al agua o en microondas, que son las formas de cocinar menos dañinas para los alimentos.

Ahora bien, es muy desaconsejable freír con mantecas y grasas animales, no solo porque contienen grasa saturada que propicia enfermedades cardiovasculares, sino porque al calentarse se degradan antes, produciendo diversos compuestos químicos tóxicos o sospechosos de producir distintos tipos de cáncer.

Como se ha señalado más arriba, en la fritura la temperatura alcanza incluso los 200 °C, lo que facilita la *reacción de Maillard*, que aparece a partir de los 150-170 °C en alimentos ricos en proteínas y carbohidratos, y produce el color tostado de los alimentos al horno, a la brasa o a la parrilla y, desde luego, en los fritos. Se parece a la caramelización del azúcar —al calentarse, se licua y adquiere color dorado—, pero en este caso tiene que ver con las proteínas que se descomponen al añadirse aquel; por eso, la *reacción de Maillard* se llama *glicosilación*, debido a la inter-

vención última de la glucosa. El resultado final es siempre muy complejo y depende de muchos factores. En general, las sustancias que aparecen suelen añadir un sabor y un olor agradables, pero también surgen sustancias sospechosas, como las melanoidinas y pirazinas, que contribuyen a la producción de nitrosaminas, sobre todo si la cocción se prolonga en exceso.

Otra forma de cocinar, menos problemática, es el horneado: un recinto cerrado dentro del cual el calor llega a los alimentos a través del aire caliente y la radiación térmica, en general débil, reflejada en las paredes. Se trata de un método más lento que las brasas o la fritura, lo que facilita la cocción progresiva, incluso de grandes piezas, sin algunos de los inconvenientes del calor directo de la brasa o la llama, o de la degradación del aceite a altas temperaturas. Las temperaturas que se alcanzan en el horno pueden ser bastante elevadas, hasta 300 °C en ciertos casos, lo que facilita la aparición de la *reacción de Maillard*, además de otras alteraciones químicas que mejoran el olor y sabor del alimento pero que, en casos extremos, producen igualmente sustancias indeseables. Lo que suele ocurrir es que en los hornos se preparan piezas grandes y si en su superficie aparecen sustancias excesivamente tostadas —de color marrón oscuro o negruzco—, basta con quitarlas y comer la parte interior, que se habrá cocido en su propio jugo. En este sentido, igual que a la brasa y en los fritos, es mejor no llegar que pasarse.

*Aunque España es un país que exporta científicos,
también acoge a investigadores foráneos*

¿Fuga de cerebros?

La ciencia la hacen los científicos. Parece obvio, y lo es. Sin ellos serían imposibles esos descubrimientos que pueden llegar a cambiarnos la vida, así que sus cerebros son esenciales para que prospere la ciencia de un país. A veces ocurre que se forman aquí, pero trabajan fuera de nuestras fronteras. También sucede a la inversa: algunos investigadores que se forman en su país llegan a España para mejorar la calidad de nuestro sistema científico. ¿Sigue siendo el nuestro un país de fuga de cerebros o comienza a atraer talento internacional? ¿Corremos el riesgo de volver atrás de nuevo? Cuatro investigadores nos dan sus respuestas.

■ POR **Leticia Arenas**, PERIODISTA.



UN INVESTIGADOR NACE O SE HACE? ¿De dónde es? ¿Del lugar en el que nació o del lugar en el que desarrolló su carrera? Lo que descubre, ¿es de su nación de origen o del país en el que trabaja? España tiene talento. Mucho. Pero ese talento no siempre trabaja en el país. Durante años se habló de “fuga de cerebros”, aunque desde la Administración creen que seguir afirmándolo es respetar poco la ciencia que se hace aquí.

A día de hoy, en el resto de Europa trabajan profesionales españoles altamente cualificados: científicos, investigadores, ingenieros, docentes, médicos, economistas, directivos... y muchos han estudiado en nuestras universidades. Su nivel es tan bueno que, recientemente, Alemania lanzó una oferta para ingenieros españoles, reavivando así la polémica recurrente en torno a la expatriación de las inteligencias propias. Los que



Diego Miranda-Saavedra, en un laboratorio del Immunology Frontier Research Center.

optaban a alguna de esas plazas en el país germano señalaban que no tenían alternativa, ya que aquí no encontraban el ansiado trabajo.

Desde el otro punto de vista, en España también se han desarrollado programas para atraer talento internacional, pero la crisis, siempre la crisis, está haciendo daño a estas iniciativas. De hecho, el desempleo juvenil en España ya supera el 50% y es el más alto de toda Europa. Empleo estable, esa es la clave, y no solo para que no se vayan los investigadores españoles, sino también para captar talento foráneo. Pero si en las últimas décadas la inversión en ciencia no había hecho sino aumentar, la crisis y los recortes económicos podrían poner en peligro los avances. Dicen los españoles que se tienen que ir porque aquí no hay donde poner en práctica su talento. Y si no queda hueco para los que estudiaron aquí, parece obvio que no lo habrá para los que estudiaron fuera y podrían investigar en España.

El ansiado cambio de modelo productivo parece que no llega del todo. La crisis ha hecho daño, pero solo el tiempo dirá si esto es flor de un día o el prin-

cipio de un largo camino de éxitos. Ya se sabe eso de que, en chino, *crisis* y *oportunidad* son la misma palabra...

Consultamos la opinión de cuatro investigadores.

“Cuando llegas a cierto nivel de elite, no existen fronteras geográficas”

Diego Miranda-Saavedra, bioinformático español del Immunology Frontier Research Center (Osaka)

No fue a buscarlo, le fueron a buscar. Cuando trabajaba en la Universidad de Cambridge, contactaron desde Japón con él y le invitaron a conocer el Immunology Frontier Research Center de Osaka (Japón). Después llegó una oferta que, asegura Diego Miranda-Saavedra, no pudo rechazar y pensó: “¿Por qué no?”

El laboratorio se centra en el estudio de células del sistema inmunológico para contribuir a una comprensión más amplia de la dinámica del sistema inmune mediante el empleo no solo de experimentos tradicionales, sino también a través de una gran variedad de imágenes y tecnologías de la bioinformática. Explica Miranda-Saavedra que este tipo de problemas requieren siempre un enfo-

que multidisciplinar y por eso utilizan las técnicas más vanguardistas y experimentales y otras computacionales.

La financiación no es lo que más le preocupa, aunque reconoce que su centro, una apuesta nueva del Gobierno japonés, tiene más autonomía y presupuesto que muchos otros institutos del país: “Tenemos financiación tanto pública como privada, pero yo intento centrarme más en las preguntas que quiero responder que en el presupuesto del que dispongo”.

La ciencia tiene un idioma internacional para este investigador. “Con la entrega que pongo en mi investigación —señala— sé que tendría éxito en muchos otros sitios, no solo en Japón. En ocasiones, la complejidad de la actividad investigadora no es comprendida correctamente. Cuando llegas a cierto nivel de elite, no existen fronteras geográficas y vas allá donde mejor puedas hacer tu trabajo, y donde exista no solo la financiación adecuada, sino también el ambiente intelectual propicio”.

En Osaka, al menos de momento, ha encontrado ese lugar óptimo. Desde enero de 2010, tiene su propio grupo de investigación en el Immunology Frontier Research, donde utiliza herramientas informáticas para comprender el desarrollo de las células inmunitarias.

Aunque no es partidario de dar consejos, comparando la situación de nuestro país con la de su lugar de residencia, Miranda-Saavedra considera que España debería “prestar atención a ciertos valores, como que la planificación, el esfuerzo y la constancia al final dan sus frutos a medio y largo plazo”.

“En España, la inversión en recursos humanos no permite la estabilización de los equipos de investigación”

José Enrique Isla Saavedra, mexicano, trabaja en el Instituto de Ciencias del Mar del CSIC (Barcelona)

Aun lado de México está el océano Pacífico; al otro, el golfo de México y el mar Caribe. Mucha agua alrededor, pero José Enrique Isla decidió dejar su país y venir a España a desarrollar una carrera dedicada al océano. Trabaja en



El mexicano José Enrique Isla Saavedra trabaja en el Instituto de Ciencias del Mar, en Barcelona.

Barcelona, en el Instituto de Ciencias del Mar del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Llegó para hacer el doctorado. Después se marchó a Alemania y al poco tiempo le llamaron de vuelta para incorporarse mediante un contrato Ramón y Cajal. Este programa nació en 2001 con el objetivo de atraer hacia España a los cerebros más brillantes de todas las disciplinas científicas. Durante los años de bonanza económica funcionó bien y los 250 científicos que conseguían este tipo de contrato cada año se quedaban en el sistema científico nacional, tal como contemplaba el programa. Sin embargo, la crisis ha reducido la oferta pública de empleo y afecta a todos los ámbitos.

El Instituto de Ciencias del Mar se dedica a estudiar de forma integrada el medio marino y los organismos que en él habitan. Físicos, geólogos o biólogos intentan desarrollar una visión global del ecosistema acuático y del impacto humano sobre él. “España —cuenta Isla— no es una potencia de primer orden en este campo de estudios, pero sí tiene una posición muy valorada a nivel mundial. En México también podría haber desarrollado una carrera como científico, quizá con menos recursos, pero igualmente con posibilidades de crecer”.

Aun así, el investigador es claro cuando se le pregunta si España apuesta por la ciencia: un rotundo no. “Debería mejorar la inversión en investigación, aprovechando mejor los recursos humanos que tiene y cuidando el esfuerzo inversor que ha hecho en la última década”. Para él, la clave está en el capital. “En España se puede hacer investigación científica de alto nivel si hay dinero y voluntad; lo malo es que la inversión en recursos humanos es muy baja y no permite la estabilización de los equipos, incluidos el personal técnico y científico”, sentencia.

“España valora a los investigadores consagrados. Los jóvenes, o abandonan la carrera o se ven obligados a emigrar”

Pilar Navas-Parejo, presidenta de la Federación de Jóvenes Investigadores/Precarios

La Federación de Jóvenes Investigadores/Precarios (FJI/Precarios) representa a una decena de asociaciones repartidas por toda España. Luchan por una profesión a la que, dicen, no es nada fácil dedicarse en suelo patrio.

En opinión de Pilar Navas-Parejo, presidenta de FJI/Precarios y geóloga de la Universidad de Granada, en nuestro país es complicado tener vocación



Pilar Navas-Parejo es presidenta de FJI/Precarios.

científica. Pero “como todo —señala—, depende tanto de una buena orientación-información como de la educación, ya sea en los centros escolares, institutos o universidades, como en el ámbito familiar. En ocasiones, depende del voluntarismo de los docentes vocacionales, que se creen su trabajo y su compromiso con la sociedad a la que sirven; y la predisposición personal de los alumnos. Los planes de estudio recogen unos contenidos mínimos en materias, procedimientos y valores. Pero si no hay esa intervención-implicación activa del profesorado, incitando a sus alumnos a ser creativos, a buscar y discriminar información, a debatir, a plantearse retos en su aprendizaje, a vincular la enseñanza con el entorno vivencial de los estudiantes, todo se hace difícil”.

Y una vez iniciada la carrera investigadora, creen que el profesional se ve abocado a una inestabilidad laboral inaceptable y a una falta de consideración social que debe cambiar. “No se puede pretender alcanzar la excelencia y convertirse en una potencia científica sin mejorar las condiciones de los recursos humanos en I+D+i”, remarca Navas-Parejo.

España no valora lo suficiente la carrera científica, especialmente su contri-



MADPIXEL

bución a la sociedad y en todas las áreas de conocimiento: “Podría decirse, quizá, que valora a los investigadores consolidados, pero no a las jóvenes promesas que, ante la inestabilidad y las trabas de todo tipo, se ven obligadas o a dejar la carrera investigadora o a continuarla en el extranjero”, concluye.

“Nos falta estar convencidos de que nosotros también somos capaces de desarrollar buenos productos”

Koldo García, cofundador de Madpixel, empresa con sede en Silicon Valley

Para Koldo García no es fácil triunfar con un proyecto, pero depende mucho de tener una buena idea debajo del brazo. Junto a Iñaki Arredondo fundó en 1999 Madpixel, compañía especializada en el desarrollo de soluciones innovadoras para Internet con delegación en Silicon Valley (EE.UU.). Presumen de haber desarrollado el vídeo *online* interactivo, en el que se puede insertar información adicional, o el Gigapixel Factory, que permite generar imágenes de superalta resolución, una tecnología empleada, por ejemplo, por Google Earth para digitalizar las obras del Museo del Prado.

Pero además de una buena idea, para llegar a un mercado internacional hace



Koldo García es cofundador de la compañía Madpixel.

falta la financiación. “Es cierto que en EE.UU. son más receptivos, de entrada, a escucharte y a dedicarte un tiempo. También es relativamente más sencillo encontrar allí financiación, pero creo que en España estamos empezando a despertar en este sentido. Ahora hay muchos más inversores que hace cinco años y también más políticas de ayuda a los emprendedores. Aún queda mucho camino por recorrer, pero vamos en la buena dirección”.

Le preguntamos si Estados Unidos nos puede enseñar mucho en cómo potenciar la innovación: “De ellos podríamos aprender, por ejemplo, a quitarnos complejos de inferioridad, a no demonizar tanto el fracaso, a no tener miedo a volver a empezar si algo no sale bien. Y,

sobre todo, a escuchar a alguien que viene con una buena idea, a apostar por los proyectos a largo plazo y no querer conseguir siempre réditos inmediatos”.

Cree que en España hay gente haciendo cosas muy interesantes, algunas a la altura, incluso, de las que se hacen en países con una gran tradición tecnológica, como el Reino Unido o Estados Unidos. “Nos falta estar convencidos —se lamenta García— de que nosotros también somos capaces de desarrollar buenos productos y de tener grandes ideas. A veces alabamos lo que viene de fuera solo porque viene de fuera y menospreciamos lo que hacemos aquí. En el ámbito de la innovación, casi siempre se cumple el dicho de que “nadie es profeta en su tierra”.

por
Manuel Toharia

Los premios Nobel de ciencia 2012

Como todos los años en octubre, la Academia de Ciencias de Suecia anuncia los nombres de los premiados con el Nobel. Repasamos los logros de los galardones científicos.

Química

Los premiados son dos estadounidenses, Robert Lefkowitz y Brian Kobilka, por sus investigaciones sobre cierto tipo de receptores de la membrana de las células que son esenciales para regular muy diversas funciones biológicas. Se trata de los receptores de unas proteínas especiales llamadas *G*, que regulan la actividad de hormonas y neurotransmisores esenciales para el funcionamiento del organismo. Todas

ce a la universidad californiana de Stanford.

El trabajo de Lefkowitz le llevó muy pronto a plantearse cómo funcionaba la adrenalina, hormona relacionada con la tensión arterial y el ritmo cardíaco, pero cuya influencia en las células se ejercía desde fuera, no penetrando dentro de ellas. A mediados de los setenta, Lefkowitz descubrió que, marcando moléculas de adrenalina con isótopos radiactivos para seguirles la

nérgico y descubrió que era muy similar a los receptores que captan la luz en la retina del ojo. Los dos científicos siguieron trabajando a partir de aquella pista y pronto descubrieron que existían muchos otros receptores de membrana que se acoplaban a esas proteínas, descubiertas por Gilman y Rodbell (Nobel de Medicina en 1994), quienes las denominaron proteínas *G*. Hoy sabemos que existen por lo menos mil genes capaces de inducir la formación de estos receptores a los que se acoplan las proteínas *G*.

Lo interesante de todos estos trabajos es que han podido ser aplicados, a partir de aquellas primeras investigaciones, para obtener la mitad de los fármacos actuales, cuya variedad se basa sin embargo en un mismo mecanismo: actuar sobre receptores de proteínas *G*. Desde los betabloqueantes para la hipertensión y la taquicardia, los antihistamínicos para las alergias, los antidepresivos que modulan la serotonina —tipo Prozac— y muchísimos otros.

Física

En este apartado los premiados son el francés Serge Haroche y el estadounidense David J. Wineland. La Academia sueca señala literalmente que el galardón se debe “a sus métodos experimentales innovadores que



Los dos ganadores del Nobel de Química, Robert Lefkowitz y Brian Kobilka.

esas moléculas orgánicas son proteínas y causan el hambre y la sed, así como cambios en el estado de ánimo, la tensión arterial o el movimiento de los músculos, por citar algunos ejemplos.

Robert Lefkowitz nació en Nueva York en 1943 y en la actualidad es profesor de la Universidad de Duke, en Durham (Carolina del Norte). Por su parte, Brian Kobilka, nacido en 1955 en Little Falls (Minnesota), pertene-

cista, en realidad la adrenalina se unía a ciertas zonas del exterior celular, la membrana. Era la primera identificación de los receptores de membrana, que denominó beta-adrenérgicos.

Pero quedaba por desentrañar el mecanismo de funcionamiento y aquí entra en acción Kobilka, que empezó a colaborar con Lefkowitz a comienzos de los años ochenta. Kobilka identificó el gen del receptor beta-adre-



Los galardonados con el Nobel de Física, Serge Haroche y David J. Wineland.

permiten la medición y manipulación de sistemas cuánticos individuales”.

Serge Haroche pertenece al Collège de France —el equivalente a la Academia de Ciencias— y es profesor de la Escuela Normal Superior de París. Nació en 1944 en Casablanca, entonces perteneciente al protectorado francés de Marruecos. Todo su trabajo científico se ha centrado en la mecánica de los sistemas cuánticos, en lo que los físicos llaman decoherencia cuántica. A su vez, David J. Wineland investiga en el Instituto de Estándares y Tecnología (NIST, en sus siglas inglesas) de la Universidad de Colorado, en Boulder. Nació igualmente en 1944, en Milwaukee (Wisconsin), y desde que se doctoró ha investigado el enfriamiento con láser de partículas iónicas y el uso de esos iones atrapados para realizar con ellos operaciones elementales de computación cuántica.

La Academia sueca destaca que ambos científicos han inventado y desarrollado métodos para medir y manipular partículas individuales sin por ello alterar su naturaleza cuántica. Algo sumamente insólito, debido

a que, precisamente, el mundo cuántico se caracteriza por comportarse de modo muy diferente al mundo de la física a macroescala. Es más, si en el mundo físico real se conoce a la vez la posición y la velocidad de un objeto, es posible saber exactamente dónde se encuentra en cada momento; pero en el mundo ínfimo de la cuántica, cuanto más preciso sea uno de esos datos menos lo será el otro. Por eso se trabaja siempre con probabilidades y con densidad de probabilidad.

La idea de un computador cuántico es, sin embargo, muy sugestiva porque estamos hablando de tamaños minúsculos, y por tanto de posibilidades de bajo consumo y miniaturización imposibles de imaginar en los ordenadores actuales. Pero para ello habría que controlar —es decir, identificar de manera aislada— a las partículas implicadas. Y las investigaciones de los dos premiados han demostrado, con técnicas de laboratorio muy originales, que se puede conseguir ese control de los estados cuánticos de las partículas: iones (átomos cargados) en el caso de Wineland, fotones (partí-

culas cuánticas de luz) en el de Haroche.

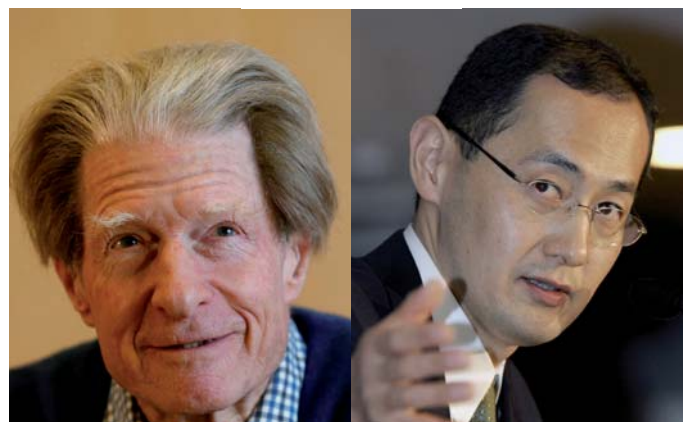
En todo caso, su especialización en la llamada óptica cuántica —que estudia la interacción entre la luz y la materia en el micromundo cuántico— ha permitido dar pasos de gigante en la soñada construcción de computadores cuánticos mucho más rápidos que los primeros ensayos realizados en los últimos dos decenios. Y, de paso, han posibilitado la construcción de relojes cien veces más precisos que los relojes atómicos de cesio, utilizados hasta ahora para definir el estándar de tiempo.

Medicina

El Nobel de Medicina ha sido otorgado este año al bri-

de enfermedades y para el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y de terapia.

Gurdon, nacido en 1933 y formado en la universidad británica de Oxford y luego, ya en Estados Unidos, en el Instituto de Tecnología de California (EE.UU.), cuestionó desde sus inicios la idea de que las células adultas especializadas eran irreversibles. Es decir, que una célula de hueso o de riñón jamás podría convertirse en otra cosa que en hueso o riñón. Sin embargo, se sabía que los embriones tenían células idénticas —llamadas hoy células madre, o mejor, troncales— pluripotentes, o sea, capaces de originar cualquier tipo de célula. Si en el



John B. Gurdon y Shinya Yamanaka, premiados con el Nobel de Medicina.

tánico John B. Gurdon y al japonés Shinya Yamanaka, por haber revolucionado nuestro conocimiento acerca del desarrollo de los organismos. Ambos han demostrado que es posible reprogramar células adultas para convertirlas en cualquier otra célula. El Instituto Karolinska de Estocolmo, que es el que concede el premio, afirma que estos hallazgos han proporcionado nuevas herramientas para el estudio

embrion todas las células son iguales y en el organismo a punto de nacer ya están diferenciadas en órganos y tejidos, ¿qué produce esas transformaciones? ¿Y por qué han de ser irreversibles si todas las células tienen el genoma completo, aunque solo expresen algunos de sus genes?

Gurdon pensaba que sería posible activar los genes aparentemente dormidos con el fin de hacer evolucionar a la célula en cualquier

otro tipo de célula. Y consiguió demostrarlo hace exactamente medio siglo, en 1962, experimentando con ranas. A pesar del escepticismo inicial con que fue recibido su hallazgo, la ciencia se rindió a la evidencia porque muchos otros investigadores confirmaron sus experimentos. Y de aquello derivó, más tarde, la posibilidad de clonar animales.

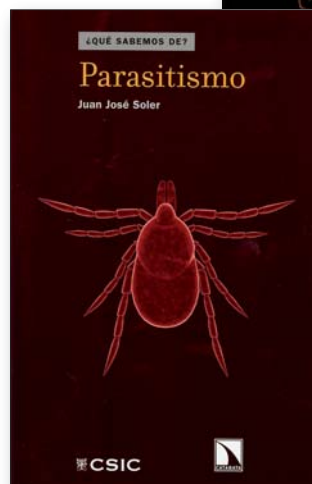
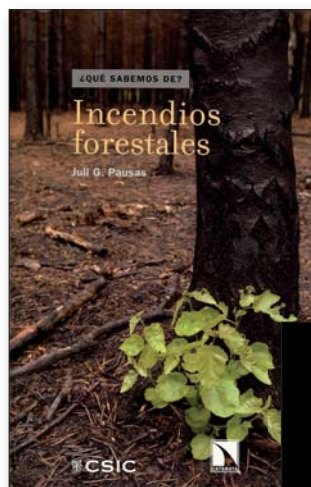
Pero siempre era necesario utilizar una célula adulta para introducirle genes de otra diferente. ¿Sería posible convertir una célula adulta intacta en una célula madre pluripotente? La respuesta la dio el japonés Yamanaka, nacido en 1962 (el año del hallazgo de Gurdon) en Osaka. Investigando en la Universidad de Tokio, fue capaz de resolver el enigma partiendo de células troncales procedentes de embriones. Primero buscó los genes que las mantenían en aquel estado previo, en cierto modo inmaduro; cuando los identificó, intentó reprogramar las células adultas en células como las embrionarias. Lo consiguió en 2006, reprogramando genéticamente fibroblastos —células del tejido conectivo fibroso de muchos animales— en células pluripotentes, que podían convertirse en células nerviosas o intestinales.

Ahora los dos investigadores —el pionero británico que abrió la puerta a un nuevo conocimiento y el joven japonés que profundizó en la idea dando paso a aplicaciones prácticas posteriores— comparten el Nobel. Sin duda, merecidamente. ■

SOBRE

por
Manuel Toharia

BRIB



¿Qué sabemos de? Colección de Divulgación del CSIC Números 32 a 35 Madrid, 2012

La colección va ampliándose. En ESTRATOS nos hemos hecho eco de forma constante de esta estupenda colección de libros divulgativos, todos ellos escritos por científicos eminentes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que han puesto su granito de arena para intentar que se entiendan, incluso por los no expertos, los fundamentos de la cien-

cia en la que trabaja cada uno de ellos.

A nadie se le oculta que el comité editorial de esta colección, presidido por Pilar Tigeras, ha tomado como modelo lejano la ya mítica colección francesa *Que sais-je*, de la Editorial Prensa Universitaria de Francia (PUF). Y a fe que lo están consiguiendo, incluso mejorando el original —que no es fácil—, hasta en la presentación y en la edición.

Esta vez traemos a colación los cuatro títulos más recientes. El número 32, *Incendios forestales*, ha sido es-

crito por Juli G. Pausas, investigador del Centro de Investigaciones sobre Desertización (CIDE) de Valencia, y habla de esa ciencia tan desconocida como fácil de estudiar en España por la enorme superficie afectada: la ecología de ecosistemas secos. En estos lugares, el incendio desempeña un papel ecológico, incluso evolutivo, modulando la coexistencia de especies animales y vegetales, y moldeando paisajes y hasta comunidades. El libro defiende una visión menos pesimista de lo habitual respecto al incendio, que siempre es visto como una enorme tragedia destructiva, incluso con pérdidas de vidas humanas. Y esto es indudable cuando los incendios son provocados por maldad o simplemente por desidia. Pero la naturaleza siempre ha convivido con el fuego, y este ha dado forma a la biodiversidad de los ecosistemas, sobre todo los secos, durante millones de años. La ecología del fuego puede ayudarnos a comprender mejor este fenómeno y a prevenir, incluso curar, muchas de las heridas que aparecen hoy con el desarrollo y la masificación de las poblaciones humanas.

El número 33 de la colección habla de gastronomía, de gastronomía científica, podríamos decir. Se titula *Paladear con el cerebro* y lo ha escrito Francisco Javier Cudeiro, catedrático de Fisiología Humana en la Universidad de La Coruña y presidente de la Sociedad Española de Neurociencia. Cudeiro analiza el fenómeno moderno por el que

los cocineros estrella de hoy —entre los que los españoles llevan ya años brillando con luz propia— no se limitan a elaborar platos de calidad culinaria contrastada, sino que también buscan sorprender, incluso sobresaltar la experiencia perceptiva del comensal. Todo ocurre en el cerebro —desde el sentido del gusto más básico hasta el más complejo de los sentimientos engendrados por las nuevas formas de comer— y no, como suele pensarse, en la boca o el paladar. Los procesos cerebrales responsables de la cada vez más compleja percepción sensorial asociada a la comida son todavía mal comprendidos. Sin embargo, estos encierran una importancia científica y práctica que nos obliga a pensar, cada vez en mayor medida, que lo realmente esencial es conocernos a nosotros mismos —como al parecer afirmó Heráclito—, es decir, comprender a nuestro propio cerebro, a la hora de analizar por qué comemos lo que comemos y por qué nos gusta, o no, una determinada forma de preparar alimentos.

El número 34, *Meteoritos*, ha sido escrito por el astrofísico castellanense Josep María Trigo, investigador del Instituto de Ciencias del Espacio de Barcelona. Trigo nos habla, con el entusiasmo propio de un apasionado de su especialidad, de esas rocas espaciales —pequeñas a menudo, grandes muy de vez en cuando— que llegan a nuestro planeta no tan ocasionalmente como se suele pensar, sino a razón de 40.000 a 80.000 toneladas

anuales. Esto significa, en promedio, unas 200 toneladas diarias de materia extraterrestre. Si Astérix el Galo solo temía que el cielo se desplomara sobre su cabeza, de haberlo sabido hubiese tenido más miedo del que muestra en los famosos cómics. El libro va desgranando la historia de este conocimiento, muy reciente, de la materia que nos llega del exterior, su variado origen (asteroides, planetas, cometas), la edad de su formación o el tiempo que volaron por el espacio hasta llegar a nosotros.

Por último, el número 35, escrito por un investigador granadino del CSIC, Juan José Soler, se titula *Parasitismo*. La obra analiza esta curiosa forma de vida en la que unos animales o unas plantas son capaces de vivir a costa de otros seres. No deja de tener gracia que los científicos denominen a algunas de estas formas de vida “hipótesis de la mafia”, por la que determinados parásitos pueden forzar a sus huéspedes, para que estos los acepten a cambio de alguna ventaja que no podrán tener otros organismos que se nieguen a aceptarlos. Como los mafiosos que ofrecen protección a los tenderos para no ser robados a veces por los propios mafiosos. Pero este comportamiento es solo un ejemplo de las muchas formas de vida que adopta la fascinante relación entre los parásitos y los parasitados, que en ciertos casos acaba resultando notablemente beneficiosa, incluso evolutivamente, para ambos organismos. ■

SUSCRIPCIÓNestratos

Nombre y apellidos

Domicilio

CP

Población

e-mail

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 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.



Glaciar Lowell en el Parque Nacional Kluane (Yukón, Canadá).

Glaciar en la inmensidad

EL GLACIAR LOWELL ES UN INMENSO RÍO DE HIELO DE 70 kilómetros de largo y 5 de ancho, lo que lo convierte en uno de los mayores de la Tierra y en uno de los pocos que todavía tiene episodios periódicos de avance de su frente. Un gigante de estas dimensiones solamente puede ubicarse en un desbordante paraíso natural: el Parque Nacional Kluane,

en la provincia canadiense del Yukón, un espacio protegido que también alberga en su interior el monte Logan, de 5.959 metros, la montaña más alta de Canadá. Con una estremecedora extensión de ¡22.000 kilómetros cuadrados! de naturaleza prácticamente inalterada, el susurro de lo salvaje se siente en cada rincón de este lugar único. ■



40 años avanzando con energía

Desde 1972 avanzamos con energía, fabricando y suministrando combustible. Empleamos la tecnología más avanzada y el capital humano más cualificado para construir un futuro mejor.

ENUSA

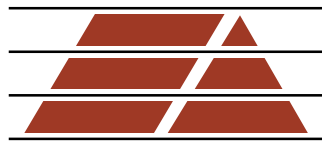
Comprometidos con el desarrollo sostenible.
Comprometidos contigo.



Con dos pastillas de uranio de 6 gramos cada una se obtiene la energía eléctrica suficiente para abastecer a una vivienda unifamiliar durante un año.

 **ENUSA**
INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A.

www.enusa.es



EMPRESARIOS AGRUPADOS

Ingeniería y servicios para el Sector Eléctrico.

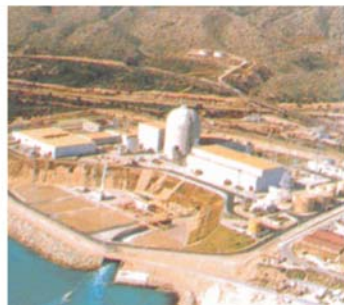
En el campo nuclear ofrecemos nuestra experiencia de ámbito internacional en una amplia gama de servicios para el proyecto, construcción y apoyo a la explotación de centrales nucleares e instalaciones con ellas relacionadas, incluyendo:

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

■ Tecnología

■ Experiencia

■ Dedicación



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

EMPRESARIOS AGRUPADOS, A.I.E. es una Agrupación de Interés Económico (Ley 12/1991 de 29 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.