

Contenedores para el almacenamiento temporal y el transporte del combustible gastado



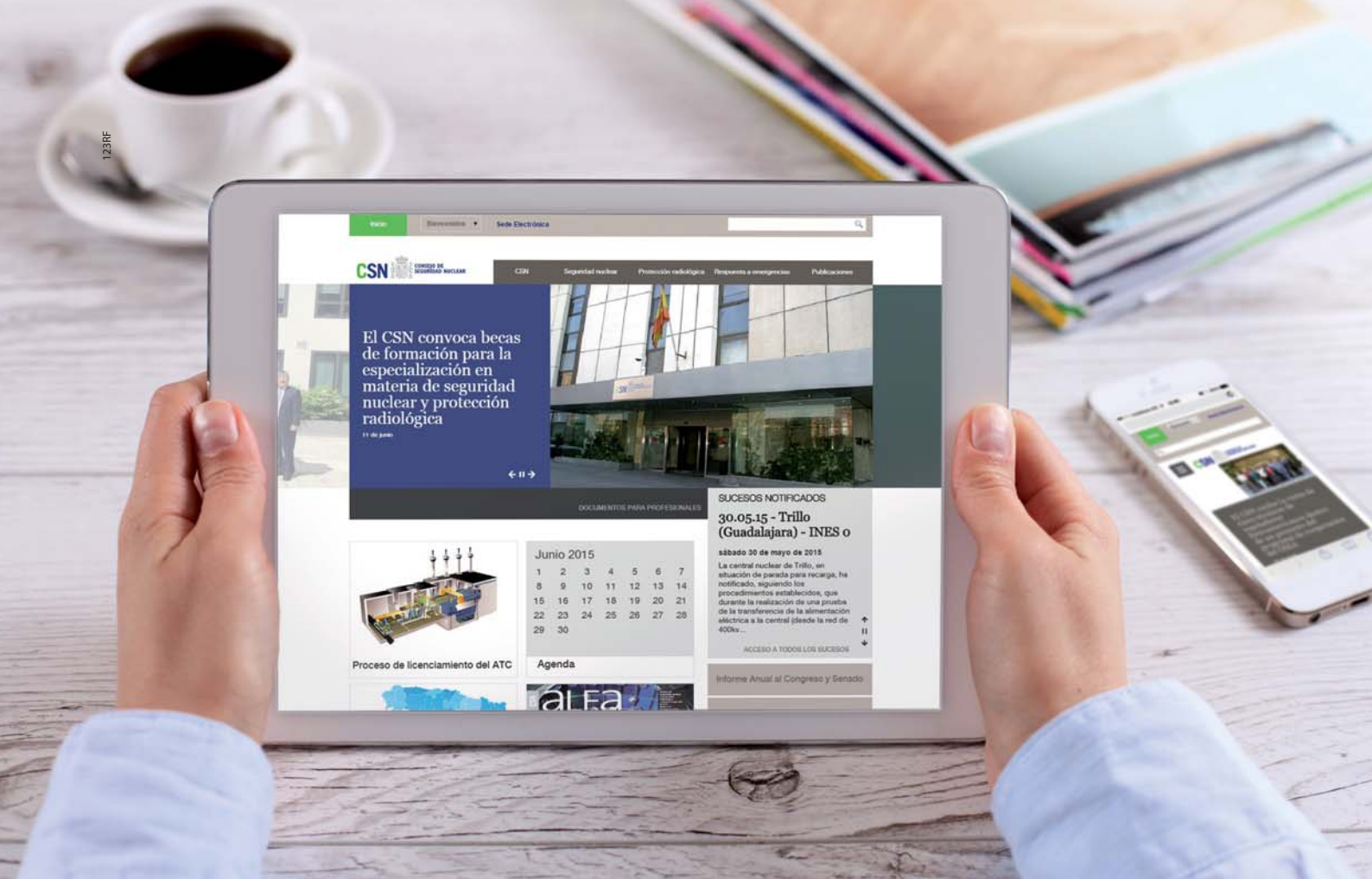
El CSN estrena nueva web



El CSN por dentro
Salem, veinticuatro horas al día en alerta permanente



Pierre-Franck Chevet,
presidente de la Autorité
de Sûreté Nucléaire
(ASN): "Hay que
desarrollar la cultura del
riesgo mediante la
participación ciudadana"



El Consejo de Seguridad Nuclear estrena web con mejores contenidos, mejor usabilidad y un diseño *responsive* que se adapta a todas las pantallas y a los nuevos terminales inteligentes.

Toda la información sobre seguridad nuclear y protección radiológica, de la mano del organismo regulador, ahora más fácil de navegar y con una estructura más clara.



www.csn.es

Nueva imagen para el CSN

Comenzamos una nueva andadura en Internet con la renovación completa de nuestra página web corporativa. El nuevo portal nace con la ambición de ser un canal importante dentro de un modelo integrado de información y comunicación al público, conforme al desarrollo de la sociedad de la información. La nueva página web del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) se ha actualizado y hecho más visual, tratando de resaltar el valor de los documentos asociados a los contenidos, ofreciendo a primera vista textos más comprensibles para el público y dando la posibilidad, a quien esté interesado, de descender al nivel de detalle necesario con el máximo rigor.

Otro cambio técnico importante en el portal y que recoge este número de *Alfa*, es que se ha hecho lo que se denomina un diseño *responsive* de la web, para su adecuación a teléfonos inteligentes y tabletas.

Por otro lado, en este nuevo número de *Alfa* analizamos los contenedores de transporte y almacenamiento temporal de combustible gastado. A lo largo de su vida, el combustible nuclear va completando varias etapas de la gestión. El primer destino es la vasija del reactor, donde lleva a cabo su función principal. El segundo es la piscina de almacenamiento en húmedo de la propia central nuclear, en la que permanecerá varios años

para permitir que decaiga tanto el calor residual como algunos de los radionucleidos productos de fisión. Y el tercero, el almacenamiento temporal en seco, en contenedores. Existe una gran experiencia internacional en el uso de contenedores de combustible gastado y en su transporte. Ambas actividades están reguladas a través de los procesos de licenciamiento y del control y supervisión que ejercen los organismos reguladores.

La nueva web del CSN ofrece textos más comprensibles y permite descender al nivel de detalle necesario con el máximo rigor.

El presidente de la Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) de Francia, Pierre-Franck Chevet, ocupa las páginas de la entrevista de este número y en ellas desgrana la opinión del organismo regulador francés sobre las condiciones de seguridad en la extensión de vida de las centrales nucleares, la aplicación de las medidas post

Fukushima en el país galo o la convivencia entre la normativa internacional y las directivas europeas.

Por otro lado, presentamos la Sala de Emergencias del CSN, operativa y alerta las veinticuatro horas al día, todos los días del año, y el lugar desde el que el organismo regulador lleva a cabo una de sus funciones principales, la de velar por la seguridad de las instalaciones nucleares y radiológicas y vigilar la calidad radiológica del medio ambiente del territorio nacional en situaciones de accidente.

En la *Radiografía* de este número indagamos sobre el control de las plagas como la mosca tsé-tsé, la del ganado o la mosca mediterránea de la fruta mediante la técnica del insecto estéril.

También conoceremos cuáles son los principales proyectos de I+D en los que participa el CSN y que no se centran únicamente en la escala nacional si no que llegan hasta la cooperación internacional.

Pasando al ámbito más científico, en las páginas de este número encontramos el trabajo que se ha puesto en marcha para descifrar los problemas matemáticos que hasta ahora resultaban irresolubles mediante la computación cuántica y, además, la misión Rosetta y su módulo Philae, que llevan desde 2004 investigando el rocoso misterio de los cometas.



ALFA

Revista de seguridad nuclear
y protección radiológica
Editada por el CSN
Número 27 / 1 trimestre 2015

Comité Editorial

Fernando Marti Scharfhausen
Antonio Munuera Bassols
Fernanda Sánchez Ojanguren
Enrique García Fresneda
Ángel Laso D'Lom
Manuel Toharia Cortés
Ignacio Fernández Bayo

Comité de Redacción

Ángel Laso D'Lom
Concepción Muro de Zaro

Natalia Muñoz Martínez

Antonio Gea Malpica
Manuel Aparicio Peña
Ignacio Fernández Bayo

Edición y distribución

Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid
Fax 91 346 05 58
peticiones@csn.es
www.csn.es

Coordinación editorial

Divulga S.L.
Diana, 16 - 1º C
28022 Madrid

Fotografías

CSN, Divulga, Javier Fernández,
iStockphoto y Depositphotos

Impresión

Estugraf Impresores S.L.
Pol. Ind. Los Huertecillos, Nave 13
28350 Ciempozuelos (Madrid)

Fotografías de portada

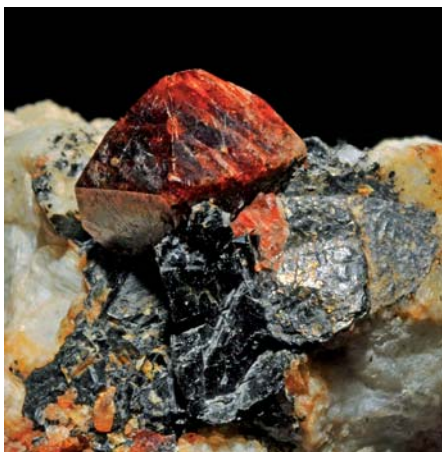
CSN, ASN/S. Calvet/Abaca

Depósito legal: M-24946-2012
ISSN-1888-8925

© Consejo de Seguridad Nuclear

Las opiniones recogidas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus autores, sin que la revista *Alfa* las comparta necesariamente.

REPORTAJES

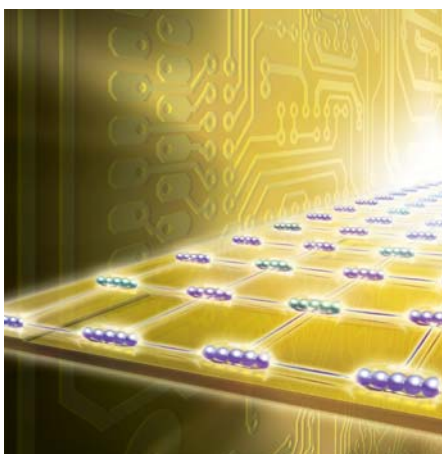


4 Un calendario para el Universo

El conocimiento de los procesos de desintegración atómica espontánea y la medición de los periodos de semidesintegración de los diferentes isótopos han permitido disponer de auténticos relojes y calendarios para medir la edad de las rocas, los restos biológicos y la del propio planeta.

16 El CSN estrena nueva web

Con el objetivo de mejorar sus contenidos y presentación, el Consejo de Seguridad Nuclear ha estrenado una nueva web, cuya realización es fruto de un trabajo intenso, largo y minucioso. Este escaparate de la actividad del organismo es una herramienta básica dentro su política de transparencia y comunicación.



22 La I+D, una seña de identidad del CSN

El Consejo de Seguridad Nuclear mantiene un plan de I+D, que desarrolla en colaboración con universidades y centros de investigación nacionales e internacionales, con el objetivo de mantenerse en la vanguardia del conocimiento en cuanto atañe a la seguridad nuclear y a la protección radiológica.

35 Computación cuántica: nuevas reglas del juego para los ordenadores

Los ordenadores del futuro superarán radicalmente la capacidad de los más avanzados supercomputadores actuales, ya que funcionarán con principios basados en las propiedades de la mecánica cuántica y podrán distinguir no solo dos estados, encendido/apagado o 0/1, sino también estados intermedios. Un reto complejo que aún se encuentra lejos de ser una realidad.



52 Cita con un cometa

La misión Rosetta es una de las más ambiciosas y complejas que nunca antes había intentado el ser humano: enviar una sonda espacial al encuentro de un cometa, orbitarlo durante más de un año y posar sobre él un módulo, Philae, para hacer experimentos *in situ*. Los datos de la misión permitirán comprender la naturaleza de estos cuerpos celestes y reconstruir la historia del sistema solar.

59 La necesidad y la virtud

A lo largo de más de dos años, la revista *Alfa* ha mantenido una sección, bajo el nombre de Tecnología Nuclear Española, para dar a conocer el trabajo que diferentes organismos y empresas nacionales realizan en investigación y desarrollo dentro del sector. Aquí se realiza un repaso de las nueve entidades que han desfilado por la revista para ofrecer una imagen de conjunto de la situación del sector.

EL CSN POR DENTRO

42 Salem, veinticuatro horas al día en alerta permanente

La Sala de Emergencias (Salem) del Consejo de Seguridad Nuclear permanece en permanente estado de alerta, listo para entrar en funcionamiento en cuanto se detecte cualquier incidente en una instalación nuclear o radiactiva y determinar las acciones que se deben realizar para recuperar la normalidad de la instalación.

26 RADIOGRAFÍA

Control de plagas: técnica del insecto estéril.

ENTREVISTA

28 Pierre-Franck Chevet, presidente de la Autorité de Sûreté Nucléaire

“La ASN se esfuerza para desarrollar la cultura del riesgo mediante la participación de los ciudadanos”.

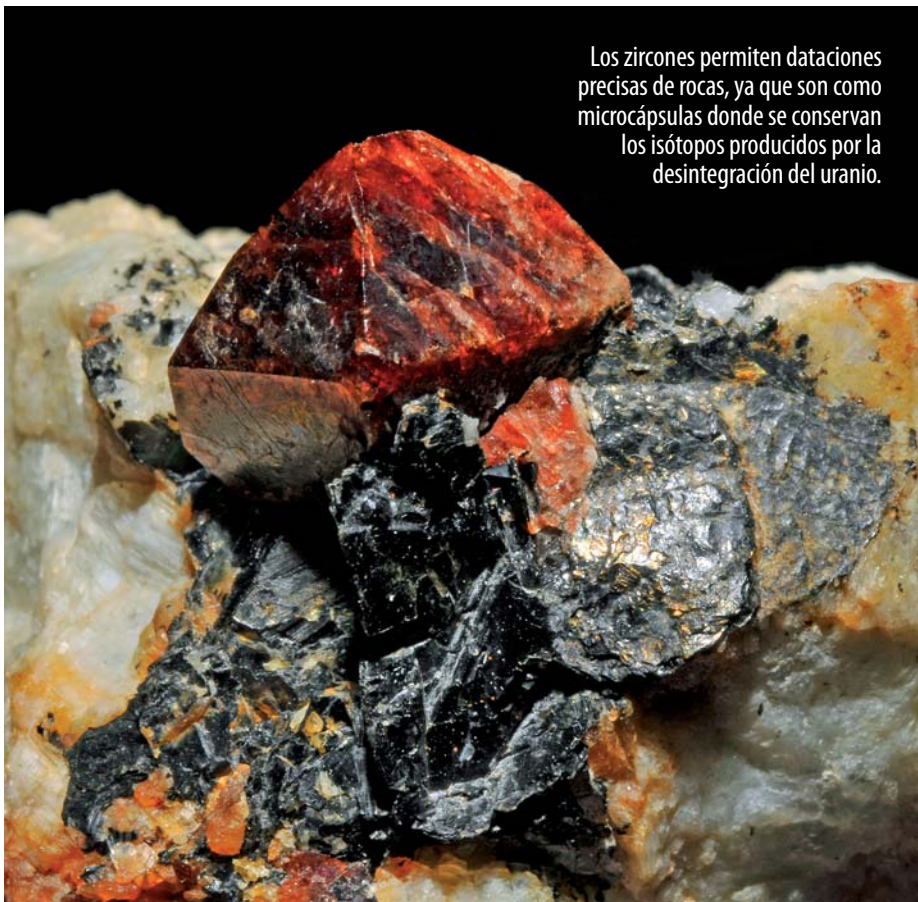
ARTÍCULO TÉCNICO

8 Contenedores para el almacenamiento temporal y el transporte del combustible gastado

El almacenamiento temporal del combustible nuclear gastado es una etapa intermedia del ciclo del combustible y un reto importante para los países con centrales nucleares. Tanto si optan por el ciclo abierto como por el reprocesado es necesario el transporte de dicho combustible. Este artículo revisa la experiencia internacional y la del CSN, como organismo que evalúa su seguridad y supervisa su fabricación.



45	Reacción en cadena
49	El CSN informa
65	Panorama
69	Acuerdos del Pleno
71	csn.es
72	Publicaciones



Los zircones permiten dataciones precisas de rocas, ya que son como microcápsulas donde se conservan los isótopos producidos por la desintegración del uranio.

Las técnicas radiométricas supusieron una revolución en la datación precisa de la historia del cosmos, la Tierra y los seres vivos

Un calendario para el Universo

En 2015 se cumple el centenario de la publicación del libro *El origen de los continentes y océanos*, en el que el geofísico Lothar Wegener (1880-1930) presentó al mundo su teoría de la deriva continental. Hasta ese momento, la creencia mayoritaria suponía que la corteza terrestre era fija y que se arrugaba como la piel de una manzana que se seca por efecto del enfriamiento del planeta. Su tesis no sería aceptada hasta la década de los sesenta, cuando la aplicación de la radiación en la datación de rocas demostró definitivamente el movimiento de las placas tectónicas. Desde entonces, los relojes radiométricos han estimado la edad del Universo, de la Tierra y de nuestros remotos antepasados. Hoy todavía sigue cambiando la Historia de la Humanidad con sus descubrimientos. ■ Texto: **Elvira del Pozo** | periodista de ciencia ■

“Un fósil no deja de ser una pieza de museo sin un marco cronológico”, cuenta el coordinador del Programa de Investigación de Geocronología del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH), Josep María Parés. Para saber por qué sucedieron las cosas es necesario saber cuándo pasaron y a qué ritmo. Por ejemplo, no es lo mismo que la desaparición masiva de especies se produjera en un espacio muy corto de tiempo o largo. En el primer caso, pudo ser consecuencia de un meteorito; en el segundo, de un cambio climático.

El problema reside en encontrar observadores que nos puedan contar qué pasó hace tanto tiempo. Numerosas rocas sí que estuvieron casi desde el origen del planeta y, además, llevan en su composición las marcas de lo que transcurrió a su alrededor, como cicatrices que hablan de su pasado. Pero ¿quién las entiende si no hablan? La radiación.

La datación radiométrica es uno de los métodos más extendidos para interpretar la edad de los minerales. Se basa en el hecho de que algunos átomos que componen la materia son radiactivos e inestables y, de manera natural, se van transformando en otros isótopos con el tiempo. Conociendo los productos de desintegración y la velocidad de desintegración se puede saber cuándo se originó cierto material a partir de la cantidad relativa de átomos padres e hijos, explica el geocronólogo de la Universidad de Salamanca, Gabriel Gutiérrez.

Una de las técnicas más conocidas es la del carbono-14. En la materia orgánica muerta, el núcleo de este isótopo emite radiación hasta convertirse en su forma estable, el carbono-12. Se toman unos pocos miligramos de muestra (a partir de cuatro si se trata de huesos, 10 madera, y 20 si son cabellos o textiles) y se determina el número de átomos que hay de cada uno con un espectrómetro de masas, “que

no es más que una balanza muy precisa que mide isótopos”, cuenta Parés. Como experimentalmente se ha demostrado que la mitad de los átomos de carbono-14 de una muestra inicial tarda en desintegrarse alrededor de 5.730 años, la proporción de ambos carbonos determinará cuántos años han pasado desde que murió el ser vivo que generó el resto analizado.

Otro elemento muy utilizado es la datación en cristales de circones, considerados como el material terrestre más antiguo, a través del uranio-238, cabeceira de una serie radiactiva. Decae muy lentamente, con una constante de semi-desintegración de 4.500 millones de años y se transforma primero en torio-234 y sucesivamente en otros isótopos inestables hasta llegar al plomo-206, con una vida demasiado larga como para poder ser medida, por lo que se supone que es estable.

De dientes a meteoritos

En 1988, la técnica del carbono-14 sirvió para demostrar que la Sábana Santa no pudo envolver a Jesucristo en el momento de su muerte. La tela y el rostro pintado fueron fechados trece siglos después de la crucifixión. Si el sudario hubiera sido más antiguo de 60.000 años, todavía hoy habría controversias respecto al tema, porque el carbono-14 se transforma totalmente y desaparece de los restos orgánicos después de ese tiempo. Esta es la limitación de la datación por radiocarbono, explica Parés.

No hay un método de datación radiométrica universal, pues no hay ningún isótopo radiactivo que tenga una vida que abarque desde el origen del Universo hasta la actualidad. Tampoco que esté presente en todos los materiales. Por eso, en función del objeto a datar y de su antigüedad esperada, se escoge la pareja de átomos radiactivos a medir, comenta el profesor del Departamento de Petrología y Geoquímica de

la Universidad Complutense de Madrid, Javier Fernández.

Para restos fósiles orgánicos más antiguos que 60.000 años, se han desarrollado otros métodos distintos a los radio-

de ellos existieron en los últimos 545 millones de años), explica Gutiérrez. También se emplean el paleomagnetismo, basado en el hecho de que ciertos minerales se orientan en función del campo mag-

nético cambiante de la Tierra; o la termoluminiscencia, que permite saber cuándo fue la última vez que le dio la luz a un material. “Todas estas metodologías sirven para hacerse una idea del rango temporal, pero si se quiere mayor precisión en edades antiguas, el método estrella es

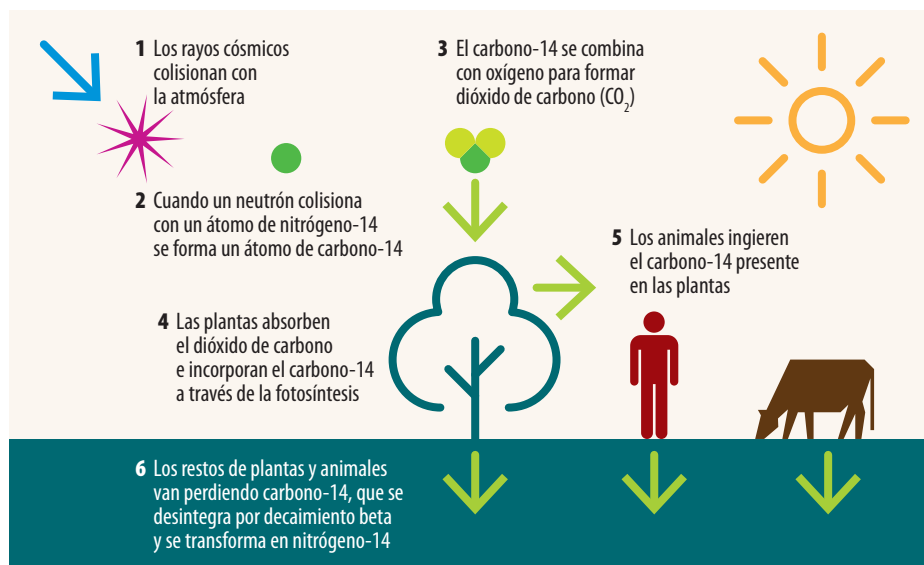


Josep María Parés, coordinador del Programa de Geocronología del CENIEH.

el radiométrico”, cuenta el investigador. De ellas, las basadas en las series de uranio no solo son más exactas, sino que cubren de sobra toda la evolución humana, comenta Parés, desde que hace entre 5 y 7 millones de años los primeros homínidos se separaron de la línea evolutiva de los chimpancés. Los isótopos de este elemento se han medido tradicionalmente en los minerales con uranio que rodeaban al fó-

el radiométrico”, cuenta el investigador.

De ellas, las basadas en las series de uranio no solo son más exactas, sino que cubren de sobra toda la evolución humana, comenta Parés, desde que hace entre 5 y 7 millones de años los primeros homínidos se separaron de la línea evolutiva de los chimpancés. Los isótopos de este elemento se han medido tradicionalmente en los minerales con uranio que rodeaban al fó-



El ciclo del carbono-14.

Series de uranio y residuos radiactivos

El conocimiento del comportamiento natural de los isótopos radiactivos, no solo data elementos y establece una cronología, sino que también permite entender cómo evolucionarán los combustibles gastados de una central nuclear a largo plazo. Un proyecto europeo con participación española estima que “la naturaleza tiene capacidad de confinar, de manera segura, los productos que se generan en la fisión durante centenares de millones de años”, explica el responsable de Ingeniería de Suelos e I+D de Enresa, Julio Astudillo.

En 1972 se hizo público el descubrimiento del primer reactor de fisión existente de forma natural en el medio ambiente. Se trataba de la mina de Oklo, en Gabón (África), en la que se encontraron proporciones de uranio-235 por debajo de las consideradas normales en la naturaleza, 0,72 % (el resto es mayoritariamente uranio-238). Estas bajas concentraciones eran parecidas a las que se registran en el combustible agotado de una central nuclear.

La datación radiométrica estima que hace 2.300 millones de años ese enclave debió acumular una concentración tal de uranio 235 que comenzaron de manera espontánea reacciones en cadena de fisión. “Este proceso duró entre 100.000 y un millón de años”, cuenta Astudillo. Debido a las condiciones de presión y temperatura existentes no produjo una liberación explosiva de energía, por lo que todavía perduran los hijos de los subproductos de aquella fisión. “Está casi toda la tabla periódica presente: desde plomo, paladio, bismuto, arsénico...”, explica.

Oklo es lo que se llama un análogo natural, es decir una réplica de un proceso artificial, como es la reacción de fisión nuclear en cadena, en el medio ambiente. Su estudio tiene el objetivo de poder ver si los resultados y los modelos que se han obtenido en laboratorio se siguen cumpliendo durante miles de millones de años, comenta Astudillo. En el lugar, además, se contaba con una barrera natural de arcilla que permitió demostrar su capacidad de confinamiento de elementos radiactivos. También se pudo observar, en una zona con el muro alterado, que “a pesar de que pudieron escapar, la migración de estos compuestos no fue alta”, cuenta.

Estudios posteriores en la península ibérica desvelaron la existencia de análogos naturales de algunos de los procesos relacionados con el almacenamiento de productos de fisión. “España posee emplazamientos con características geológicas idóneas para albergar este tipo de compuestos”, concluye.



Reactor nuclear de Oklo.



Julio Astudillo, responsable de I+D de Enresa.

sil orgánico. Aunque, el equipo que dirige Parés los busca directamente en los dientes de los especímenes encontrados en el yacimiento de Atapuerca (Burgos).

Y no es que nuestro cuerpo contenga este material radiactivo. “Afortunadamente no, lo que pasa es que, cuando el organismo fallece, su dentadura acumula pequeñas dosis del uranio-238 procedente del ambiente”, explica. El isótopo libera radiación lenta pero

constantemente, lo que provoca daños cristalinos en la estructura de la muela, que son mayores cuanto más tiempo lleve muerto. Esta técnica se conoce como resonancia paramagnética electrónica.

Otros relojes radiométricos son el samario-neodimio, lutecio-hafnio y el renio-osmio, que tienen vidas suficientemente largas como para datar elementos próximos a la creación del planeta, explica

Gutiérrez. “De hecho, con ellos se ha datado la edad de la Tierra y del sistema solar, gracias a su aplicación a los objetos más antiguos que se conocen: los meteoritos”, puntualiza.

El isótopo kriptón-81, que se genera en la atmósfera por el impacto de los rayos

cósmicos y se deposita en la superficie terrestre, se ha utilizado recientemente para datar hielo de la Antártida de hace 1,5 millones de años. Esto puede ayudar a reconstruir el clima en edades antiguas del planeta y los mecanismos que lo produjeron. Otros dos elementos, el potasio y el argón, son los responsables de haber concretado el día de un hecho histórico más reciente: la erupción que destruyó Pompeya

ocurrió exactamente el 24 de agosto del año 79 d. C., cuenta Fernández.

Los relojes radiométricos fueron propuestos por primera vez en 1907 por el radioquímico Bertram Boltwood (1870-1927), años después de que el matrimonio Curie pusiera nombre a la radiación. Junto con las técnicas de estratificación, que suponen que los materiales en la misma capa de suelo son contemporáneos y más recientes que los estratos que quedan por debajo, esta metodología estableció, por primera vez, la escala de tiempo geológico.

Una y mil historias

Toda una revolución que reconstruyó la historia del planeta, alejándola de creencias como que la Tierra se creó en la madrugada del 23 de octubre del año 4.004 a. C. El artífice de esta idea, el obispo irlandés James Ussher (1581-1656), no lo podía saber, pero sus estimaciones a partir de la Biblia arrastraban un error de miles de millones de años. Establecer un marco temporal permitió determinar la edad de los fósiles y vislumbrar los cambios evolutivos.

Pese a todo, la datación con isótopos no se trata de un modelo matemático en el que al introducir el número de átomos de padres e hijos se obtienen automáticamente las unidades de tiempo. Los datos necesitan ser interpretados, explica Fernández. La complejidad de los procesos que ha sufrido un elemento mineral determina la dificultad para saber si contiene una o varias edades. “Hay rocas con muchas historias juntas y otras con menos”, cuenta.

Primero es necesario determinar que toda la muestra que se quiere datar es contemporánea. Para eso se toman muestras de distintas partes de la roca y se contrastan los resultados con otras técnicas. De esta manera también se evitan lecturas inexactas en el caso de

que hubiera habido alguna contaminación. Esto es frecuente en restos orgánicos afectados por infiltraciones carbonatadas, procedentes de manantiales que se filtraron en la cueva, por ejemplo; o por un aporte de carbono más reciente, en el caso de que algunas raíces pudieran haberse mezclado con la madera que se va a fechar. En estos casos, la cantidad de carbono-14 aumenta y la pieza rejuvenece.



Gabriel Gutiérrez, geólogo de la Universidad de Salamanca.



El potasio y el argón han permitido determinar la fecha exacta de la erupción volcánica que destruyó Pompeya.

El problema reside en que la datación radiométrica es un método destructivo que requiere la extracción de material de la muestra. Esto puede limitar su uso

en elementos especialmente valiosos como una pintura rupestre o los escasos vestigios de un yacimiento prehistórico. “Los huesos son las catedrales de los paleontólogos”, comenta Parés. Por eso, para minimizar el impacto, se utiliza la espectrometría de masas, que permite mayor fiabilidad empleando solo microperforaciones.

Unos materiales que son difíciles de datar son las arenas de una playa. “Son cajones de sastre de detritos —restos de rocas erosionados arrastrados por un río— en el que cada uno tiene una edad muy distinta”, comenta Fernández. En estos casos, solo se podría conocer cuándo sedimentaron, en el caso de que se hubiera creado un nuevo material.

La precisión de la fecha depende también de la pareja de isótopos escogida. Los resultados obtenidos con radiocarbono pueden llegar a establecer edades de miles de años con una incertidumbre de un par de décadas por arriba o por debajo. En el caso del uranio-plomo, en el mejor de los casos, para lecturas de 3.000 millones de años, la fluctuación aumenta hasta el millón de años, explica Fernández. “En ambos casos parece un error asumible”, considera.

En enero de este año, se publicaba en la revista *Nature* la primera evidencia física de que los humanos modernos, los *sapiens* que salieron de África hace 70.000 años, y los neandertales se relacionaron hace 55.000 años. El descubrimiento se basa en la lectura con uranio-torio de un cráneo parcial encontrado en la Cueva Manot (Israel). Este hallazgo demuestra la actualidad de una técnica, la radiocronología, que todavía tiene mucho que aportar a la historia, comenta Fernández. Con métodos cada vez más precisos, menos invasivos y nuevas parejas de isótopos se podrá ahondar en el funcionamiento de la Tierra y anticiparnos a procesos futuros. “¿O es que acaso podemos imaginarnos vivir sin fechas?”, concluye. ©

Contenedores para el almacenamiento temporal y el transporte del combustible gastado

El almacenamiento temporal del combustible nuclear gastado es una etapa intermedia del ciclo del combustible y un reto importante para los países que operan centrales nucleares sea cual sea la opción del ciclo del combustible elegida: reprocesado para la recuperación del uranio y el plutonio (ciclo cerrado) o almacenamiento final directo en formaciones geológicas profundas (ciclo abierto). En ambos casos es necesario el transporte del combustible gastado, bien desde las centrales a las plantas de reprocesamiento o a las instalaciones de almacenamiento a más largo plazo, ya sean temporales o definitivas.

Existe una gran experiencia internacional en el uso de contenedores en instalaciones de almacena-

miento en seco del combustible gastado y en su transporte. Ambas actividades están reguladas a través de los procesos de licenciamiento y del control y supervisión que ejercen los organismos reguladores. Este artículo presenta una visión de esta tecnología, de la experiencia internacional y de la experiencia nacional y del Consejo de Seguridad Nuclear, como organismo que realiza las evaluaciones de seguridad de estos sistemas y la supervisión de su fabricación y de su uso. ■ Texto: **María del Carmen Ruiz López y Gregorio Orozco Hernández** | Área de Residuos de Alta Actividad del CSN | **Fernando Zamora Martín y Manuel García Leiva** | Área de Transportes y Fabricación de Combustible Nuclear del CSN ■

El combustible nuclear, cuando ha finalizado su vida útil, es descargado en las piscinas de combustible gastado ubicadas en las centrales, donde permanece durante un tiempo para permitir el decaimiento de los productos de fisión y la reducción de la generación de calor y de las emisiones gamma, facilitando con ello su posterior manejo y gestión a medio y largo plazo.

Dado que estas piscinas tienen una capacidad limitada, aunque en la mayoría de ellas se ha incrementado mediante el cambio de los bastidores originales por otros con venenos neutrónicos (*re-racking*), en muchos casos ha resultado necesaria la implementación de otras soluciones. Esta necesidad ha resultado más notoria en países que, habiendo optado por el ciclo abierto, no disponen de instalaciones de almacenamiento temporal centralizado operativas y en aquellos otros que, habiendo optado por el ciclo cerrado, envían el combustible gastado a otros países para su reprocesado.

La estrategia preferida para disponer de capacidad adicional es el almacenamiento temporal en seco. De las tecnologías de almacenamiento en seco disponibles (módulos, silos o bóvedas y contenedores) la más extendida es la de contenedores.

En España, la opción considerada para la gestión del combustible nuclear es el ciclo abierto. Tras la realización del *re-racking*, en todas las piscinas de las centrales en operación, se han ido construyendo instalaciones de almacenamiento temporal individualizado (ATI) en contenedores cuando ha sido necesario, bien por la saturación de las piscinas (Trillo y Ascó) o para el desmantelamiento de la central (José Cabrera). Posteriormente, de acuerdo con las estrategias contempladas en los sucesivos planes de gestión de residuos radiactivos aprobados por el Gobierno, el combustible será transportado a la instalación de almacenamiento temporal centralizado (ATC) prevista, y en su día a una instalación de almacenamiento geológico profundo.

Tipos de contenedores: diseños conceptuales

Existen distintos tipos de contenedores que, por su diseño conceptual y funcionalidad, pueden agruparse en los dos siguientes, representados en la figura 1:

— **Contenedores de doble propósito**, válidos para almacenamiento y transporte de combustible gastado, están constituidos por un cuerpo metálico con varias capas, que aloja el bastidor con el combustible (dotado de veneno neutrónico para garantizar la subcriticidad), y cerrados por dos tapas empernadas. El conjunto, relleno de un gas inerte, para prevenir la degradación del combustible, proporciona el blindaje contra la radiación gamma y neutrónica, el confinamiento de la actividad y la disipación del calor, favorecida mediante aletas metálicas (internas o externas). El espacio entre tapas, relleno de un gas inerte a presión, es monitorizado para garantizar la estanqueidad. Estos contenedores disponen de muñones para su elevación y manejo, y en la modalidad de transporte llevan adaptados en sus

extremos unos limitadores de impacto que reducen las cargas mecánicas que puedan producirse en un accidente.

— **Sistemas con cápsula multipropósito, un contenedor para almacenamiento y otro para transporte.** La cápsula de acero inoxidable (válida para almacenamiento temporal, transporte y almacenamiento definitivo) aloja los elementos combustibles en un bastidor (con veneno neutrónico para mantener la subcriticidad). La cápsula, una vez rellena de gas inerte y cerrada mediante soldadura de alta cualificación, puede ser introducida en el módulo de almacenamiento (de hormigón y acero) o en el contenedor de transporte (metálico), utilizando un contenedor de transferencia. El módulo de almacenamiento y el contenedor de transporte proporcionan las funciones de confinamiento de la radiactividad, de blindaje contra la radiación y eliminación del calor. El módulo de almacenamiento va provisto de conductos con entrada y salida de aire en la parte inferior y superior, que favorecen la liberación de calor. Su traslado dentro de la instalación se efectúa en posición vertical mediante un vehículo especial. El contenedor de transporte dispone de muñones para su manejo y una vez cargado irá provisto de limitadores de impacto (véase figura 1).

En ambos casos son diseños robustos y con seguridad pasiva, capaces de mantener las funciones de seguridad en operación normal y en los accidentes postulados. La figura 2 muestra las pruebas que representan estos accidentes en el transporte. La fabricación y pruebas asociadas están sometidas a un programa de garantía de calidad aprobado por el organismo regulador.

Panorama internacional

La demanda creciente de contenedores para combustible gastado en los últimos años ha propiciado el aumento de

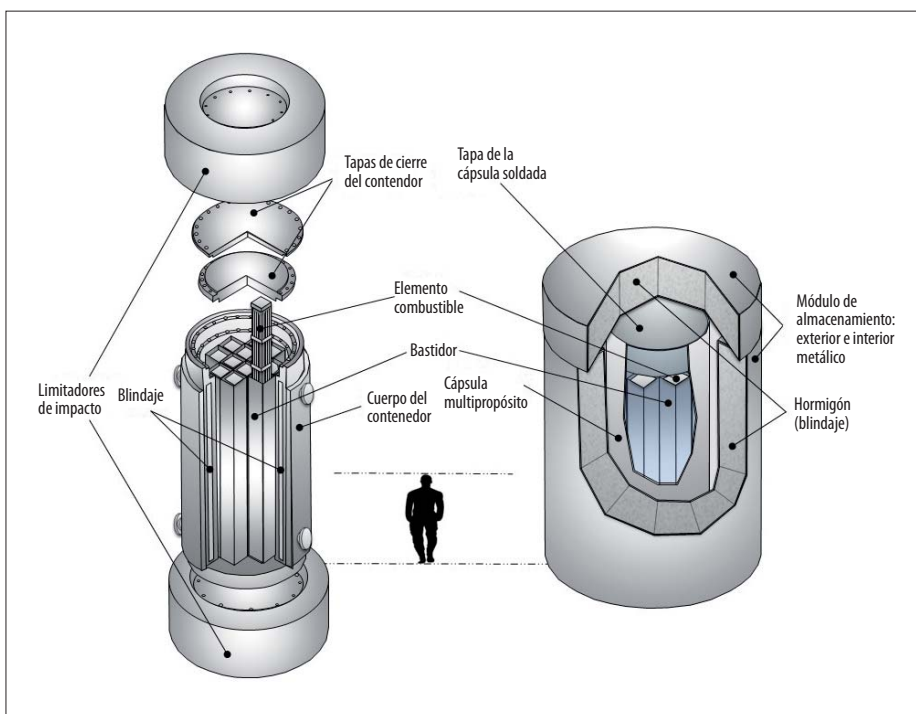


Figura 1. Esquema de los dos diseños conceptuales de contenedores: de doble propósito y sistema de almacenamiento con cápsula multipropósito.

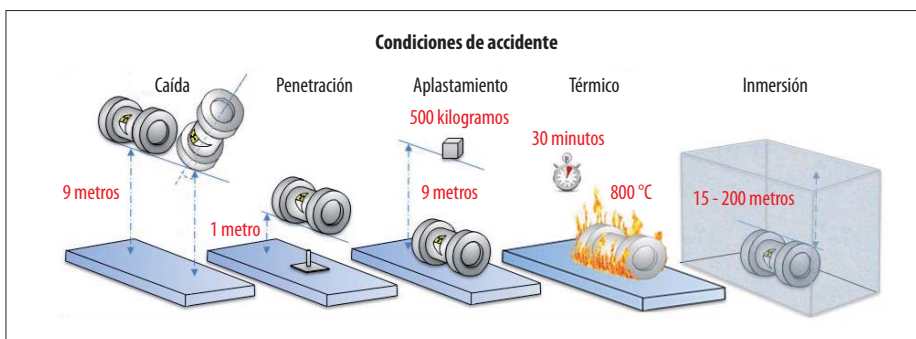


Figura 2. Ensayos que ha de superar un bulto de transporte de sustancias fisionables.

los diseños disponibles, desarrollados fundamentalmente por compañías comerciales de Alemania, EE UU y Francia, tales como GNS (*Gesellschaft für Nuclear Sicherheit*), HOLTEC International, NAC (*Nuclear Assurance Corporation*) y Areva TN.

Experiencia en almacenamiento

La experiencia de almacenamiento de combustible gastado en contenedores es de alrededor de 30 años. Existen numerosas instalaciones de almacenamiento temporal de combustible en contenedores en países como Alemania, Canadá,

Bélgica, EE UU, España, Lituania, Japón, República Checa y Suiza, ubicadas en su mayoría en los emplazamientos de las centrales nucleares, si bien también existen instalaciones centralizadas que utilizan esta tecnología. Los casos más representativos, por el número de instalaciones de este tipo, son EE UU y Alemania.

En EE UU, con 100 reactores operativos, más de la tercera parte del combustible gastado generado se encuentra en las más de 60 instalaciones de almacenamiento temporal en seco existentes en los emplazamientos de las centrales, algunas de ellas en plantas desmanteladas o en

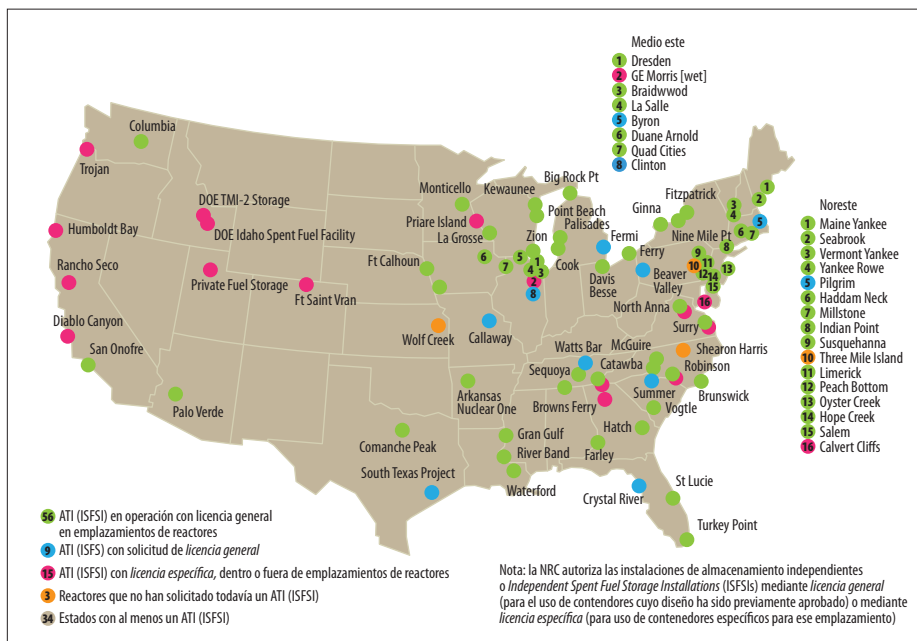


Figura 3. Instalaciones de almacenamiento temporal en Estados Unidos. En la parte superior derecha, vista de la instalación de la central de Surry, con contenedores de doble propósito, en operación desde 1986. En la parte inferior, vista de la instalación de la central Connecticut Yankee (ya desmantelada) con un sistema de cápsula metálica (NAC-MPC).

desmantelamiento. Gran parte de estas instalaciones utilizan contenedores de distintos diseños, que se ubican verticalmente en plataformas de hormigón a la intemperie, según se muestra en la figura 3. Los contenedores, aprobados inicialmente por un periodo de 20 años, que puede ser prorrogado (previa revisión de la seguridad, una vez comprobado que el usuario dispone de un programa de envejecimiento adecuado para su vigilancia y mantenimiento), está hoy previsto que podrían estar operativos durante más de 60 años, según la posición adoptada por el organismo regulador (NRC Rule “Continued Storage of Spent Nuclear Fuel”).

Alemania, con nueve reactores en operación actualmente, cuenta con doce instalaciones de almacenamiento temporal en seco en los emplazamientos de centrales nucleares, algunas de ellas en desmantelamiento, además de dos instalaciones de almacenamiento temporal centralizado en Ahaus y Gorleben. Alrededor de la mitad del combustible generado ha sido reprocessado y más de una cuarta parte del total del combustible se encuentra alma-

cenado en alrededor de 1.500 contenedores metálicos de doble propósito (para almacenamiento y transporte), de diseño y fabricación nacional (tipo CASTOR), ubicados verticalmente en edificios de hormigón armado de gran espesor de pared (figura 4). La vida de operación considerada es de 40 años, aunque no se descarta que tenga que ser ampliada.

Experiencia en transporte

La principal experiencia en transporte de combustible gastado se ha dado en aquellos países que han optado por el reprocessado del combustible. Son especialmente significativos los transportes que se han venido realizando por vía marítima desde Japón a las instalaciones comerciales de reprocessamiento de Francia (la Hague) y de Reino Unido (Sellafield), iniciados hace 30 años, y las realizadas por tren y carretera en Europa, desde las centrales nucleares de Alemania, Bélgica y Suiza a las citadas plantas de reprocessamiento. Hasta ahora no ha habido accidentes en el transporte de este tipo de bultos que hayan dado lugar a escape de radiactividad ni conse-

cuencias importantes para el público o el medio ambiente.

Son pocos los países que disponen de instalaciones de almacenamiento temporal centralizado, por lo que la experiencia de transporte de combustible gastado en este caso es menor, aunque es destacable la de Suecia, donde el combustible se viene transportando por vía marítima desde las centrales hasta la instalación de Clab.

Aunque hay numerosos diseños de bultos de transporte aprobados, la mayoría giran alrededor del concepto tipo descrito en el apartado anterior.

Situación nacional

En España la mayor parte del combustible gastado está almacenado en las piscinas de los ocho reactores nucleares en operación (uno de ellos en situación de cese de explotación) y solo una pequeña parte se encuentra actualmente en los contenedores de diferente diseño ubicados en los ATI existentes en las centrales nucleares de Trillo, José Cabrera y Ascó. Los contenedores de Trillo y los previstos para Santa María de Garroña son de doble propósito, mientras que en José Cabrera y Ascó se trata de sistemas

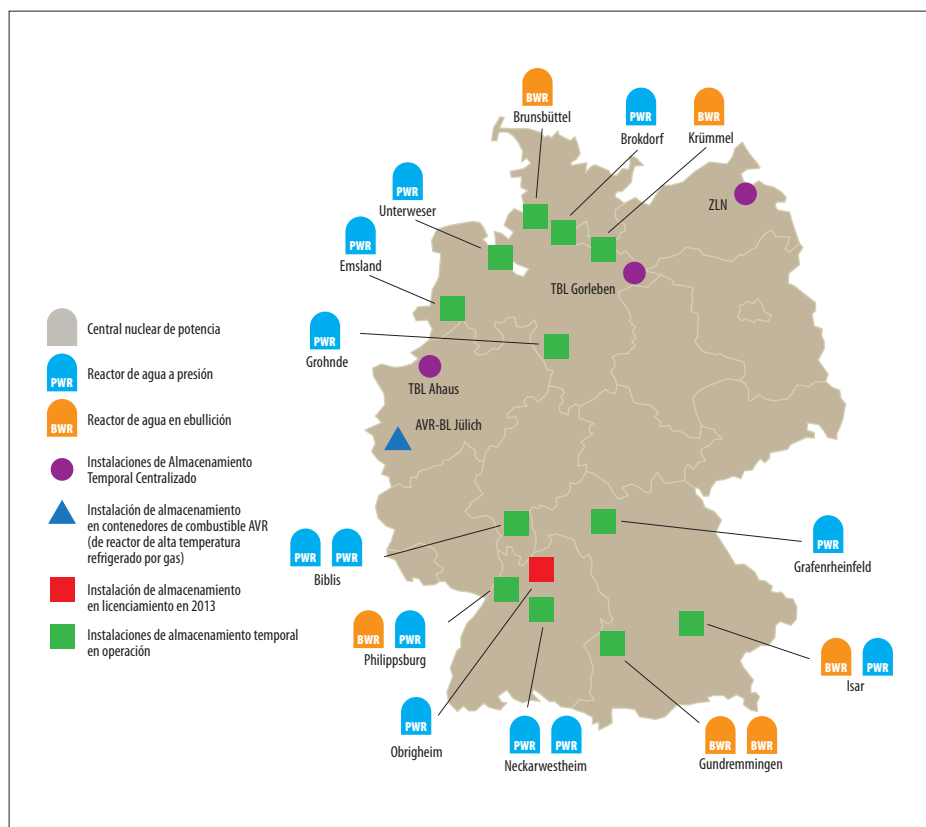


Figura 4. Instalaciones de almacenamiento en Alemania. Vista exterior e interior de la instalación de almacenamiento temporal centralizada en contenedores de Gorleben.

con cápsula multipropósito, común al módulo de almacenamiento y al contenedor de transporte. En la tabla 1 se resumen los diseños de los contenedores aprobados y en licenciamiento.

Contenedores de doble propósito

— El contenedor en uso en Trillo (DPT) desde el año 2003, para 21 elementos combustible (tipo KWU 16 × 16), tiene una altura de 5 metros, un diámetro de 2,36 metros y un peso de unas 100 toneladas cargado. Diseñado por la compañía NAC y adaptado a este tipo de combustible por la empresa española Equipos Nucleares (ENSA), está constituido por dos virolas de acero inoxidable, una interna y otra externa (que contiene el blindaje neutrónico) con una capa intermedia de plomo que actúa de blindaje gamma, y va cerrado con dos tapas también de acero inoxidable.

— El contenedor ENUN 52B, para 52 elementos combustible BWR, tipo

General Electric de la central de Santa María de Garoña, tiene 4,84 metros de altura, 2,08 metros de diámetro y un peso de 70,5 toneladas cargado, sin limitadores de impacto. Diseñado por ENSA, tiene un cuerpo de acero al carbono con función estructural y de blindaje gamma, rodeado de un blindaje neutrónico y cerrado con dos tapas también de acero al carbono.

— El contenedor ENUN 32P, para 32 elementos combustibles PWR (tipos Westinghouse y KWU, como los utilizados en las centrales de Almaraz, Ascó, Vandellós II y Trillo), tiene 5 metros de altura, 2,80 metros de diámetro y un peso de unas 118 toneladas cargado. Diseñado por ENSA es similar al contenedor ENUN 52B.

Estos contenedores se introducen en la piscina, sin las tapas superiores, y una vez cargados se trasladan a la zona de secado y sellado, donde son llenados con helio y tras las pruebas de fugas

son descontaminados, previamente a su traslado en posición horizontal al ATI. En el caso de Trillo se trata de un edificio con capacidad para 80 contenedores que se ubican verticalmente (figura 5).

En Garoña está previsto que los contenedores se ubiquen en dos plataformas de hormigón a la intemperie (con una capacidad total para 32 contenedores).

Sistemas con cápsula multipropósito

Los sistemas de almacenamiento, HI-STORM 100Z y HI-STORM 100, en uso en los ATI de las centrales nucleares José Cabrera y Ascó desde el año 2009 y 2013, respectivamente, son del mismo diseño, adaptados al combustible de cada central. Tienen 3,36 metros de diámetro y una altura de 3,98 metros el primero y 5,34 metros el segundo. Diseñados por HOLTEC, son fabricados en colaboración con ENSA.

Tabla 1. Contenedores aprobados y en licenciamiento en España

Tipo genérico		Nombre diseño (instalación)	Fecha aprobación almacenamiento (inicio de uso)	Fecha aprobación transporte (Rev. vigente)	Titular licencia	Diseño original	Fabricante
Contenedores de doble propósito: almacenamiento y transporte		DPT (Trillo)	1997 ^[1] -2002 ^[2] (2003)	1997 (Rev. 4)	Enresa	NAC	ENSA
		ENUN 52B (Garoña)	2014 (-)	[3]	ENSA	ENSA	ENSA
		ENUN 32P (Genérico PWR)	[3]	[3]	ENSA	ENSA	ENSA
Sistema con cápsula multipropósito (MPC)	Contenedor de almacenamiento con MPC	HI-STORM (J. Cabrera)	2006 (2009)	–	Enresa	HOLTEC	ENSA HOLTEC
		HI-STORM (Ascó)	2011 (2013)	–	Enresa	HOLTEC	ENSA HOLTEC
	Bulto de transporte con MPC	HI-STAR (J.Cabrera, Ascó)	–	2009 Rev. 1	Enresa	HOLTEC	HOLTEC

[1] Apreciación favorable de un diseño genérico preliminar. [2] Aprobación del diseño del contenedor en uso en Trillo tras las pruebas de fabricación, que ha sido sucesivamente modificada en 2004, 2009 y 2011 para albergar combustible de mayor grado de quemado. [3] En licenciamiento

Están dotados de un contenedor de transferencia HI-TRAC con capas de acero y plomo, que alberga y blinda la cápsula multipropósito (MPC) durante la carga del combustible en la piscina y las posteriores operaciones (de secado, sellado, mediante soldadura, llenado con helio y prueba de estanqueidad) hasta su transferencia al módulo de almacenamiento HI-STORM. El traslado del módulo de almacenamiento al ATI se efectúa en posición vertical mediante un vehículo tipo oruga.

En ambos casos, los módulos cargados se ubican verticalmente en losas de

hormigón a la intemperie en recintos doblemente vallados, una plataforma con 12 contenedores en José Cabrera, y dos plataformas en Ascó con capacidad total para 32 módulos. En la figura 6 se muestra un esquema del sistema de almacenamiento y de las instalaciones de José Cabrera y Ascó con el detalle del traslado de un módulo.

El contenedor de transporte HI-STAR, válido para la cápsula multipropósito de los sistemas de José Cabrera y Ascó, tiene una longitud de 7,80 metros, incluyendo los limitadores de impacto, y un peso de alrededor de 127 toneladas

cargado con la cápsula. Una vista se muestra en la figura 7.

Un resumen de las características del combustible base de diseño en cada uno de los contenedores aprobados y en licenciamiento se muestra en la tabla 2.

Marco regulador en España

El Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RINR) establece las bases para el licenciamiento de los contenedores y de las instalaciones de almacenamiento temporal que incluye:



Figura 5. Traslado de un contenedor de doble propósito (DPT) de ENSA y vista del interior del ATI de Trillo.

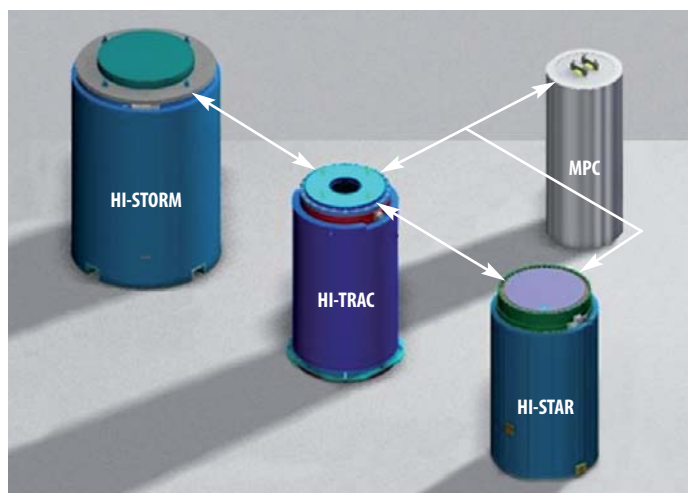


Figura 6. Componentes del sistema con cápsula multipropósito. Vistas de los ATI de José Cabrera en la parte superior y de Ascó en la parte inferior y del traslado del módulo cargado a esta última instalación.

— La aprobación del diseño del contenedor de almacenamiento, artículo 80 del RINR (o en su caso los artículos 82 y 83 sobre diseños genéricos y certificados de modelos aprobados). Se concede por 20 años y puede ser renovada por otros 20, previa revisión de la seguridad y demostración del cumplimiento de los requisitos.

— La aprobación del modelo de bul- to de transporte (artículo 77 del RINR). Se deben renovar periódicamente, alrededor de cada cinco años.

— La autorización de la instalación de almacenamiento temporal, tramita- da como modificación de diseño de las plantas nucleares, de acuerdo con lo establecido en el artículo 25 y subsiguien- tes del RINR.

Normativa para almacenamiento

Los requisitos de seguridad aplicables a los contenedores de almacenamien- to se encuentran en la instrucción del CSN IS-20 que, además de los crite- rios generales de diseño para el cum- plimiento de las funciones de seguri- dad, especifica el contenido del estudio de seguridad y del programa de garan-

tía de calidad a presentar con la solici- tud de aprobación, así como los requi- sitos para el uso de los contenedores (como la necesidad de vigilancia y man- tenimiento y de registro y archivo de la información de fabricación, carga y operación) y los relativos a las modi- ficaciones de diseño.

Estos requisitos se completan con los contenidos en la IS-29, aplicable a las instalaciones de almacenamiento tem- poral, que consideran la necesidad de la revisión periódica de la seguridad y, en su caso, de un plan de envejecimiento.

Ambas normas, tienen en cuenta los requisitos internacionales del Orga- nismo Internacional de Energía Atómi- ca (OIEA) y los niveles de referencia elaborados por el grupo de reguladores europeo (WENRA)



Figura 7. Vista del contenedor de transporte HI-STAR con los limitadores de impacto.

Tabla 2. Parámetros de los combustibles base de diseño aceptables para cada tipo de contenedor

Contenido del combustible: Características y bases de diseño	Contenedores de doble propósito			Sistemas con cápsula multipropósito	
	DPT	ENUN 52B	ENUN 32P	HI STORM 100	HI STORM 100 Z
Número de elementos	21	52	32	32	32
Diseño combustible	KWU Siemens 16 × 16	General Electric 8 × 8	KWU 16 × 16 Westinghouse 17 × 17	Westinghouse 17 × 17	Westinghouse 14 × 14
Permite combustible dañado (número de elementos dañados por contenedor)	NO	NO	SÍ (8)	SÍ (8)	SÍ (8)
Quemado máximo (GWd/tU)	40 45 49	32,5 37,5	15 a 65	55	45
Tiempo enfriamiento mínimo (años)	5 6 9	22,5 22,5	4 a 16,5	5,5 a 20	6
Enriquecimiento (% U-235)					
– mínimo (requisito blindaje)	3,3 3,5 3,7	2,6 2,8	1,90 a 4,90	2,5	3,15
– máximo (requisito subcriticidad)	4 4 4	3,19 3,19		5	3,65

Normativa de transporte

Los requisitos de seguridad se incluyen dentro de las reglamentaciones generales aceptadas internacionalmente para el transporte de todas las mercancías peligrosas. Cada modo de transporte (carretera, ferrocarril, marítimo o aéreo) tiene su propio reglamento, cuyos requisitos, para materiales radiactivos, emanan de la norma SSR-6 del OIEA.

Los bultos de transporte de material fisiónable quedan clasificados como bultos del tipo B(U)F, que han de soportar las condiciones de accidente para dicho material. El diseño de estos bultos está sometido a aprobación, para cuya solicitud se recomienda el seguimiento de la Guía de Seguridad 6.4 del CSN, que incluye el contenido del estudio de seguridad que se debe presentar, que debe ir acompañado del programa de garantía de calidad.

Además, aplican las instrucciones de seguridad IS-34 y la IS-35, y es esta última la que regula las modificaciones de diseño de los bultos de transporte.

Interfases del almacenamiento y del transporte

La interdependencia de la generación del combustible y de todas las etapas de

la gestión está reconocida en normas internacionales trasladadas al marco legal español, como la Convención Conjunta sobre la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y los Residuos Radiactivos, ratificada el 11 de mayo de 1999, y el Real Decreto sobre la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, que transpone la Directiva 2011/70/ del Consejo europeo.

La interfase del transporte de combustible gastado con el almacenamiento temporal es igualmente importante para garantizar la seguridad en el transporte y su transferencia a posteriores etapas de la gestión. Dicha interfase se encuentra contemplada en la instrucción IS-20, que requiere sea tenida en cuenta desde el diseño, tanto para contenedores de doble propósito como solo de almacenamiento. La carga, el secado y el almacenamiento de los contenedores están sometidos a especificaciones técnicas para asegurar que la temperatura se mantiene dentro de los límites aprobados, a fin de prevenir la degradación de los combustibles.

La normativa de transporte impone una serie de verificaciones previas

sobre el bulto, en su primera expedición y antes de cada una de ellas, de manera que se asegure que las condiciones del contenedor, del contenido y del proceso de carga han sido adecuadas para garantizar la seguridad durante el transporte. Toda la información sobre el combustible gastado, desde su historial de irradiación, el plan de carga, la realización de esta, y la obtenida de los programas de vigilancia y mantenimiento de los contenedores almacenados, es importante para su transporte fuera del emplazamiento.

Las evaluaciones de la seguridad que el CSN realiza para la aprobación del diseño de los contenedores de almacenamiento y de transporte se llevan a cabo de manera coordinada. Los estudios de seguridad en ambos casos parten de las características del combustible e incluyen todos los análisis para la demostración del cumplimiento de las funciones de seguridad de los contenedores (resistencia estructural, análisis térmico y de materiales, evaluación del blindaje, de la criticidad y del confinamiento, además de las pruebas de aceptación, análisis de accidentes, etc.). En la tabla 3 se muestra el contenido de

Tabla 3. Contenido de los estudios de seguridad

IS-20 – Almacenamiento	GSG-06.04 – Transporte
Estudio final de seguridad <ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción general 2. Criterios de diseño 3. Evaluación estructural 4. Evaluación térmica 5. Evaluación del blindaje 6. Evaluación de criticidad 7. Evaluación de confinamiento 8. Evaluación de materiales 9. Procedimiento de operación 10. Pruebas de aceptación y programa de mantenimiento 11. Protección radiológica 12. Análisis de accidentes 13. Límites y condiciones del contenedor Especificaciones técnicas en la operación 14. Garantía de calidad 	Información general Especificaciones del contenido del bulto Especificaciones del embalaje
	Estudio final de seguridad <ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificación del tipo de bulto Evaluación del cumplimiento con los requisitos del embalaje 2. Evaluación estructural 3. Evaluación térmica 4. Evaluación del contenido 5. Evaluación del blindaje 6. Evaluación de criticidad 7. Operaciones con el bulto 8. Pruebas de aceptación y programa de mantenimiento
	Informe de pruebas

Los requisitos de transporte, normalmente más restrictivos en algunos aspectos que los de almacenamiento, se tienen en cuenta en ambos estudios de seguridad pues, aunque el transporte por tren o carretera se realice años después, dichos criterios han de ser previstos antes de la carga y cierre de los contenedores.

los estudios de seguridad, de acuerdo con las correspondientes normas.

Además, las actuaciones del CSN cubren el seguimiento del historial del combustible, los planes de carga y la vigilancia y mantenimiento de contenedores en las instalaciones de almacenamiento a través de las evaluaciones y de las inspecciones que el organismo realiza, así como de la revisión de la información periódica remitida por los titulares que incluyen, entre otras cosas, el análisis de la experiencia operativa nacional e internacional.

Desarrollos en curso y tendencias

El diseño de los contenedores ha ido evolucionando para albergar mayor número de elementos combustibles, combustibles dañados y combustible de mayor grado de quemado. Estas circunstancias, unidas a planteamientos de exten-

sión de la vida de las instalaciones existentes y de instalaciones de almacenamiento temporal a más largo plazo (superior a 50 años), así como su interfase con el transporte, han impulsado el desarrollo de estudios e investigaciones para mejorar conocimiento de los efectos del potencial envejecimiento de los componentes y materiales de los contenedores debido a las altas temperaturas, la irradiación y el ambiente, a fin de prevenirlos y mitigarlos.

Dichos estudios se vienen desarrollando dentro de programas internacionales, como el programa coordinado por el OIEA sobre el comportamiento y la evaluación del almacenamiento a largo plazo del combustible gastado (*Coordinated Research Program SPAR: Spent Fuel Assessment Research*) o el recientemente iniciado por el instituto EPRI (EEUU) sobre el almacenamiento prolongado

(*ESCP: Extended Storage Collaboration Program*) en los que participa España.

El desarrollo de programas de gestión de envejecimiento de los contenedores (basados en su monitorización, inspección y mantenimiento) y de revisiones periódicas de la seguridad se manifiestan como elementos claves para la confirmación del cumplimiento de los requisitos de almacenamiento y transporte.

En el plano normativo, el OIEA acaba de iniciar una revisión del Reglamento de transporte (norma SSR-6) para considerar los aspectos asociados al transporte tras periodos prolongados de almacenamiento. Además, el OIEA ha elaborado un documento técnico para armonizar el contenido de los estudios de seguridad de contenedores de doble propósito en un modelo que integra los aspectos de almacenamiento y transporte. ©

Transparencia y acceso a la información, principales objetivos

El CSN estrena nueva web

El Consejo de Seguridad Nuclear estrena nueva web para mejorar sus contenidos y su presentación, así como para adaptarse a las últimas tecnologías. Ha sido un trabajo intenso, largo y minucioso, pues se trata del escaparate de la actividad

del CSN, lo que hace de la web una herramienta básica dentro de la política de transparencia y comunicación del organismo regulador español de la seguridad nuclear y la protección radiológica. ■

Texto: **Área de Comunicación del CSN** ■

Aunque la anterior página web del CSN ha cumplido perfectamente durante su vida útil con gran éxito todas las expectativas que se pusieron en ella, es tiempo de renovarse. Es el momento de cambiarla, de afrontar una revisión de los contenidos, de los diseños y de la plataforma tecnológica, para ade-

cuarla a las nuevas tendencias y dejarla preparada para su futura evolución.

Además, este ha sido uno de los mandatos más directos dado al Gabinete Técnico de Presidencia por el presidente del Consejo, Fernando Marti Scharfhausen, desde que accedió al máximo puesto de responsabilidad del or-

ganismo regulador español de la seguridad nuclear y la protección radiológica a finales de 2012.

Un mandato que demandaba la necesidad de elevar la transparencia del CSN y mejorar la comunicación, ofreciendo el máximo de información a los ciudadanos en el futuro portal corporativo. Pero tam-



Una parte del equipo que ha participado en la elaboración de la nueva página web del CSN ante las puertas del organismo.

bién, con la petición concreta de que la nueva web fuese útil además para el sector y para los profesionales, una referencia en el mayor número posible de materias que aborda. Y eso es justo lo que se ha tratado de hacer a conciencia.

Documentos más a mano

Los resultados de la actividad reguladora del Consejo quedan reflejados en documentos: actas, normativa, informes..., explica Pedro Vila-Belda, jefe de Relaciones Institucionales del CSN, que ha sido quien ha coordinado la responsabilidad de poner en marcha el nuevo portal corporativo. “En esta nueva web se ha querido dar una especial relevancia a todos estos documentos, cuyo número va creciendo constantemente. Por eso, se ha montado una nueva plataforma con un repositorio que facilita su gestión actual y futura, de modo que exista una única copia en la web de cada documento que se puede ofrecer desde diferentes páginas, con el rigor y las restricciones legales oportunas. Además —asegura—, esta plataforma facilita la actualización de los documentos y evita errores, ya que actualizándolos una única vez automáticamente se muestran actualizados en todas las páginas de la web en las que son referenciados”.

Con esta nueva plataforma se trabaja con contenidos únicos que pueden ser vistos desde diferentes puntos. Otro cambio técnico importante es que se ha hecho lo que se denomina un diseño *responsive* de la web, para su adecuación a dispositivos móviles. En la actualidad, esta adaptación a las nuevas tecnologías resultaba del todo necesaria.

Además, la nueva plataforma es un gestor de contenidos *open source* basado en tecnología Java, para disponer de mayor flexibilidad y facilitar la integración futura con otras aplicaciones del CSN.

En toda la parte técnica del proceso, que ha sido realmente intensa, el Área de



Página de apertura de la nueva web.

Desarrollo de la Subdirección de Tecnologías de Información ha hecho un gran trabajo y ha estado muy involucrada en todos los cambios, incluyendo la definición de los requisitos, la selección de la nueva plataforma y, por supuesto, su implantación. Igual que el Área de Comunicación, que ha sido la responsable de la actualización de fotografías y de la edición de muchos de los contenidos.

Diseño visual

Respecto al diseño, y bajo la perspectiva de lograr una web más visual, se han hecho importantes cambios, pero, con el fin de suavizarlos ligeramente, se ha mantenido el mismo esquema de navegación elemental, basado en un menú superior para el primer nivel de navegación y un menú lateral, a la izquierda, para el segundo.

En cuanto al diseño de las páginas, el objetivo ha sido resaltar el valor de los documentos asociados a los contenidos, ofreciendo a primera vista textos más comprensibles para el público y dando la posibilidad, a quien esté interesado, de descender al nivel de detalle necesario con el máximo rigor.

La estructura ha sido un cambio más importante que el del diseño, dice Vila-Belda: “La idea, que esperamos haber logrado, es la de poder contar al público de una manera sencilla y comprensible quiénes somos y qué hacemos, hablar del CSN y de nuestra misión, que consiste en hacer que las instalaciones operen de forma segura, proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes y establecer las medidas necesarias frente a emergencias”.

Al acceder a la nueva web apreciamos a primera vista que los últimos “sucesos notificados” aparecen destacados a la derecha de la pantalla principal, desde ahí se puede entrar en el detalle de aquellos sucesos que aparecen referenciados en ese espacio, pero también hay un enlace para acceder a todos los sucesos notificados. Mediante su publicación en este espacio relevante se refuerza el compromiso del CSN de comunicar al público cualquier anomalía que pudiera suceder en las instalaciones de nuestro país, aún en el caso de que estas no supongan ningún riesgo para los trabajadores, la población ni el medio ambiente.

Otra novedad es la incorporación de un pie de página, visible desde todas las pantallas de la web incluida la de inicio, a través del que se puede acceder a diferentes enlaces de la web agrupados bajo los títulos: Sobre el CSN, Para profesionales, Enlaces, Monografías y Contacto.

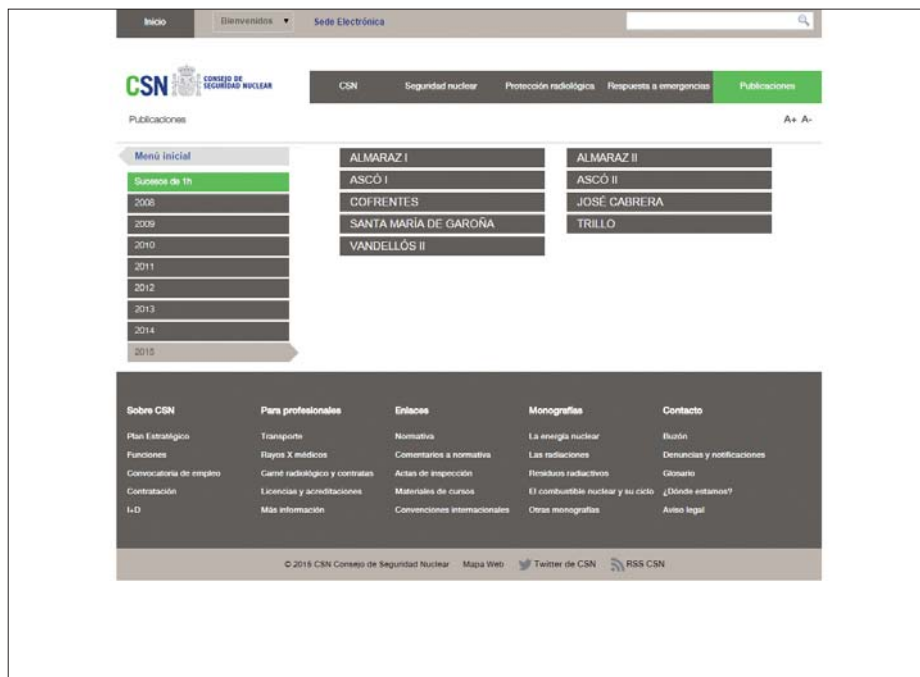
Dentro del pie de página existen enlaces a las Monografías, que son espacios de información dedicados a desarrollar temas específicos, tanto de divulgación, como las radiaciones, los residuos radiactivos, las instalaciones radiactivas, la energía nuclear..., como otros particulares por su especial relevancia en algún momento: Fukushima, pruebas de resistencia...

De hecho, encontramos tres elementos destacados en la página principal que nos llevan a contenidos especiales como son los de la información del proceso de licenciamiento del del almacén temporal centralizado (ATC), los mapas de datos medioambientales y estados operativos, y otro sobre el Centro de Información del CSN que incorpora una visita virtual.

Mantener la información

El punto de partida no era fácil, ya que en la web anterior había un elevado volumen de información publicada y la decisión ha sido no reducirla, sino tratar de hacer que fuera más comprensible para quienes no están familiarizados con los temas que trata el Consejo de Seguridad Nuclear. Por eso, se ha pensado que había que empezar explicando en qué consiste la seguridad nuclear, la protección radiológica y la respuesta ante emergencias. Y a partir de cada uno de estos tres conceptos, ir profundizando en todas las actividades del CSN y ofrecer la normativa, las autorizaciones, las actas y toda la documentación relacionada con cada apartado.

Y creemos que se ha conseguido, ya que la información que había en la antigua web sigue presente en la nueva estructura, pero además ahora todos los docu-



Aspecto de la página dedicada a sucesos.



Apertura de la sección dedicada a centrales nucleares.

mentos residen en un apartado de Publicaciones y documentación, de modo que accediendo desde esta pestaña del menú principal podemos ir a las publicaciones del Consejo, a todos los documentos aprobados por el Pleno, a las actas del Comité Asesor, a las de inspecciones, a todas las autorizaciones, la normativa... de esta for-

ma, se puede encontrar un documento navegando por Publicaciones y documentación, aunque por supuesto también lo hallaremos como documento asociado allí donde guarde relación con el tema que se trate, dentro de la navegación por los apartados CSN, Seguridad nuclear o Protección radiológica.



Pedro Vila-Belda, jefe de Relaciones Institucionales.

También se ha incorporado un nuevo apartado: Para profesionales, que consiste en un espacio donde reside documentación práctica de utilidad para quienes tienen que sacarse el carné radiológico, de cara a realizar servicios y contratas dentro de las centrales nucleares, para obtener licencias o autorizaciones, para transportistas de material radiactivo, para titulares de clínicas con equipos de rayos X médicos... En estos documentos, que se pueden descargar e imprimir para facilitar su uso, se incluye información detallada sobre normativa, trámites, requisitos, formularios, etc.

Navegación sencilla

Respecto a la navegación, asegura Pedro Vila-Belda que “estamos seguros de que quienes conocían bien nuestra web an-

“Una web con mucha información, pero fácil de navegar y con una estructura clara”

PREGUNTA: ¿Qué resaltaría de este proyecto?

RESPUESTA: En este proyecto estamos realizando un esfuerzo enorme en una actividad que no se aprecia tan a simple vista, consiste en la clasificación, reorganización y etiquetado de alrededor de 15.000 documentos. Este trabajo que estamos haciendo permitirá que cualquier cambio que hagamos en la web posteriormente sea mucho más fácil. Además, como parte de los objetivos que nos habíamos marcado, hemos modificado el método de actualización de la web, de modo que esta tarea resulte en general más sencilla para las unidades responsables de la actualización de los contenidos.

Estamos satisfechos porque hemos terminado con éxito la primera parte de un proyecto ambicioso y atractivo en la que se han llevado a cabo mejoras significativas para que sea una web accesible, fácil de navegar y con una estructura clara; de tal manera que la información se muestre siempre actualizada, sencilla y concisa, para que, con pocos clics, se pueda encontrar lo que se busca.

P: ¿Y el objetivo ya se ha cumplido?

R: Tras este proyecto inicial se irán incorporando constantemente nuevos contenidos y nuevas funcionalidades, pero el fin último será siempre el de disponer de una web que responda a las demandas de información de la sociedad, una web para todos los públicos, más transparente y más actualizada.

P: ¿Quiere dar las gracias a alguien en particular?

R: A todos. Ha sido un proyecto complejo, que se ha coordinado desde el Gabinete Técnico de la Presidencia pero en el que han participado todas las unidades organizativas del Consejo. La implicación en él del Área de Desarrollo de la Subdirección de Tecnologías de Información ha sido crucial, tanto en la selección de la plataforma tecnológica y de la empresa de servicios que ha trabajado con nosotros como en la definición de las especificaciones técnicas, del seguimiento llevado a cabo, del control de calidad de los desarrollos y de la migración de los contenidos. Por otra parte, como decía antes, se han revisado de principio a fin todos los contenidos de la web, y este trabajo ha sido realizado por todas las unidades organizativas del CSN, aunque principalmente por el área de Comunicación y por las dos direcciones técnicas, la de Seguridad Nuclear y la de Protección Radiológica. Y no me quiero olvidar de las personas de mi propio equipo de Relaciones Institucionales. Sin todas estas colaboraciones no habría sido posible culminar todo esto con éxito, teniendo además en cuenta que este proyecto ha supuesto un esfuerzo adicional para todos los que hemos participado en él, puesto que se ha llevado a cabo simultáneamente con el resto de las tareas diarias.”

Hecha con las mejores referencias internacionales

Según Vila-Belda, “para diseñar el nuevo portal corporativo, además de analizar estadísticas y usos de nuestra propia web, hemos mirado y estudiado muchas páginas de otros organismos reguladores, encontrando enfoques muy diferentes que nos han servido para decidir el camino finalmente elegido. Las hay más orientadas a la población en general y otras más técnicas. Al final, más que utilizar una única de ellas como modelo, decidimos tomar nota de cualidades de unas y otras para crear nuestra propia página web, teniendo en cuenta las competencias del Consejo, que no siempre coinciden al cien por cien con las de otros reguladores. Además, se ha puesto énfasis en particularidades o compromisos del CSN que, de una u otra forma, afectan a su comunicación con la sociedad española y, por ello, a su web institucional”.

“En ese estudio de otras webs —añade Pedro Vila-Belda— nos fijamos en el formato de los contenidos del

regulador finlandés, muy claro y sencillo, en el planteamiento de los franceses, en la presentación de la información en la nueva web polaca... Pero algunas de estas son webs con muchos menos contenidos que la del CSN y, por tanto, tienen menos elementos y estructuras más sencillas, lo cual facilita su navegación y son más agradables de ojear. Sin embargo, otras, como la estadounidense de la NRC, contienen mucha más información y son más complejas. Nosotros, en particular, nos fijamos en la relevancia que se da a los documentos en la web del regulador estadounidense, creemos que esto aporta rigor y lo hemos tomado como referencia, aunque la suya es una web de navegación más compleja, especialmente para los no conocedores del tema, por sus muchos niveles de profundidad y ramificaciones. Nuestro reto era mantener un alto volumen de información con un mayor grado de sencillez.”

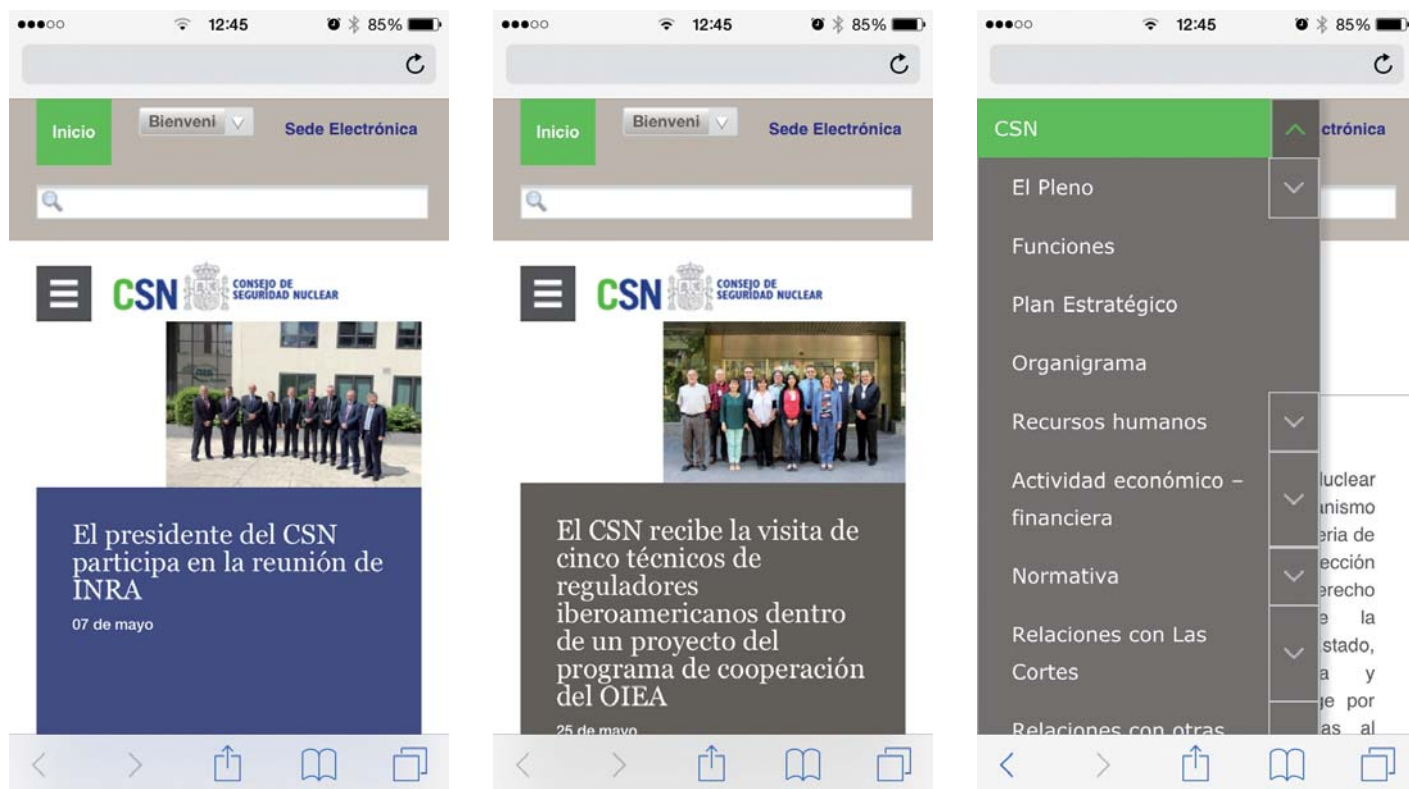
terior encontrarán también en esta aquello que busquen, aunque siempre tendrán que navegar un poco al principio

para ubicarse en la nueva estructura y localizar aquello que ya sabían dónde estaba en la anterior”.

“Sin embargo —añade—, con la nueva estructura ofrecemos la posibilidad al público en general y a los gru-



Vista de la sala que alberga los equipos informáticos del Consejo.



Las páginas del CSN tal como aparecen si se accede a ellas desde dispositivos móviles y tabletas.

pos de interés de adentrarse poco a poco, pero con transparencia y rigor, en nuestros temas, para entender qué son la seguridad nuclear y la protección radiológica y conocer, con datos suficientes, en qué consiste la actividad reguladora del CSN. Pero también ofrecemos mejor información, más completa, específica y detallada, para las empresas y profesionales que tengan que trabajar en entornos que requieran medidas específicas de seguridad nuclear y/o protección radiológica”.

Otro aspecto reseñable de esta nueva web del CSN es que al acceder al apartado de cada una de las centrales nucleares y de las instalaciones del ciclo se pueda disponer, desde allí mismo, de los datos técnicos referentes a la instalación, de su última autorización, de la información de actividades destacadas durante el último año, de los sucesos notificados y de las actas de inspección. Agrupando toda esta información desde un mismo punto se ofrece más detalle y de una mane-

ra más fácil a la población próxima a las instalaciones o a quienes, por cualquier otra razón, tienen especial interés en alguna de ellas.

Una larga travesía

Los trabajos para crear la nueva web del CSN comenzaron en otoño de 2013, con el análisis detallado de la web anterior, tanto de sus usos como de sus contenidos y su estructura de navegación. El punto de partida era una web con 264 categorías, 121 módulos, 16.300 artículos y con alrededor de 15 menús de primer nivel.

En junio de 2014 se presentó al Pleno del CSN la nueva imagen de la web, las bases que establecían el nuevo estilo de páginas y la redacción de contenidos, así como las líneas generales de la nueva estructura. Acto seguido se procedió a la contratación pública para la selección de un integrador, y en septiembre de 2014 se iniciaron los desarrollos sobre la nueva plataforma, así como el proceso de

migración de documentos que ha sido largo y difícil.

Durante todo ese tiempo se han revisado y reorganizado uno por uno todos y cada uno de los contenidos y documentos de la web, contando para ello con la colaboración de todas las unidades organizativas del Consejo de Seguridad Nuclear.

En forma y plazo

Los plazos han sido largos, pero más que razonables para un proyecto tan ambicioso como este, teniendo en cuenta además el elevado volumen de información de esta web y su alto grado de especialización en la mayor parte de los contenidos. Por compararlo con otro proyecto equivalente, aunque de un volumen de información bastante inferior al del CSN, el regulador nuclear polaco, que abordó un proyecto similar hace relativamente poco, inició los trabajos en septiembre de 2010, la fase de análisis en agosto de 2012 y la web no se estrenó hasta marzo de 2013. ©

Una actividad clave para ejercer las funciones regulatorias

La I+D, una seña de identidad del CSN

El desarrollo científico y tecnológico que se ha producido en el ámbito de las radiaciones ionizantes y las reacciones nucleares en poco más de un siglo ha sido espectacular. Sin embargo, en una tecnología tan compleja como la seguridad nuclear existen aspectos técnicos en los que el nivel de conocimiento actual no resulta tan sólido como sería deseable. Por ello, las entidades que trabajan en este sector realizan actividades de investigación y desarrollo. El CSN, en concreto, tiene un plan de I+D que se presenta como una necesidad para el desempeño de sus funciones reguladoras. En estos programas de investigación y desarrollo, que el organismo lleva a cabo en estrecha colaboración con otras instituciones nacionales e internacionales, se engloban prácticamente todas las áreas de la seguridad nuclear y la protección radiológica. Una de las líneas más fructíferas en la actualidad se deriva del estudio de los materiales irradiados recogidos de Zorita, la central nuclear más antigua de España que actualmente se encuentra en desmantelamiento. En esta investigación y en otras muchas que atienden otras cuestiones se esconden las claves de los avances del conocimiento que permitirán mejorar las actividades nucleares y radiactivas y, por consiguiente, las medidas de actuación del Consejo en su actividad reguladora. ■ Texto: **Andrea Jiménez** | periodista científica ■

Vigilando desde su torre las orillas del río Tajo, la central nuclear José Cabrera se mantuvo activa durante 38 años en el municipio alcarreño de Almonacid de Zorita. Durante todo ese tiempo, en el corazón de la primera planta nuclear española, los componentes de su reactor estuvieron sometidos a unas condiciones de funcionamiento muy exigentes, una especie de infierno de altas temperaturas e intensas radiaciones, hasta que en 2006, por Orden Ministerial, su reactor se paró para siempre. Acababa así la trayectoria de la primera instalación que permitió abastecer el sistema eléctrico nacional con energía atómica.



Vista de la central nuclear José Cabrera antes del inicio de su desmantelamiento.

La central había llegado casi al límite de la vida para la que fue diseñada: hasta las cuatro décadas, el máximo estable-

cido para el funcionamiento de las plantas nucleares en España, y el mismo dispuesto para algunas similares en otros países, que, sin embargo, ya han puesto en marcha el alargamiento de su vida útil. No menos ambicioso que sus vecinos, el sector español también quiere dirigirse hacia esa posible extensión de vida de las centrales nucleares por encima de la de su diseño original, pero para que esa hipotética extensión de tiempo de operación se realice en las mejores condiciones de seguridad resulta de gran ayuda, según dice Ramón de la Vega, jefe de la Unidad de Investigación y Gestión del Conocimiento del CSN, “mejorar el conocimiento existente sobre determinadas cuestiones técnicas muy relacionadas con el efecto que el funcionamiento más allá de lo inicialmente previsto y la degradación asociada a ese funcionamiento puede tener en los materiales que son importantes para garantizar la seguridad de los reactores”.

De este afán por profundizar en los procesos que envuelven a la radiaciones nucleares y dar respuesta a ciertos aspectos de la tecnología nuclear, en cuyo conocimiento existen lagunas e incertidumbres, nacen algunas de las líneas de estudio que incorpora el CSN en sus programas de I+D. Investigaciones de lo más variopintas que abarcan un sinfín de aspectos sujetos a los dominios de la seguridad nuclear y la protección radiológica, y que el organismo desarrolla en estrecha colaboración con otras entidades del sector, que incluyen a la industria, las universidades y los organismos de investigación, como el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat).

Como apunta De la Vega, “en muchos de estos proyectos, las colaboraciones entre instituciones se extienden incluso a escala internacional”. Uno de ellos, por ejemplo, es el relativo al comportamiento de los materiales irradiados

dos y su efecto a largo plazo. Precisamente para el que está sirviendo de cobaya de laboratorio la central de Zorita, con sus tripas ahora al descubierto. “Una vez agotada su vida y en pleno proceso de desmantelamiento, la extracción de algunas muestras de sus materiales constituyentes, ya sin utilidad alguna, nos está proporcionando una oportunidad única para estudiar el efecto que las condiciones de funcionamiento de un reactor nuclear tienen sobre los materiales que lo constituyen y en particular la modificación a consecuencia de las mismas propiedades de dichos materiales que puedan ser importantes para la seguridad de la instalación”, cuenta el técnico.

Al no disponer España de una instalación adecuada para este tipo de análisis, parte de las piezas de los internos de la vasija —el contenedor de acero que encierra el reactor— se han llevado a analizar a los laboratorios suecos de la empresa Studsvik, donde están siendo sometidas a rigurosos ensayos. Este proyecto, puesto en marcha en colaboración con la empresa pública española encargada del desmantelamiento, Enresa, cuenta con la participación de otras entidades extranjeras, y es el primero, pero no el único, que se ha originado a partir del proceso de desmantelamiento y gestión de los materiales de la central. Por ejemplo, también se están aprovechando sus materiales para el estudio del efecto de las condiciones asociadas al funcionamiento del reactor en el hormigón estructural y de blindaje del reactor.

A diferencia de las piezas de acero de la vasija, cuyo examen ha obligado a desplazarlos a Suecia, el análisis de estos armazones de cemento se realizará en territorio español, concretamente en los laboratorios de El Cabril, el único almacén de residuos radiactivos de baja y media actividad con el que cuenta el país. “Además, hay conversaciones con deter-



Corte de internos en el reactor de la central José Cabrera en Almonacid de Zorita (Guadalajara).

minadas entidades estadounidenses para que dispongan de algunas muestras del material para estudiarlas en sus propias instalaciones y contrastar así resultados”, detalla De la Vega.

El ATC

La adquisición de conocimientos más detallados en torno a los procesos y grado de envejecimiento de estos materiales, tras haber sido sometidos durante años y años a altos niveles de radiación, será también de utilidad para la supervisión reguladora por el CSN de un importante proyecto vinculado a la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad.

Hablamos del futuro almacén temporal centralizado (ATC) que España construirá en los suelos castellanos de Villar de Cañas, en la provincia de Cuenca, presentado por el técnico “como el primer depósito centralizado con capacidad para albergar los residuos radiactivos de alta actividad procedentes de todas nuestras centrales”. La licencia inicial y la supervisión reguladora posterior de este gran cementerio nuclear, cuya fecha de

apertura está en principio colocada en el año 2018, se podría beneficiar, durante su proceso de evaluación, de algunas de las conclusiones que se extraigan sobre el comportamiento de estos hormigones irradiados.

Como explica De la Vega, “el combustible gastado pasará de almacenarse en las piscinas de las centrales nucleares, donde actualmente se encuentra su mayor parte, a los contenedores del ATC, donde estará almacenado en seco, es decir, sin agua.”

“Estos residuos radiactivos pueden permanecer activos produciendo cantidades importantes de calor durante decenas de miles de años, por eso hay que controlarlos bajo procesos de refrigeración, y para ello, el agua representa el medio idóneo; en el combustible almacenado en seco la temperatura de su vaina es bastante mayor. No obstante, las piscinas de las centrales tienen un límite de capacidad”, puntualiza.

Una nueva línea de investigación en relación con aspectos importantes para la seguridad en la gestión del combustible

El lenguaje en código de los accidentes severos

El desarrollo de metodologías para el análisis de la seguridad de las centrales ante la posibilidad de un accidente despliega otro gran terreno para las actividades de investigación. Sucesos de consecuencias catastróficas, como el ocurrido en Fukushima tras el terremoto y el *tsunami* que azotaron la costa noreste de Japón en 2011, significan oportunidades para la I+D nuclear, pues suponen la posibilidad de aprender aspectos nuevos en relación con el comportamiento de las centrales en esas circunstancias y analizar posibles mejoras que en el futuro sirvan para evitar incidentes.

A este respecto, un importante proyecto coordinado por la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE (NEA), que ya cuenta con nueve países participantes, entre los que se encuentra España, está intentando reproducir en lenguaje de códigos de cálculo el paso a paso del accidente de Fukushima. “Se trata de que cada uno de los países, utilizando los datos aportados por las tres unidades del reactor que fueron afectadas durante el incidente,

realice un análisis de la evolución del accidente, intentando reproducir los datos reales constatados y analizando las posibles limitaciones de los códigos actuales, las posibles mejoras, etcétera”.

Para la colaboración en esta iniciativa, el Consejo ha tomado como brazo técnico al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), que cuenta con el personal más cualificado para el desarrollo y la aplicación de estos códigos. Tras haber finalizado con buenos resultados su primera fase, en la que según comenta De la Vega, “el equipo ha llevado a cabo un trabajo excelente”, el proyecto ya ha pasado a su siguiente etapa, y está prevista su continuación en torno a la ampliación del alcance de los análisis que se han de realizar, con la activa participación del Consejo. ▶

Vista de la central nuclear de Fukushima tras el terremoto y el *tsunami* de 2011.

gastado se dirige a anticipar el comportamiento a muy largo plazo del cambio de las condiciones en su almacenamiento en seco, con el fin de garantizar su integridad durante todo el proceso de su gestión, incluyendo aspectos como posibles accidentes durante su transporte.

A estas incógnitas se suma la preocupación que suscitan los procesos de degradación de la cubierta que confinará los residuos herméticamente. Tanto durante la operación del reactor como en su posterior almacenamiento en las piscinas, la vaina que envuelve las pastillas de combustible es víctima de sucesivos fenómenos que pueden alterar sus propiedades. “En el combustible de algunos reactores la elevada concentración de hidrógeno puede incluso deteriorarla”, señala el experto del CSN.



Por eso, a finales de los noventa se diseñó un modelo de vaina que supuso un gran avance en el comportamiento mecánico del material preparado para recibir la radiación, ya que presentaba mejores propiedades de inmunidad frente al hidrógeno. “Por desgracia, hasta dar aquel paso, hubo una serie de años en los que el combustible se vio afectado por ese elemento químico, por lo que se hace necesario conocer con mayor precisión cómo se comportará el combustible afec-

tado por este fenómeno en las condiciones de almacenamiento a largo plazo y transporte”, lamenta De la Vega.

Este nuevo proyecto pretende obtener información sobre la resistencia que presentará el combustible de cara a posibles incidentes que pueda sufrir, tanto durante su transporte como en su almacenamiento en seco. Incluye la realización de ensayos con vainas de combustible irradiadas reales (mediante ensayos en el laboratorio de Studsvik), así como en-



Medida del espacio entre las barras de combustible durante su proceso de fabricación.

sayos complementarios en vainas nuevas con las que se ha simulado un proceso de degradación por hidrógeno en laboratorio, que se realizará con la activa participación de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

“Se trata de una investigación que permitirá sacar conclusiones determinantes para comprender con exactitud el papel que juega el ataque del hidrógeno en las propiedades de las vainas”, que, como recuerda el técnico, “serán almacenadas durante décadas en el ATC”.

Más allá de Zorita

Una de las líneas fundamentales del programa de I+D del Consejo se centra en los fenómenos degradatorios asociados a la operación a largo plazo de las centrales nucleares y su gestión de vida, para los que el desmantelamiento de Zorita resulta una gran oportunidad.

Otra línea de investigación importante del programa es la relativa a mejorar el análisis de los riesgos que plantean para la seguridad de las centrales los denominados sucesos externos, como sismos, inundaciones, y otros fenómenos. A este respecto, se ha iniciado un proyec-

to que se espera permita desarrollar importantes mejoras en el análisis de riesgo de incendios de este tipo en las plantas nucleares.

“Es muy difícil predecir la evolución de un fuego y pronosticar cómo se van propagar el humo y el calor. Sobre todo en un entorno industrial. Para eso necesitamos herramientas de simulación computacional cada vez más rápidas y sencillas, pero que permitan a su vez hacer un análisis más preciso de los riesgos asociados a este tipo de incidentes en las centrales nucleares”, explica De la Vega, en referencia al vínculo de colaboración que el Consejo mantiene con la Universidad de Cantabria para el desarrollo de modelizaciones sobre el comportamiento y efectos de los incendios.

El programa de I+D dedica, además, una parte importante de sus recursos a temas relacionados con la protección radiológica. En esta área científica, una de las líneas de estudio más importantes es la relacionada con la protección radiológica del paciente, sobre la que el Consejo desarrolla diversas iniciativas en colaboración con otros centros de investigación. Como otro de los brazos cooperativos que se extienden entre el

CSN y la universidad, en este caso la de Málaga, el experto destaca un proyecto sobre el seguimiento de los procedimientos de radiodiagnóstico utilizados en los centros sanitarios españoles.

“Gracias a esta investigación se ha podido evaluar, con una muestra estadística muy significativa, las dosis radiactivas derivadas de las exploraciones médicas que reciben los pacientes y la población. El estudio, que empezó en 2011 y que ha llevado 35 meses de trabajo, forma parte de una iniciativa promovida por la Comisión Europea para aunar criterios en la evaluación y optimización recibidas por la ciudadanía europea en los tratamientos médicos realizados con radiaciones ionizantes”.

“Cada proyecto suele tener una duración de entre dos y tres años, y los retornos esperados en su inversión se identifican desde el momento en que se propone su realización”, cuenta De la Vega, responsable de la Unidad de Investigación del CSN que gestiona los proyectos (actualmente, hay 44 en curso) de I+D en colaboración de las direcciones técnicas del organismo. Con un presupuesto anual de 3 millones de euros, una de las cosas que pone de manifiesto el conjunto del plan de I+D, según su principal gestor, “es la increíble cantidad de avances técnicos que están aportando cada una de sus líneas de investigación”, todas ellas bajo el amparo de los intereses comunes entre el CSN y otras entidades, tales como la industria, “una de las primeras interesadas en estar a la vanguardia del conocimiento”, apostilla.

Para De la Vega, si de algo puede presumir nuestro país, “es de la buena salud que goza su sistema en investigación y desarrollo nuclear”. El cual se sustenta en un versátil tejido de colaboraciones, sin el que, sostiene el experto, “el progreso resultaría mucho más lento y dificultoso”.



Control de plagas: técnica del insecto estéril

■ Texto: **Blanca Alfonso Nicolás** | Área de Instalaciones Radiactivas Industriales del CSN ■

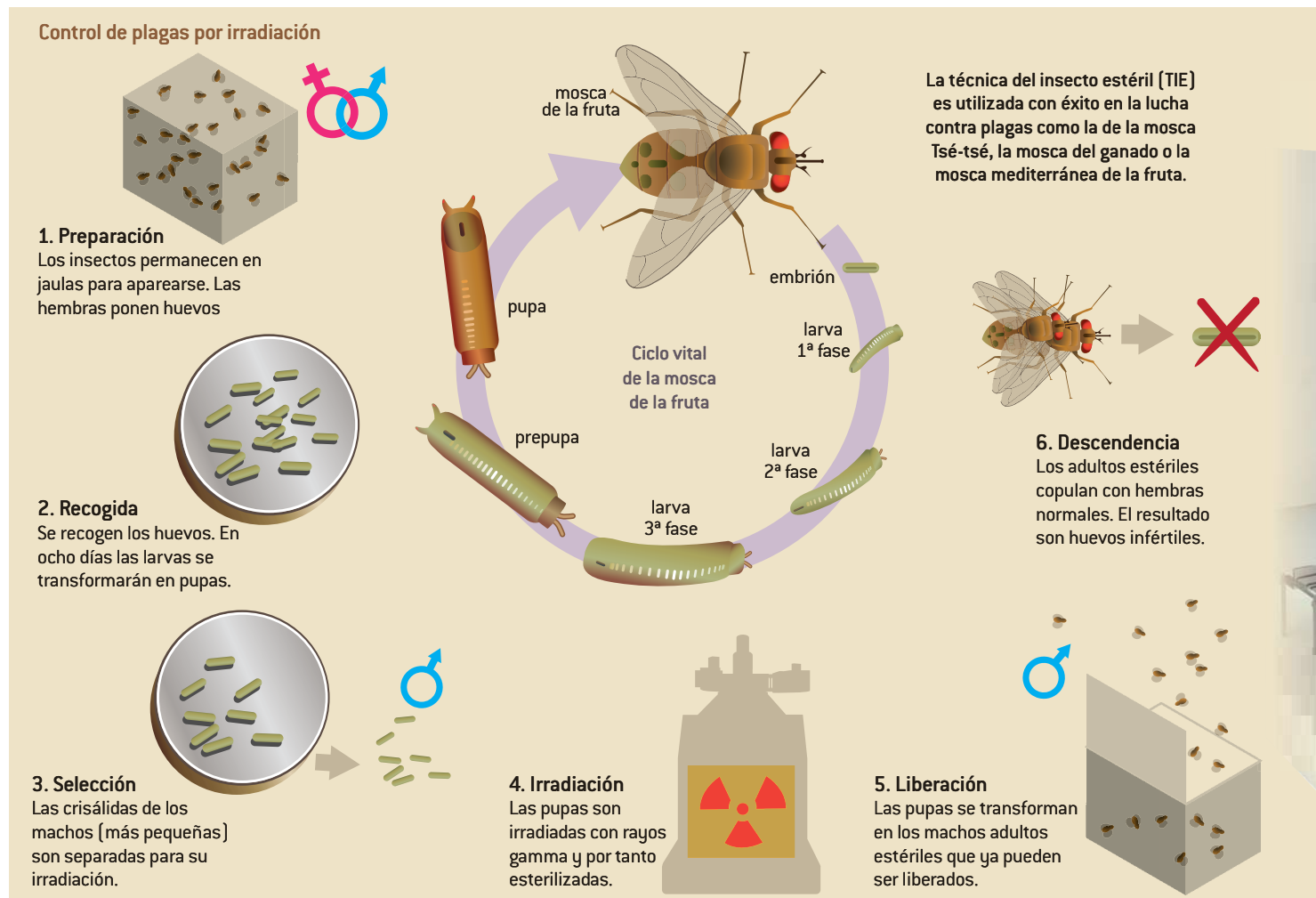
Producir insectos estériles para combatir plagas es ya la alternativa a los plaguicidas e insecticidas convencionales que, además de no ser específicos y eliminar todo tipo de fauna, incluso la que es imprescindible para una buena salud de los cultivos, pueden provocar graves trastornos en humanos, ya que se trata en algunos casos de sustancias neurotóxicas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) impulsan, desde hace años, proyectos de investigación en todo el mundo sobre el empleo de isótopos y de radiaciones ionizantes en agricultura.

Una de estas actuaciones es la técnica del insecto estéril (TIE), que ya es

utilizada con mucho éxito en la lucha contra un buen número de plagas, como la de la mosca Tsé-tsé, la mosca del ganado o la mosca mediterránea de la fruta.

La técnica consiste en criar, de forma masiva, insectos de la misma especie que constituye la plaga en las llamadas biofábricas, esterilizarlos y posteriormente liberarlos al campo. De esta manera, los insectos estériles se acoplan con los insectos silvestres, obteniéndose como resultado de estas cópulas huevos que no llegan a desarrollarse. Con el paso de generaciones esto provoca que la población del insecto plaga disminuya hasta situarse por debajo del daño económico. Se trata de una lucha preventiva contra plagas, completamente selectiva y ecológica.



Esta técnica se ha puesto en práctica en la Biofábrica de Insectos Estériles de la Comunidad Valenciana, la segunda en tamaño del mundo. Se ha criado y esterilizado la llamada mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*), que constituye una de las peores plagas que afecta a la citricultura y fruticultura de esta comunidad autónoma.

La cepa de la mosca criada se denomina Vienna 8 y permite la obtención de insectos solo machos, gracias a una selección genética.

La esterilización se realiza en la fase pupa del insecto. El día antes de la eclosión de los adultos de las pupas, el insecto desarrolla su aparato genital. En ese momento se somete a la dosis de irradiación controlada, causando que el esperma de los machos quede irreversiblemente dañado. La dosis que se debe administrar es de 90 a 100 Gy.

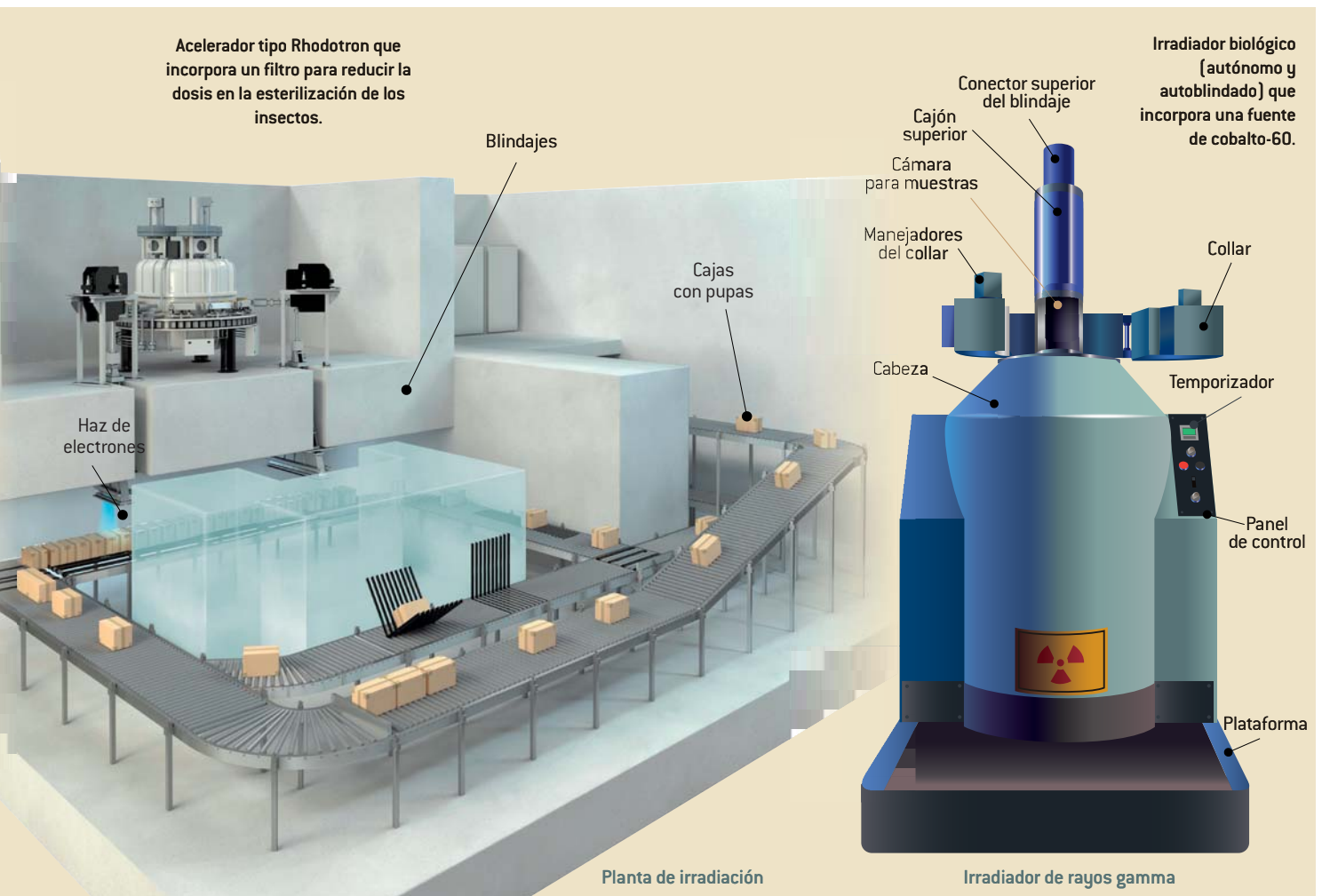
En la citada biofábrica se adquirió un irradiador biológico (autónomo y autoblindado) cargado con una fuente radiactiva encapsulada de cobalto-60, con una actividad máxima de 444 TBq (12.000 Ci). El cobalto-60 se emplea como fuente emisora gamma en irradiadores biológicos, debido a la alta energía de 1,3 MeV que le hace adecuado para el fin que se persigue.

La biofábrica produce semanalmente 500 millones de pupas estériles de machos de *Ceratitis capitata*. Diariamente se deben irradiar 71,5 millones de pupas, equivalente a un volumen de 1.232 litros. Teniendo en cuenta que para conseguir una uniformidad óptima en la muestra irradiada se utiliza tan solo un volumen de 1,8 litros del total de la cámara de irradiación, son necesarias 685 operaciones para alcanzar la producción prevista.

Por razones logísticas y de producción, la esterilización diaria de los insectos criados masivamente se realiza en un acelerador de electrones modelo Rhodotron de 10 MeV de potencia. Diseñado, en principio, para suministrar dosis del orden de decenas de kGy, este acelerador ha sido adaptado, mediante la incorporación de un filtro a la salida del haz con una transparencia del 20 %, de tal forma que la dosis se reduce hasta los 90-100 Gy.

El uso de este filtro, junto con el aumento de la velocidad de la cinta transportadora donde se sitúan las cajas con las pupas y la reducción de la intensidad, permite obtener las dosis bajas necesarias para la esterilización de los insectos.

La TIE por tanto se configura como una técnica biológica por naturaleza, sin impacto negativo sobre la biodiversidad y no dañina con el medio ambiente. ©



Ingeniero de Minas por la École Polytechnique desde 1981, Pierre-Franck Chevet (Grenoble, 1961) se tituló también en Estadística y Administración Económica. Inició su trayectoria profesional con la Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), el organismo regulador francés, en septiembre de 1986, donde asumió sucesivamente las funciones de adjunto al responsable de Control de Construcciones Nucleares, subdirector del Área de Reactores de Agua a Presión y Superphénix y adjunto al director, res-

ponsable de la Seguridad del Parque Nuclear Francés. Entre otros cargos, ha sido director regional de Industria, Investigación y Medio Ambiente de la región de Alsacia, miembro del Gabinete del Primer Ministro y director general responsable de Energía y Materias Primas, más tarde denominado de Energía y Clima. El 9 de noviembre de 2012 fue nombrado presidente de la ASN, cargo que ocupará hasta finales de 2018. Su trabajo ha sido reconocido con la Legión de Honor.

Entrevista con Pierre-Franck Chevet, presidente de la *Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)*

“La ASN se esfuerza para desarrollar la cultura del riesgo mediante la participación de los ciudadanos”

■ Alfa/IFB-ASG

Francia dispone del segundo mayor parque nuclear del mundo, tras Estados Unidos, con 58 reactores en funcionamiento, muchos de los cuales han alcanzado ya o están a punto de hacerlo, el plazo inicialmente previsto de funcionamiento. Quizás por eso, en una rueda de prensa ofrecida en enero pasado, Pierre-Franck Chevet señalaba como una de las prioridades estratégicas del organismo que dirige la ampliación de la vida útil de las centrales nucleares, proceso que ya se ha iniciado y que se intensificará en los años próximos.

PREGUNTA: *¿Cuál es la posición general de la ASN en la ampliación de la vida útil de las centrales?*

RESPUESTA: La ASN considera que cualquier extensión de la vida útil de los reactores más allá de la cuarta revisión periódica de seguridad, que se efectúa cada diez años, es una conclusión inevitable. Este hecho es particularmente importante, ya que corresponde a la vida operable teórica inicialmente prevista en las estimaciones de envejecimiento y para determinar el enfoque de seguridad adecuado.

P: *¿Qué requisitos existen en relación con la seguridad?*

R: La prolongación de la vida operativa más allá de la cuarta revisión periódica de seguridad significa que se deben cumplir una serie de requisitos esenciales. En primer lugar, los sistemas relacionados con la seguridad deben seguir cumpliendo los requisitos a los que están sujetos. Esta cuestión es particularmente importante para los componentes envejecidos que no pueden ser reemplazados, tales como la vasija del reactor o la contención. También, y de



acuerdo con la nueva Directiva Europea sobre Seguridad Nuclear, las instalaciones deben ser reevaluadas a la luz de los requisitos de seguridad más recientes que se aplican a los reactores de nueva generación, como los reactores EPR (por sus siglas en inglés, *Evolutionary Power Reactor*). Por último, las mejoras requeridas tras los resultados de las pruebas de resistencia realizadas después del accidente de Fukushima deben de ser aplicadas. Estas condujeron a las prescripciones técnicas propuestas desde la ASN dirigidas más específicamente a la implementación del concepto de *hardened safety core* (la evaluación de todos los sistemas críticos en caso de accidente severo), mediante la instalación de equipos de seguridad más sólidos y la dotación de equipos de respuesta ante emergencias en condiciones de intervenir en las instalaciones afectadas a las pocas horas tras declararse la emergencia. La implementación de estas disposiciones requerirá la movilización excepcional por parte de las empresas industriales implicadas.

P: *Antes o después habrá que establecer un límite*

R: Debido a la estructura energética de Francia, donde el 80 % de la electricidad proviene de las instalaciones nucleares operativas, el sistema de electricidad francés debe mantener unos márgenes operativos suficientes para poder hacer frente a la suspensión simultánea del funcionamiento de varios reactores en caso de que aparezca un fallo genérico grave. Además, llegará el día en el que los reactores existentes necesiten ser finalmente cerrados. Los preparativos para este paso deben de realizarse cuanto antes. Es necesario tomar decisiones a corto plazo sobre las capacidades de producción eléctrica —sea cual sea la fuente de producción y ahorro energético—, para prepararse ante los futuros cierres definitivos

“La relación entre la ASN y el CSN es dinámica y hace que nuestra cooperación sea beneficiosa para ambos”

La colaboración entre los organismos reguladores francés y español tiene una larga trayectoria y se mantiene hoy con tanta o mayor intensidad, si cabe, que en tiempos pasados. Según Pierre-Franck Chevet, “la cooperación entre la ASN y el CSN a través de reuniones técnicas periódicas, el intercambio de información y el intercambio de personal significa la mejora del conocimiento de nuestras autoridades en diversos temas como la preparación para emergencias, la inspección de las instalaciones nucleares y la colaboración en el análisis de los riesgos de exposiciones accidentales e involuntarias en radioterapia.

Los vínculos entre la ASN y el Consejo son dinámicos, hacen que nuestra cooperación sea beneficiosa para ambas entidades y nuestras reuniones de trabajo son fructíferas.

Muestra de la cordialidad de las relaciones es la visita que una delegación del CSN realizó a la sede de la ASN en París el pasado mes de marzo, para celebrar la tradicional reunión bilateral anual. Encabezaba la participación española (en la imagen) el presidente del CSN, Fernando Marti Scharfhausen, que estuvo acompañado de la vicepresidenta Rosario Velasco y de los directores técnicos de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, Antonio Munuera y María Fernanda Sánchez, respectivamente.

Con sus colegas franceses repasaron el estado de las actividades que realizan conjuntamente en el marco del acuerdo bilateral entre ambas instituciones. La vicepresidenta informó a la delegación francesa de las novedades que se han producido desde la última reunión, a finales de 2013, tanto en los aspectos normativos, organizacionales, hitos y asuntos destacables en las actividades del CSN como en los actuales proyectos de autorización del Almacén Temporal Centralizado (ATC) de combustible gastado y residuos radiactivos de alta actividad y de la situación de la central nuclear Santa María de Garoña, así como las actuaciones derivadas de las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima.

También se revisaron las actividades que se están llevando a cabo conjuntamente entre la ASN y el CSN en los campos de la radioprotección, la seguridad nuclear y la cooperación técnica internacional, tales como: el análisis de riesgo de las exposiciones accidentales o no intencionadas en radioterapia, el proceso

de reactores nucleares debido a razones de seguridad.

P: *¿Cuáles son los principales retos a los que se enfrenta actualmente la ASN, más allá de la extensión de la vida operativa de los reactores nucleares?*

R: Entre los principales desafíos puedo destacar, además del señalado, la gestión de residuos a largo plazo y la exposición del público a las radiaciones

ionizantes. Sobre la gestión de residuos a largo plazo, es necesario explicar que la Ley de 2006 adoptó el principio de almacenamiento geológico profundo para residuos de alta y media actividad y de larga duración (RAA / ILW-LL). La importancia de este tipo de almacenamiento con respecto a las cuestiones de seguridad y a la protección radiológica es reconocida internacionalmente. No



de transposición de la Directiva 2013/59/Euratom, y la finalización de un protocolo para el intercambio de información en situaciones de emergencia nuclear.

Ambos presidentes acordaron también prolongar un año más la estancia de un técnico de la ASN en la subdirección de Emergencias y Protección Física del CSN y expresaron el

interés común de mantener el intercambio de expertos para asistir a los simulacros realizados por ambas organizaciones. La reunión finalizó con una visita al Centro de Información y a la Sala de Emergencias del organismo francés. La próxima reunión bilateral entre ambos organismos tendrá lugar en España en 2016.

obstante, la ASN no se ve capacitada para posicionarse sobre cualquier proyecto particular hasta que su seguridad se haya demostrado de manera concluyente. En este sentido, las características del lugar elegido y del inventario de los residuos para ser aceptados por el depósito serán factores decisivos. Basándose en el *Avis* 2013-AV-0179 (documento interno de la ASN), ya se apuntaba

que los cambios potenciales en el inventario deberán ser presentados a las partes interesadas en los peores escenarios que puedan ocurrir, en función de las posibles opciones en política energética, más específicamente en relación con la cuestión del almacenamiento del combustible gastado. En todo caso, la ASN se asegurará de que la seguridad de la operación de las instalaciones de al-

macenamiento de este tipo de residuos se mantenga a largo plazo, teniendo en cuenta las inevitables incertidumbres respecto al plazo para la disponibilidad real de una instalación de almacenamiento geológico profundo.

Finalmente, el tercer desafío al que nos enfrentamos es la exposición a las radiaciones ionizantes debidas a los diagnósticos médicos. Hay que tener

en cuenta que se trata de la segunda fuente de exposición de la población francesa después de la exposición a la radiación natural y que ha ido aumentando en los últimos años. La gestión de la exposición médica a las radiaciones ionizantes es un objetivo prioritario para la ASN. Hay dos formas complementarias de lograr esto: la justificación, que consiste únicamente en recurrir a la radiación ionizante, solo si está probada su necesidad, y la optimización, que consiste en minimizar las dosis recibidas para un examen médico determinado.

Hay otros muchos retos para los próximos años en los que estamos trabajando intensamente, como las acciones post-Fukushima, las exposiciones debidas al radón o los procesos de desmantelamiento, entre otros.

P: *El accidente de Fukushima ha llevado a la adopción de nuevas medidas en Europa, ¿qué piensa acerca de este proceso y cómo lo han realizado en Francia?*

R: Tras el accidente nuclear de Fukushima, la ASN consideró necesario llevar a cabo pruebas de resistencia en las instalaciones nucleares francesas, con el fin de tener en cuenta la experiencia aprendida tras el accidente. Además, emitió prescripciones, requiriendo al sistema eléctrico francés que tomase medidas adicionales y así reforzar la solidez de las centrales nucleares ante situaciones extremas con medidas concretas. Primera, el nuevo concepto de *hardened safety core*, capaz de realizar funciones de seguridad vitales en caso de riesgos o circunstancias imprevistas que exceden las adoptadas para el diseño general de la instalación; segunda, la creación de la Fuerza de Intervención Rápida Nuclear (FARN), propuesta por Électricité de France (EDF), un sistema nacional de emergencia relacionada con tripulaciones y equipos especializados para intervenir en un em-

plazamiento afectado en menos de 24 horas; y tercera, medidas para reducir el riesgo de que el combustible gastado quede al descubierto en las piscinas de almacenamiento de combustible de las diversas instalaciones.

P: *¿Son suficientes estas medidas?*

R: Tras el análisis realizado por el Instituto de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (IRSN) y el Comité Asesor para los reactores de la propuesta presentada por EDF para el *hardened safety core* y de haber cotejado los comentarios del público, la ASN emitió otras resoluciones aclaratorias sobre los

“La gestión de la exposición médica a las radiaciones ionizantes es un objetivo prioritario para la ASN”

componentes del nuevo concepto para reforzar la seguridad y los requisitos aplicables a su diseño e implementación. Este proceso fue aplicado a todas las instalaciones nucleares. La ASN también ha remitido prescripciones a AREVA y CEA y ha participado en el análisis de los planes de acción elaborados por los diversos Estados de Europa tras las pruebas de resistencia, que han sido sometidos dos veces, en 2013 y 2015, a un proceso de revisión inter pares a escala europea.

P: *¿Qué importancia tiene, en su opinión, la armonización internacional y las directivas europeas?*

R: Tras la revisión de la Directiva sobre normas básicas de protección radiológica en 2013 y la adopción en 2014 de

una nueva directiva sobre seguridad nuclear, la gestión de un accidente nuclear es un tema importante en el que hay que avanzar. Del mismo modo que Chernóbil, el accidente de Fukushima demostró que por encima de todas las medidas de seguridad diseñadas para evitar este tipo de accidentes y mitigar sus consecuencias deben existir medidas internacionales para hacer frente a emergencias de gran escala y de larga duración.

Además de la responsabilidad primordial del titular de la licencia para la gestión —*in situ*— de un accidente nuclear, la ASN considera que deben ser adoptadas en Europa disposiciones excepcionales de gestión de emergencias, que permitan a la autoridad de seguridad del país donde se produzca el accidente beneficiarse de un incremento de recursos humanos. También es esencial, en el ámbito europeo, asegurar que las medidas adoptadas para proteger a las poblaciones después de un accidente son coherentes y asegurar la coordinación entre las autoridades responsables en esta materia.

P: *¿Considera adecuado y suficiente el papel de WENRA, HERCA y asociaciones como INRA y, en general, el intercambio de experiencias e información entre los reguladores?*

R: En el plano internacional, la ASN participa compartiendo experiencias de trabajo con organismos internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Agencia para la Energía Nuclear (NEA), y dentro de las redes de las autoridades de regulación, asociaciones como la de los Reguladores Nucleares de Europa Occidental (WENRA) o la Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica (HERCA), que reúnen a representantes de las autoridades europeas responsables de la seguridad nuclear y protección radiológica.

Las normas de seguridad del OIEA son una parte fundamental del sistema de protección contra las radiaciones: proporcionan un puente entre principios, conceptos y unidades, y los textos reglamentarios garantizan una aplicación armonizada.

P: *Cada vez se concede más importancia a la labor de los reguladores en la transparencia y la información a la sociedad, ¿cómo se hace frente a este reto desde la ASN?*

R: La Ley de 13 de junio de 2006 (“Ley de TSN”) en relación con la transparencia y la seguridad física en el ámbito nuclear fortaleció considerablemente el requisito de transparencia y el derecho a la información en materia nuclear. Esta ley define la transparencia en el ámbito nuclear como “el conjunto de las disposiciones adoptadas para garantizar el derecho del público a la información fiable y accesible sobre la seguridad física” (artículo L.125-12 del Código de Medio Ambiente, anterior artículo 1 de la Ley de TSN).

La ASN considera que los temas nucleares son un asunto de todos y que todos los ciudadanos deben ser capaces de formar su propia opinión. Por ello, la ASN supervisa la ejecución de la ley TSN a través de las partes interesadas y verifica que los titulares de licencias nucleares cumplen con sus obligaciones en materia de transparencia. También apoyamos desde el regulador la acción de los Comités Locales de Información (CLI) para promover el diálogo entre las partes interesadas en las proximidades de una instalación nuclear.

Desde la ASN damos una gran importancia a la participación de la socie-

dad civil en temas relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica, dentro del espíritu de la Convención Aarhus, que recomienda la consulta al público, a las partes interesadas y la transparencia informativa. Nuestras acciones hacia los ciudadanos y los medios de comunicación ilustran la intención de hacer la información relativa a la seguri-



ASN-V. GOUHIER/ABACA

dad nuclear y a la protección radiológica cada vez más accesible a diferentes tipos de audiencia.

P: *¿Y se tienen en cuenta sus opiniones?*

R: Como regla general, la ASN se esfuerza para desarrollar la cultura del riesgo mediante la participación de los ciudadanos. Para lograr esto se despliegan muchos medios, en particular a través de su Centro de Información Pública en Montrouge, y la participación en los debates sobre cuestiones nucleares (de transición energética, proyecto CIGEO para

la disposición final de los residuos radiactivos o la vida útil de funcionamiento de las centrales nucleares).

En 2014, la ASN ha implementado sus esfuerzos de comunicación proactiva dirigida a los medios de comunicación y a las audiencias institucionales. Cada año presentamos un informe al Parlamento sobre el estado de la seguridad nuclear y protección radiológica en Francia y mantenemos contactos fluidos con los miembros del Parlamento y los funcionarios electos locales.

Las disposiciones en materia de transparencia se desarrollarán aún más con la entrada en vigor del proyecto de ley del crecimiento ecológico de transición energética, que actualmente está siendo debatido en el Parlamento francés.

P: *Fukushima puso de relieve la importancia de la independencia del organismo regulador ¿habría algún aspecto que mejorar?*

R: Además de la importancia de la independencia del organismo regulador, tres aspectos son particularmente destacables. En primer lugar, el enfoque de la defensa en profundidad tiene que mejo-

rarse a través de medidas para prevenir y mitigar las consecuencias de un accidente que exceda las bases de diseño iniciales para todas las instalaciones existentes dentro del mismo emplazamiento. Este enfoque implica el despliegue de sistemas móviles externos que se completarán a finales de 2015. Francia también ha decidido complementar estas disposiciones mediante la aplicación sustancial de medios fijos que garanticen un mayor refuerzo frente a los riesgos externos extremos.

En segundo lugar, el accidente de Fukushima es un recordatorio de que un accidente nuclear grave no puede ser totalmente excluido en ningún lugar del mundo, incluyendo Europa. Teniendo en cuenta el nivel de seguridad de las centrales nucleares europeas y sus mejoras derivadas de las lecciones aprendidas de diversos eventos (incluyendo el desastre de Fukushima), la probabilidad de un accidente severo es muy baja. Pero, por más improbable que sea, la respuesta ante emergencias debe de estar preparada para estos casos también. El compromiso de la ASN con el trabajo paneuropeo sobre la gestión de situaciones de emergencia radiológica tiene el objetivo de armonizar las medidas de protección de la población en ambos lados de las fronteras nacionales. En este contexto, las asociaciones HERCA y WENRA adoptaron una posición común a finales de 2014 con el objetivo de mejorar la gestión y la coordinación transfronteriza en situaciones de emergencia.

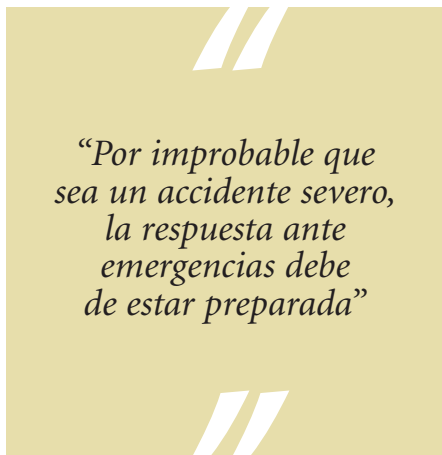
Y en tercer lugar, el 3 de enero de 2012 la ASN también subrayó que los factores sociales, organizativos y humanos representan un elemento clave en la seguridad y son un aspecto importante de las lecciones aprendidas de Fukushima. Las resoluciones de la ASN del 26 de junio de 2012 contienen requisitos en este ámbito, como la mejora y refuerzo de la capacitación de los operadores, la consideración de las condiciones de intervención en situaciones de emergencia, el examen de la presión psicológica sobre las personas que intervienen en estas situaciones, etc.

P: Como usted declaró recientemente, el modelo financiero de la ASN va a cambiar, ¿cómo es hoy en día y cómo es el modelo que desea alcanzar?

R: Desde el año 2000, todo el personal y los recursos operativos que intervienen en el desempeño de las funciones en-

comendadas a la ASN han sido cubiertos por el presupuesto general del Estado. En total, el presupuesto del Estado de 2014 para la transparencia y la regulación de la seguridad nuclear y la protección radiológica en Francia ascendió a alrededor de 165 millones de euros: 80 millones para el presupuesto de la ASN y 85 para el Instituto de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear (IRSN) como organismo de soporte técnico de la ASN.

Sin embargo, la ASN se enfrenta a grandes problemas en los próximos años, ya que debido a las limitaciones presupuestarias, el aumento de los re-



“Por improbable que sea un accidente severo, la respuesta ante emergencias debe de estar preparada”

curso deberá venir de los operadores de una manera abierta y transparente y bajo el control del Parlamento. La estructura de financiación es muy compleja, y complica la explicación clara del coste de la regulación. Esto, además, conduce a dificultades en cuanto a la preparación del presupuesto, el arbitraje y la ejecución.

P: ¿Cómo aborda la ASN el relevo generacional, para que no se pierda el conocimiento técnico que acumula y poder seguir haciendo frente de forma adecuada a sus funciones?

R: El 31 de diciembre de 2014 la fuerza de trabajo total de la ASN se situaba en 474 trabajadores, divididos entre los servicios centrales (255 funcionarios), las divisiones regionales (213 funciona-

rios) y diversas organizaciones internacionales (seis funcionarios). La mayoría del personal son funcionarios públicos. Tienen la oportunidad de trabajar aquí, así como en otras administraciones públicas, especialmente en las que regulan la industria no nuclear.

Así pues, tenemos un volumen de trabajadores que permite tener una cultura administrativa y técnica general que puede ser compartida. No obstante, sería mejor si la plantilla de la ASN pudiera permanecer durante periodos más largos dentro del regulador francés. Una pirámide de edades equilibrada y una política de la diversidad en el reclutamiento y la experiencia dan a la ASN los recursos humanos cualificados y complementarios que necesita para cumplir con sus responsabilidades. Además, la formación, el método de integración de los recién llegados y la transmisión de conocimientos ayudan a obtener el nivel requerido de preparación.

Para asegurarse de que siempre dispone de personal con la competencia requerida, la ASN debe ser capaz de ofrecerles —en relación con sus necesidades— carreras variadas, mejorando su experiencia actual. Por otra parte, la ASN apuesta por ofrecer puestos de trabajo a largo plazo y con perspectivas de carrera para su personal.

La competencia es un valor clave de la ASN. El sistema de tutoría, la formación inicial y continua, ya sea general, vinculada a las técnicas nucleares, el campo de la comunicación, o asuntos legales, así como las prácticas del día a día, son aspectos esenciales de la profesionalidad de nuestro personal. En 2014, tuvimos casi 2.665 días de formación en 191 sesiones que forman parte de 125 cursos diferentes. En este sentido, hay que recordar que el IRSN contribuye también a la competencia general del control de la seguridad nuclear y la protección radiológica en Francia. ©

Científicos e ingenieros aspiran a construir máquinas capaces de solucionar problemas ahora irresolubles

Computación cuántica: nuevas reglas del juego para los ordenadores

Desde hace décadas se trabaja en el desarrollo de ordenadores capaces de superar radicalmente la capacidad de los más avanzados supercomputadores actuales. Se trata de máquinas que funcionan con principios diferentes, basados en las propiedades de la mecánica cuántica. Sistemas que en lugar de distinguir entre dos estados, encendido/apagado o 0/1, como los procesadores actuales, manejen también estados intermedios. El reto es sumamente complejo y no es probable que los primeros aparatos aparezcan en la próxima década, pero los científicos e ingenieros involucrados, entre los que destaca el español Ignacio Cirac, van aproximándose cada vez más al éxito.

■ Texto: **Alicia Rivera** | periodista de ciencia, redactora de *El País* ■

“Imaginemos que las leyes que conocemos solo nos permiten sumar como hacen los niños pequeños: contando”, empieza Ignacio Cirac, una autoridad mundial en computación cuántica, al poner un ejemplo del salto cualitativo que está dando esta disciplina, por ahora más fecunda en el ámbito de la investigación pura que en el de la aplicación industrial. Contando como niños... “si quisiéramos sumar $2 + 3$ tendríamos que dibujar dos palitos, luego otros tres, y luego contarlos hasta sumar cinco”, continúa este físico teórico español, director del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Alemania). “Si tuviéramos un ordenador que cuenta muy rápido, tal vez podríamos realizar esta suma en un par de minutos, pero sería imposible sumar dos veces mil millones. Para poder realizar esta suma en un par de minutos, los ordenadores deberían

ser mil veces más rápidos que ahora. Si quisiéramos sumar dos billones, deberían ser un millón de veces más rápidos, mientras que si quisiéramos sumar dos números de mil cifras, probablemente nunca

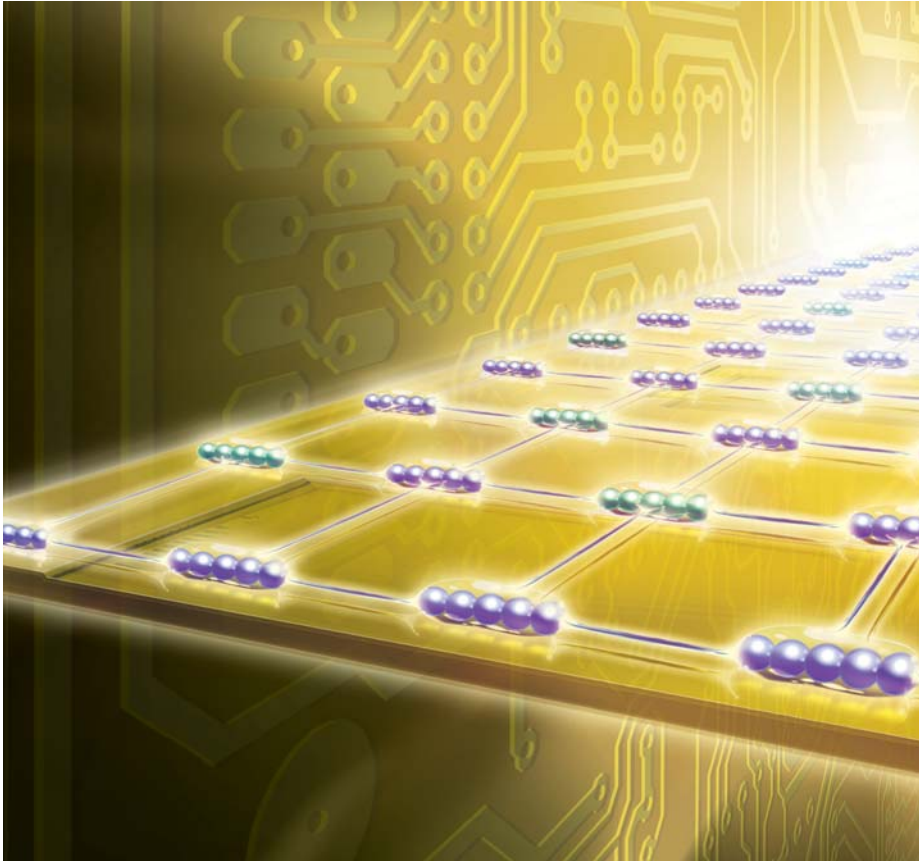


Ignacio Cirac.

podríamos construir un ordenador que realizase esta tarea”. Y aquí entra el universo cuántico: “Sin embargo, si alguien descubriera una nueva ley que permita sumar los números como hoy sabemos hacer escribiendo uno debajo de otro y sumar cifra a cifra, el tiempo necesario para sumar dos números de mil cifras sería solo mil veces mayor que el necesario para sumar $2 + 3$ con el mismo ordenador. La mecánica cuántica permite hacer esto mismo con otros problemas para los cuales solo existen métodos lentos para resolverlos”.

La nueva ley necesaria no es tan nueva, tiene un siglo y es omnipresente en múltiples tecnologías, desde los ordenadores convencionales, los teléfonos móviles, los láseres o multitud de aparatos médicos, sin contar la ciencia, la física del siglo xx y xxi. Pero la explotación de sus leyes básicas para contar, para computar, es más reciente y no es que esté dando sus primeros pasos, pero le queda todavía bastante por andar para ser una realidad tecnológica disponible. En el horizonte, aunque nadie se atreva a precisar cómo de lejano, esos nuevos aparatos de computar deben ayudar en el diseño de compuestos químicos, en el estudio y fabricación de materiales con propiedades especiales, relojes de precisión muy superior a los actuales (con su impacto, por ejemplo, en los sistemas GPS), en el acceso ágil a bases de datos masivas y en la simulación de problemas fundamentales de la física ahora intratables en ordenador, además de, seguramente, aplicaciones aún no imaginadas. Y sin olvidar la vertiente, más al alcance, de la comunicación y la criptografía cuánticas, es decir, la capacidad de tratar y transmitir información con protocolos de seguridad basados en la mecánica cuántica de tal modo que, si un intruso interfiere en ella, resulta necesariamente delatado.

¿Para cuándo un ordenador cuántico? Nadie se arriesga con un calendario,



Representación artística de un registro bidimensional de microtrampas de iones.

pero, al menos, en los últimos tiempos los expertos confluyen en el convencimiento de que se acabará logrando. Claro que si ahora se ha conseguido juntar unos 15 qubits (los bits cuánticos), haría falta llegar a unos 10.000 “para hacer un cálculo que no pueden realizar los ordenadores actuales, por ejemplo la factorización de un número de 200 dígitos”, afirma Cirac. Aunque apunta que puede que haya aplicaciones que solo exijan entre 500 y 1000 qubits en el campo de la simulación.

“No tengo ninguna duda de que construiremos un ordenador cuántico”, comenta José Ignacio Latorre, catedrático de Física Teórica de la Universidad de Barcelona. “Pensemos en las maravillas científicas que encierra un teléfono móvil actual, que sería inconcebible hace un siglo. Actualmente, el ser humano ha tomado el control de átomos individuales y, con ello, lograremos ordenadores cuánticos, relojes de inusitada precisión,

Criptografía sin intrusos

Esa propiedad de la superposición cuántica, la indefinición de un estado de un objeto microscópico mientras no sea interferido desde el exterior (mientras no sea observado), permite encriptar mensajes; en concreto, distribuir claves secretas con las que más tarde se pueden codificar y decodificar mensajes. Y algo muy interesante: si alguien intenta interceptar la comunicación destruirá la superposición, por lo que emisor y receptor sabrán de la intrusión.

“La criptografía cuántica usa los principios de la mecánica cuántica para realizar tareas o protocolos para la seguridad de la información, o criptografía”, señala el matemático Ignacio Luengo, catedrático de la Universidad Complutense. “El más importante de estos protocolos es el QKD (Quantum Key Distribution), esencialmente una tecnología que transmite la información punto a punto mediante la transmisión de estados cuánticos, como la polarización de un fotón, a través de fibra óptica o en el aire”.

En esta aplicación se ha avanzado ya mucho más que en el desarrollo de los ordenadores cuánticos, pero este ex-

perto en criptografía señala que las distancias a las que se puede transmitir, por ahora, no son muy grandes debido a que “la información cuántica no pasa a través de los amplificadores ópticos de las redes de fibra óptica”.

Y son las propias leyes de la mecánica cuántica las que delatan a cualquier intruso. “El hecho de que no se pueda medir un estado cuántico, en el sentido de que si se mide este estado se modifica, es una consecuencia del principio de incertidumbre de Heisenberg”, explica Luengo, e implica, a efectos de criptografía segura, que si una persona trata de leer la información que pasa a través de un canal cuántico, como la QKD, modifica la información y es automáticamente detectada.

Así, ni siquiera un futuro ordenador cuántico podría vencer las claves criptográficas cuánticas.

Otra cosa es la combinación, en el tiempo, de ordenadores cuánticos con claves tradicionales, normalmente basadas en la factorización (dado un número, encontrar otros dos que al ser multiplicados den el primero como producto) de números muy grandes. Es la técnica habitual, por ejemplo, para manejar información entre bancos y en todo tipo

sensores increíbles... todo un mundo que se nos va a venir encima sin ser conscientes de ello”.

Para no perder el tren, no solo universidades y centros de investigación de alto prestigio internacional, sino también grandes colosos mundiales de informática han entrado ya en la computación cuántica con equipos de investigación potentes dedicados a ella. Como Microsoft, IBM y Google que, hace unos pocos meses, fichó a todo el equipo (una veintena de investigadores) dirigido por John Martinis, de la Universidad de California en Santa Bárbara, para poner en marcha un nuevo laboratorio de *hardware* cuántico. “No creo que se pueda construir un ordenador cuántico con toda la potencia en un tiempo razonable (menos de diez años), pero la apuesta de Google puede ayudar en el proceso y puede suponer un avance en la simulación cuántica”, señala Cirac. Martinis declaró hace poco en *Scientific American* que no tiene fecha

pero que es optimista, aún sin descartar las sorpresas que pueda deparar el futuro: “Aún es posible que la naturaleza no permita que funcione [el ordenador cuántico universal], pero creo que tenemos una probabilidad decente”.

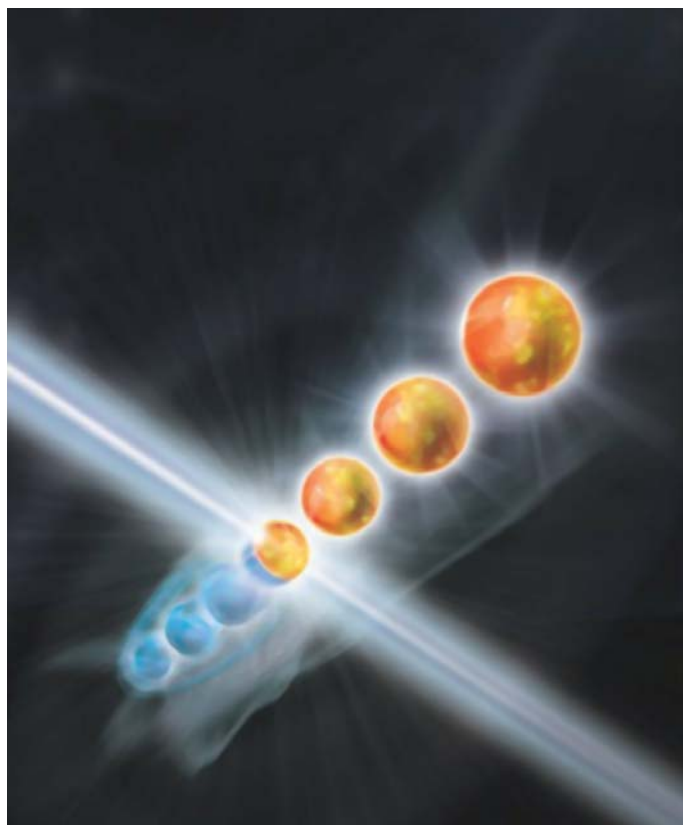
Otros parece que han corrido incluso demasiado, como una empresa canadiense que anuncia ya la comercialización de ordenadores cuánticos, aunque los expertos advierten de que no funcionan según las reglas de la computación cuántica y que la temperatura y condiciones a las que trabajan no son compatibles con ella.

Todo esto se basa, esencialmente, en dos principios básicos de la mecánica cuántica: la superposición de estados y el entrelazamiento de partículas. Con toda la profundidad que encierran, hay que intentar aproximarse a su significado para hacerse una idea de cómo funcionará un ordenador cuántico y por qué será tan distinto de uno convencional.

“Según la mecánica cuántica, las propiedades de los objetos no tienen por qué estar bien definidas mientras no los observemos”, explica Cirac. “Este raro fenómeno se manifiesta especialmente en los objetos microscópicos: si tenemos un átomo o una molécula y nos fijamos en uno de sus electrones, es posible que se encuentre girando en una órbita alrededor del núcleo, pero también puede estar en una superposición de una o más órbitas, y solo cuando observamos el átomo, normalmente enviándole luz, la órbita queda determinada. Aunque parezca extraño, la trayectoria del electrón no existe, no está bien definida, y solo al observar aparece esa propiedad”. Durante décadas, este principio se consideraba imposible de demostrar experimentalmente, porque la superposición cuántica desaparecería (y el electrón tendría una órbita determinada) en cuanto se observase. Así, los finos cálculos de la mecánica cuántica en física se han venido

de transacciones por Internet. “Con los ordenadores actuales... es imposible construir uno tan rápido que pueda factorizar un número de mil cifras”, explica Ignacio Cirac. Por eso son claves seguras. “Pero en un ordenador cuántico, el esfuerzo de factorizar un número con 1.000 cifras sería comparable al de factorizar uno de pocas”.

Es decir, que las futuras máquinas que funcionen con las leyes de la mecánica cuántica pueden provocar una auténtica hecatombe mundial si no se toman medidas. “En la mayoría de las situaciones, como el comercio electrónico o con las tarjetas que llevamos en el bolsillo, no se puede usar criptografía cuántica”, comenta Luengo. “En esas situaciones se usa la criptografía de clave pública que sí es descifrable con un ordenador cuántico”, continúa. “Por tanto, se puede decir, sin exagerar, que si en unos pocos años se consiguiera un ordenador cuántico se colapsaría el comercio electrónico en Internet y, por eso, hay actualmente un gran interés en el desarrollo de la criptografía poscuántica que busca protocolos convencionales seguros (no cuánticos) ante un ordenador cuántico”.



Representación artística de un simulador cuántico basado en iones atrapados.

IQOQIRITISCH, CORTESÍA GRUPO R. BLATT (UNIVERSIDAD DE INNSBRUCK, AUSTRIA)

haciendo con probabilidades de que un electrón, por ejemplo, esté en una u otra órbita, no midiendo directamente dónde está. Es la base del famoso experimento cuántico teórico del gato de Edwin Schrodinger, que está a la vez vivo y muerto dentro de una caja y, solo cuando se abre para mirar dentro, el animal asume la vida o la muerte.

Pero en 1964, se dio con una forma de demostrar experimentalmente la superposición, y fue precisamente de la mano del otro principio cuántico citado: el entrelazamiento. Resulta que, por ejemplo en dos átomos con sus electrones entrelazados, una determinada propiedad en uno de ellos necesariamente está en el otro, por mucho que se alejen, de manera que la observación de uno de ellos —y así haciéndole decantarse por una opción de la superposición— nos indica con seguridad cómo será esa propiedad en el entrelazado. De aquí que los científicos hablen de teleportación, aunque no se trata de magia ni del viejo recurso de la ciencia ficción para que viajen personas instantáneamente de un lugar a otro, incluso en distintas galaxias, sino de teletransportar propiedades de las partículas, de los átomos.

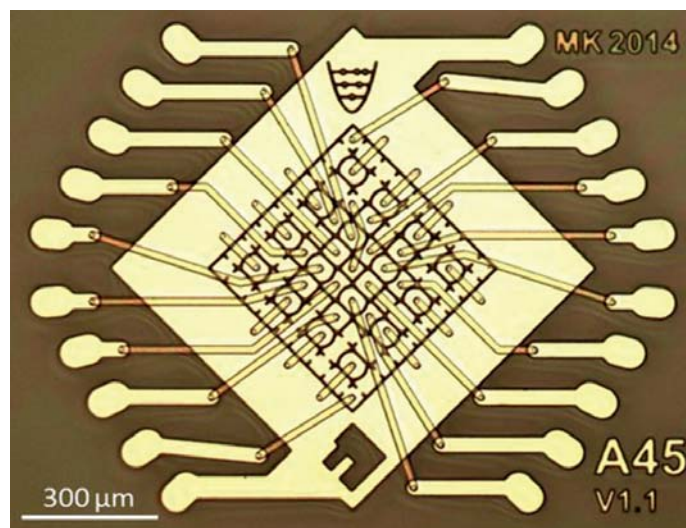
“La computación cuántica o, más en general, las tecnologías de información cuántica buscan entender cómo manipular la información almacenada en partículas cuánticas, como fotones o átomos, con el objetivo de realizar nuevos modos de procesamiento y transmisión de información”, resume Antonio Acín, investigador del Instituto de Ciencias Fóticas (IFCO, en Barcelona).

El pistoletazo de salida reconocido de esta disciplina científica se remonta a 30 años, cuando el genial físico estadounidense Richard Feynman, en 1985, lanzó un reto. “Al pensar en problemas físicos interesantes para los que se podría utilizar un gran ordenador paralelo, entonces en desarrollo, Feynman se perca-

tó de que los ordenadores clásicos son lentos en la simulación de problemas cuánticos, pero en cambio la naturaleza es rápida”, explica Latorre. “Por ejemplo, observamos una transición de fase cuántica que luego nos lleva meses simular en un ordenador clásico: la lógica clásica simula lentamente la lógica cuántica. Revertiendo el razonamiento, Feynman postuló que un ordenador cuántico debería poder superar a uno clásico de forma brutal”. Desde entonces, además, la física experimental ha dado también pasos de gigante en el aislamiento, la manipulación y el control de átomos aislados, favoreciendo la puesta en práctica de aquellas ideas.

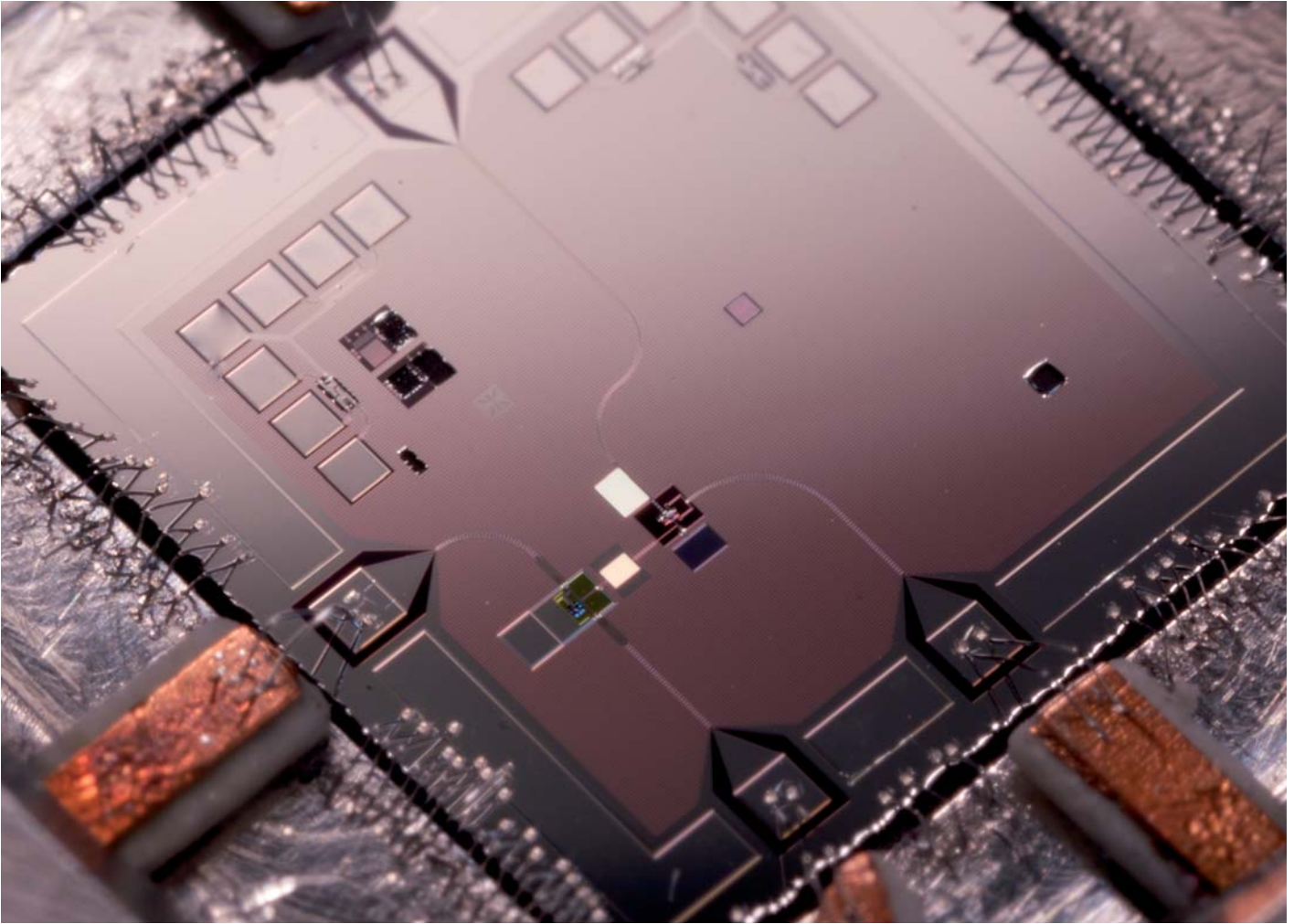
De la mano de la superposición se llega al qubit, la unidad de codificación de la información en computación cuántica. Si un bit convencional tiene dos estados (0 y 1, o abierto y cerrado, en electrónica), el qubit, como sistema físico cuántico, puede estar en estado 0, en estado 1 y en la superposición de ambos. El resultado, la computación cuántica, “es como si tuviésemos varios procesos corriendo a la vez en el mismo ordenador, y con 100 qubits podríamos tener muchísimos procesos corriendo en paralelo en un solo ordenador, por lo que un ordenador cuántico puede hacer lo mismo que uno clásico y muchísimo más”, explica Cirac.

Para Miguel A. Martín-Delgado, catedrático de la Universidad Complutense y experto en computación cuántica, esos nuevos ordenadores son “inevitables”. Es más, “están ahí, a la vuelta de la



Realización experimental de un registro bidimensional de trampas de iones con 16 sitios independientes para atrapar iones.

esquina”, dice. Y explica por qué serán necesarios dentro de unos pocos años: en “el año 2000, recuerda, se predijo que para 2020, sería una realidad un ordenador hecho de chips cuyas unidades fundamentales fueran átomos individuales”. Y se está cumpliendo. “Actualmente, los ordenadores como los que usamos están contruidos con tecnología que trabaja a escala de 24 nanómetros, años atrás se usaban escalas de micras (una micra es 1.000 veces mayor que un nanómetro) y sé que se está preparando el salto a los chips de siete nanómetros”, explica Martín-Delgado. “¿Qué viene después? Pues justamente por debajo de un nanómetro está la escala atómica que es solo diez veces más pequeña que la escala nanométrica y, a escala atómica, el mundo y sus leyes son inevitablemente cuánticas, así que hay que aprender a hacer ordenadores con esas leyes cuánticas en vez de las clásicas. En conclusión: es muy posible que para 2020 nos demos de bruces con los efectos cuánticos en los ordenadores”. Así, sostiene este catedrático, las nuevas computadoras cuánticas serán una necesidad para mantener el ritmo de miniaturización que ha venido funcionando desde los años sesenta y que es “responsable del enorme desarrollo



Mecanismo de computación cuántica, que fue reconocido como uno de los avances más importantes del año por la revista *Science* en 2010.

tecnológico y económico en occidente desde los años ochenta hasta ahora”.

El objetivo está claro, la teoría ha avanzado notablemente en los últimos años, se están desarrollando algoritmos cuánticos y muchos científicos trabajan en simuladores cuánticos, que deben ser más accesibles que los ordenadores cuánticos convencionales. Son equipos, por ahora teóricos, “que permiten resolver solo algún tipo de problemas específicos, pero que son más sencillos de construir”, apunta Cirac.

Martín-Delgado pone un ejemplo fácil de lo que serían estas computadoras cuánticas específicas para realizar alguna tarea concreta: “Un ordenador cuántico es a un ordenador actual lo que un simulador cuántico es a una videocon-

sola que tenga dentro un chip en la tarjeta gráfica más potente que los chips de los ordenadores de mesa que tenemos. Lo que pasa es que el chip de la videoconsola es muy bueno para hacer los gráficos complicadísimos de los videojuegos, pero para nada más”. Este experto considera que se puede construir un simulador mucho antes que un ordenador cuántico universal, y que controlando del orden de 1.000 a 10.000 átomos se conseguiría hacer simulaciones más potentes que las de cualquier conjunto de ordenadores actuales.

Parece que va a ser un camino de rosas, pero los científicos se enfrentan a retos importantes, como encontrar los qubits más idóneos para la computación cuántica, aislar los ordenadores suficien-

temente de interferencias exteriores (que decantarían los átomos a un estado u otro y perderían su calidad de qubit) o desarrollar métodos de control de errores, algo muy superado ya en los ordenadores convencionales.

Por una parte, hay que buscar qué soporte es el más apropiado para los qubits, el equivalente al silicio en la electrónica convencional. “Manipular átomos o fotones es complicado por motivos evidentes: son partículas pequeñas y frágiles”, comenta Acín. “Sin embargo, la luz se ha manifestado un excelente mecanismo para manipular partículas cuánticas con gran precisión y control, y de ahí la aplicación de la óptica cuántica, la luz a escala cuántica para aplicaciones de computación”. Desde luego, el fotón, la partícula de la luz,

es una buena opción de qubit, añade este científico, pero no la única. “El fotón es la mejor opción para las comunicaciones cuánticas, es decir, cuando queremos enviar información cuántica de un lado a otro. En un ordenador cuántico será mejor un átomo y otro dispositivo con masa para almacenar la información”. Y traza un paralelismo con las comunicaciones actuales que transmiten información, es decir, bits, con la luz a través de la fibra óptica, pero en los ordenadores se guarda la información en objetos con masa, el silicio. Y ahí están trabajando los expertos de estado sólido.

Las comunicaciones cuánticas, por su parte, ya son una realidad, con los récords de distancia alcanzada que se suceden cada poco. Recientemente, en un experimento de criptografía cuántica (la transferencia segura de datos sensibles sin ser interceptados), la Universidad de Ginebra afirma haber logrado la transmisión de claves cuánticas útiles para codificar un mensaje a una distancia superior a 307 kilómetros. Han utilizado, explica el equipo de Hugo Zbinden, una nueva generación de fibra óptica y detectores de bajo nivel de ruido. Además, estos investigadores han desarrollado nuevos detectores (para recibir las partículas de luz) que no requieren temperaturas tan bajas como los convencionales, lo que reduce el tamaño de los equipos y los hace más fáciles de utilizar.

De 15 qubits actuales a varios miles necesarios para hacer un ordenador cuántico universal (no específico para una tarea concreta) hay una distancia. “El camino más conservador es ir haciendo estos ordenadores cada vez más grandes, poco a poco, pero es posible, sobre todo con las tecnologías superconductoras, que haya algún salto cualitativo”, señala Cirac. En cuanto a las dificultades a la vista, “el problema principal es el aislamiento y el grado de control de los qubits”, avanza este experto. Es que las superposiciones cuánticas

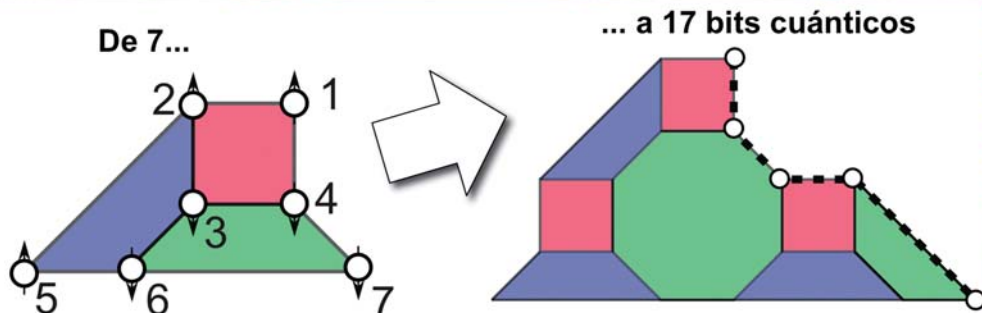
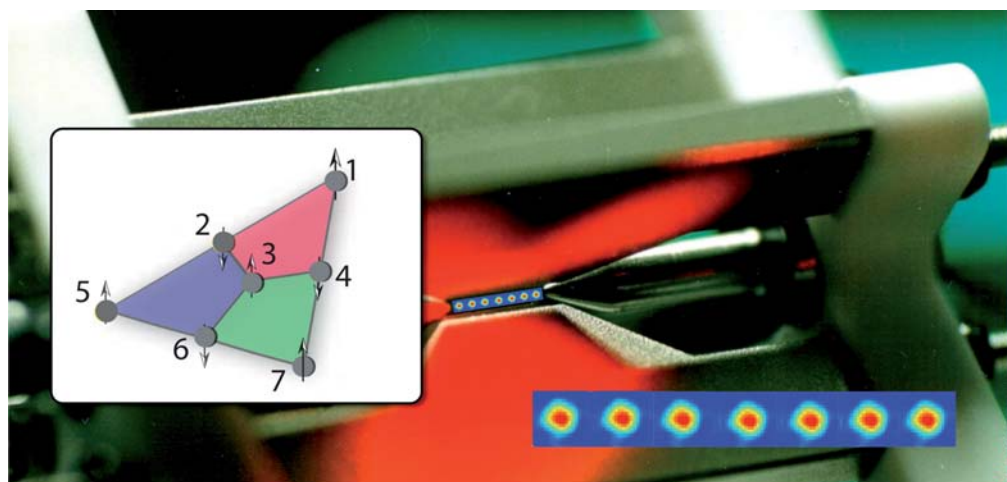


Ilustración de la perspectiva de computación cuántica tolerante frente a errores.

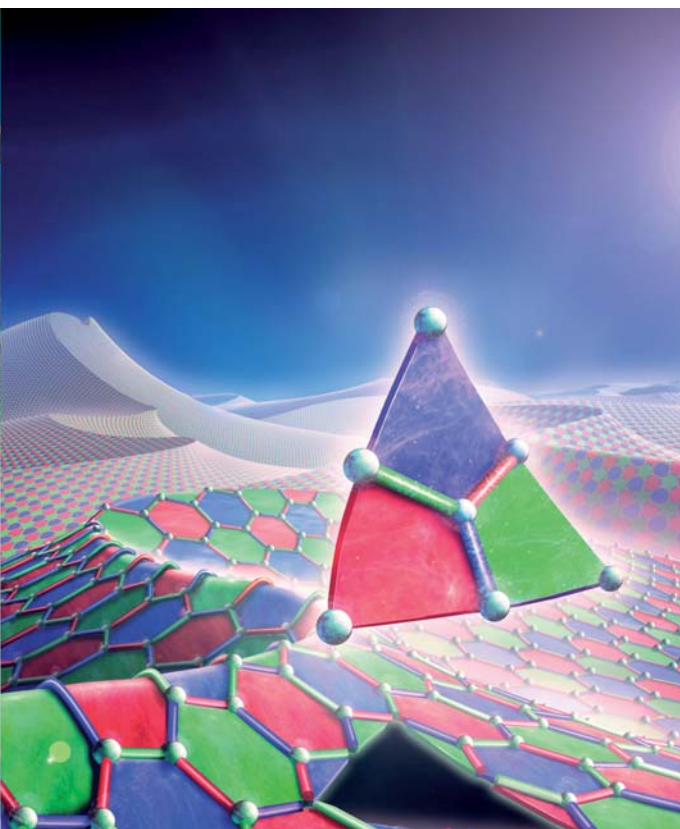
de los qubits son extremadamente frágiles, de manera que cualquier agente externo actúa como observador y hace que sus propiedades queden determinadas, por lo que la búsqueda se encamina a dar con un sistema cuántico que esté suficientemente aislado.

Y está el problema de la corrección de errores. “Primero es necesario que la probabilidad de que se produzca un error en cada puerta lógica cuántica entre qubits sea inferior a 0,001 o menos, y eso es difícil, pero se ha conseguido con tecnología de iones y superconductores, lo segundo es que este nivel de error se mantenga estable a medida que vamos haciendo el ordenador más grande, y ahí radica la mayor dificultad. En cuanto se consiga habremos dado un paso muy grande”, concluye Cirac.

Martín-Delgado coincide: “El mayor reto teórico es conseguir un modelo de computación cuántica que sea autocorregible, que si surge un error, el

ordenador cuántico lo corrija por sí mismo, sin ayuda externa, algo que ya existe en los ordenadores convencionales”. Y él trabaja precisamente en eso con su grupo. En cuanto a avanzar hacia plataformas capaces de hacer computación cuántica a gran escala, se están volcando en ello “los esfuerzos más relevantes”, afirma y destaca “los recientes y prometedores qubits superconductores y las microtrampas planas de átomos de R. Blatt en Innsbruck”. Acín considera que “hay muchos retos teóricos todavía y, sobre todo, prácticos”.

De momento, se ha logrado construir ordenadores cuánticos con unos pocos átomos que se atrapan en trampas electromagnéticas y se enfrían con la ayuda de láseres para que se queden parados, y cabe esperar que, en los próximos años, se pueda llegar a manipular unas cuantas decenas de qubits, considera Cirac. Y esos pequeños prototipos demuestran la viabilidad de los principios fundamentales de



HOORITSCH, CORTESÍA GRUPO R. BLATT (UNIVERSIDAD DE INNSBRUCK, AUSTRIA)

los ordenadores cuánticos. En ello se afanan científicos de la computación, matemáticos, físicos teóricos y experimentales, químicos y expertos en materia condensada y óptica. El doble avance teórico/experimental es imprescindible.

Feynman apuntó hacia el uso de la computación cuántica para abordar en investigación fundamental problemas insolubles sin ella, y los científicos no lo han olvidado. Por ejemplo, la física de partículas. “El científico John Preskill ha dado los primeros pasos para hallar la forma de simular procesos de colisiones de partículas de forma eficiente”, explica Latorre. “También hay esfuerzos ingentes para emplear un ordenador cuántico que simule eficientemente la teoría de la cromodinámica cuántica que describe las interacciones entre quarks y gluones”, añade.

Una vertiente que seguramente será más popular, aunque un tanto engañosa, de esta explotación de las leyes de la mecánica cuántica en la computación y

las comunicaciones es la teleportación. De la mano del entrelazamiento, ese característico compartir estados cuánticos de los objetos del microcosmos, llega la transmisión inmediata de información entre dos puntos, sea cual sea la distancia: dos partículas entrelazadas están intrínsecamente conectadas. Es lo que explotaron los investigadores de la Universidad de Ginebra en su récord de transmisión de 307 kilómetros.

Unos meses antes, en noviembre, unos investigadores de la NASA, en colaboración con colegas suizos, anunciaban en la revista *Nature Photonics*, que habían logrado tele-

portar información acerca del estado cuántico de un fotón a 25 kilómetros por fibra óptica hasta un banco de memoria “estableciendo un nuevo récord de distancia recorrida de esta manera”, y señalaban que el récord anterior estaba en seis kilómetros. “Podemos imprimir el estado de un sistema en otro sistema, incluso cuando están lejos”, explicaba Francesco Marsili, ingeniero del *Jet Propulsion Laboratory*, en California. “La utilización de este efecto en comunicaciones puede ayudar a construir una red intrínsecamente segura de comunicaciones que no pueda ser interferida”. En un sistema entrelazado, “cada parte está conectada a otra de manera fundamental, de tal forma que cualquier acción que se realice en una parte del sistema entrelazado tiene un efecto sobre todo el sistema”, añadía Marsili.

Pero estos investigadores ya advertían que lo que estaban transportando eran propiedades de la luz. “No, no estamos

desarrollando un teletransporte de tipo *Star Trek*”, explicaban. “Nuestro experimento es radicalmente diferente: el teletransporte de la ciencia ficción traslada materia convirtiéndola en una señal que es la que viaja y luego esa señal se convierte de nuevo en materia en otro lugar. Nosotros teleportamos propiedades de la luz y no es concebible que se puedan teleportar los estados cuánticos de objetos de material macroscópico”.

“El teletransporte es una manera de enviar la información de una partícula cuántica sin enviar la partícula”, resume Acín. “Lo que viaja es la información, pero no la partícula física”, añade. Se han realizado ya varios experimentos de teletransporte con fotones, iones, y fotones y átomos, destaca Cirac.

Tan avanzada ya, pero tan lejos aún... ¿Puede la computación cuántica convertirse en una nueva fusión nuclear controlada, esa aspiración en la que la ciencia y la ingeniería avanzan desde hace décadas, incluso con grandísimos programas mundiales, pero que siempre parece que le faltan 50 años para ser una realidad? “No, la situación es radicalmente diferente”, responde Martín-Delgado. “La energía de fusión es un problema tan complicado que ni siquiera hay un fundamento teórico detrás, un modelo que prediga que se puede estabilizar la obtención de fusión de modo que la energía que se meta [en el sistema] sea menor que la que se saque y el rendimiento energético sea favorable. El problema de cómo crear un *solecito* en la Tierra sigue abierto teóricamente”. Sin embargo, recalca este catedrático de la Complutense, “en computación cuántica la situación es mucho más favorable porque tenemos modelos teóricos análogos a los que hay detrás de los ordenadores actuales. “Desde el punto de vista experimental también hay modelos teóricos que predicen que la computación cuántica debe ser posible”, concluye. ©



Personal de la Salem.

Salem, veinticuatro horas al día en alerta permanente

El horario de la Sala de Emergencias del Consejo de Seguridad Nuclear no es difícil de recordar: veinticuatro horas al día durante los 365 días del año. Un centro que, tal y como indica el reloj digital presente en cada una de las salas de los diferentes grupos de trabajo, se

encuentra en estado de alerta permanente, controlando cualquier incidente que ocurra en las instalaciones nucleares y radiactivas de nuestro país.

■ Texto: **Vanessa Lorenzo López** | Área de Comunicación del CSN ■

Cuando uno visita la sede del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) quizás su Sala de Emergencias (Salem) sea uno de los lugares que más atención capta, y es que las puertas de esta sala con aspecto de búnker se abren en caso de emergencia para acoger a los máximos expertos en seguridad nuclear y protección radiológica encargados de gestionar las situaciones de crisis.

Estamos ante el centro de coordinación de operaciones, lugar desde el que el organismo regulador lleva a cabo una de sus funciones principales, la de velar por la seguridad de las instalaciones nucleares

y radiológicas, y vigilar la calidad radiológica del territorio nacional en situaciones de accidente.

Durante el paseo por lo que algún medio de comunicación apodó como “el corazón de la seguridad nuclear”, el visitante comprueba como a través de un avanzado sistema de comunicaciones puede conocerse en tiempo real más de 200 parámetros del estado de cada central, los niveles de radiactividad que existen en la atmósfera en todo el territorio nacional, o como tras una puerta que da acceso a una pequeña sala privada, encontramos el “teléfono rojo”, que en este caso es azul, pero

que de igual modo establece una conexión directa y privada con el presidente del Gobierno de España.

Pero ¿quién se encarga de estas y otras muchas herramientas que permiten conocer la evolución de un accidente, sus posibles consecuencias y las medidas de protección que deben ponerse en práctica en función de la gravedad del suceso? La responsabilidad recae en un grupo de expertos en seguridad nuclear y radiológica y en comunicaciones, que trabaja sobre unos calendarios en los que no existen fines de semana ni festivos, para garantizar la operatividad de todos los sistemas necesarios

Juan Pedro García Cadierno,
jefe del Área de Coordinación de
Operaciones de Emergencias

“Trabajamos para tenerlo siempre todo a punto, ante una emergencia nada debe fallar”

Licenciado en Ciencias Físicas y máster en Dirección de Sistemas de Emergencias, con más de 25 años de trayectoria en el organismo regulador, García Cadierno ha pasado por varias subdirecciones del CSN y ha vivido en primera persona accidentes nucleares de la talla del incendio en la unidad I de la central nuclear Vandellós (Tarragona) o el seguimiento del accidente de Fukushima (Japón). Juan Pedro representa también a España en los convenios internacionales de pronta notificación de situaciones de emergencia.

PREGUNTA: Dicen que la Sala de Emergencias, con sus avanzadas tecnologías y su alerta permanente, es “el corazón de la seguridad nuclear”, donde los expertos gestionan las crisis. ¿Qué implica trabajar en ella?

RESPUESTA: En primer lugar una especial dedicación. Estamos ante una sala de emergencias y como tal, debe estar operativa las 24 horas del día los 365 días del año. Para nuestro personal cualquier hora es hora de trabajo y, a diferencia del resto de áreas del Consejo, aquí no existen días festivos.

En determinadas situaciones el equipo tiene que soportar muchas tensiones, ya que son las primeras personas en recibir las notificaciones de incidentes nucleares y radiológicos. Son responsables también de garantizar el correcto funcionamiento de todas las herramientas de trabajo de los diferentes grupos que se activan ante una emergencia. Trabajamos para tenerlo siempre todo a punto y ese día nada debe fallar.

P: ¿Cuáles han sido las situaciones más complicadas que ha vivido en la Salem desde que llegó a su cargo?

R: Aunque suene a tópico, todas las situaciones anómalas que se viven en la Salem resultan complicadas. La gente piensa que las situaciones de emergencia pueden ser las más complejas, pero en ocasiones algunos sistemas que suministran información dejan de funcionar, y recuperar su estado normal trae muchas complicaciones. Si bien, cuando uno se enfrenta a accidentes reales como fue el de Vandellós I o el seguimiento de Fukushima, la tensión es muy diferente.

P: Tras el accidente de Fukushima, la imagen de la Salem y la gran actividad que durante esos días se llevó a cabo en el CSN fue mostrada por numerosos medios de comunicación. ¿Cómo vivió un accidente que conmocionó al mundo entero?

R: Fue el primer gran accidente que viví en primera línea. Aunque se produjo a más de 10.000 km de distancia, tuvo un tremendo impacto mundial. Tras la notificación del accidente por parte del OIEA, la Salem comenzó a analizar la información que nos iban suministrando.

Los primeros días la situación fue un poco caótica, recibíamos datos por muchas vías y a veces no eran correctos. Nosotros siempre trabajamos con fuentes oficiales y se suministró al exterior una información rigurosa y de calidad.

Según pasaban las horas, y viendo que la situación se complicaba, la mañana del sábado 12 de marzo, se estableció en la Salem un grupo de seguimiento para informar a las autoridades y población española sobre la evolución del suceso.

Inicialmente el principal problema fue asesorar, a través de la embajada española en Tokio, a los españoles que se encontraba en Japón.

En la fase urgente de la emergencia, el Consejo solo activó la ORE un día, y lo hizo para asesorar a la embajada española sobre la posible distribución de pastillas de yodo, en relación con posibles viajes a y dentro de Japón, y el control radiológico de las personas que regresaban a España.

Durante los dos primeros meses el grupo de seguimiento se reunió diariamente en la Salem para redactar las notas de prensa a partir de la información oficial recibida. Antes de su difusión, se enviaban al Departamento de Infraestructuras para el Seguimiento de Situaciones de Crisis de Presidencia de Gobierno. Este departamento creó



también un gabinete de crisis, al que se incorporó Juan Carlos Lentijo, entonces director técnico de Protección Radiológica del CSN, para informar diariamente al presidente del Gobierno.


P: Los mayores emergencias nucleares se han producido fuera de España ¿Hay coordinación internacional para el flujo de información en caso de accidente?

R: España ha firmado los acuerdos con el OIEA y con la Unión Europea para la notificación e intercambio urgente de información en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. Cada firmante está obligado a notificar cualquier situación de emergencia decretada en su país que conlleve la adopción de medidas de protección a la población de amplio alcance.

Para poder realizar esta función, existen dos aplicaciones informáticas conectadas con Viena, Luxemburgo y Bru-

selas, que posteriormente se encargan de transmitir la información de un país al resto de sus estados miembros.

La información más fiable que disponía la Salem en el accidente de Fukushima, era la proporcionada por el Centro de Incidentes y Emergencias del OIEA, mientras que el seguimiento y evolución de la contaminación en Europa se realizaba a través del sistema ECURIE de la Unión Europea. Gracias a ello pudieron descartarse algunos datos que obviamente no habían sido contrastados.

Por otro lado, además de nuestro continuo entrenamiento, se realizan ejercicios internacionales con el fin de ir avanzando en la notificación y comunicación en caso de emergencia. De hecho, ahora mismo, en el Consejo estamos preparando un simulacro internacional, llamado INEX-5, en el que analizaremos aspectos que ya se identificaron como susceptibles de mejora durante el accidente de Fukushima. 

para poder responder adecuadamente ante una emergencia.

Las 16 personas que conforman el equipo de la Salem se dividen equitativamente en dos grupos, el de los técnicos y el de los oficiales, orquestados todos ellos bajo la dirección de Juan Pedro García Cadierno, forman parte de la Subdirección de Emergencias y Protección Física.

El día a día del personal transcurre en turnos rotativos en los que un técnico y un oficial se encargan de realizar el mantenimiento y las pruebas de verificación de todos los sistemas y equipos que componen el centro.

Un procedimiento, que hace las funciones de guía, detalla los pasos a seguir para comprobar que todo está preparado ante una posible emergencia. Y es que esta sala cuenta con avanzadas herramientas que permiten conocer datos tales como parámetros de operación de las plantas (potencia del reactor, sistemas de refrigeración, etc.), la situación radiológica en el interior y las condiciones meteorológicas, entre otros. Información necesaria, que ayuda a los expertos de las diferentes subdirecciones técnicas a diagnosticar y predecir el estado de la instalación y la estimación de las

consecuencias radiológicas que puede ocasionar un incidente.


La puesta a punto de estos sistemas cobra especial interés si se tiene en cuenta que, en base a la información que proporcionan y ante determinadas circunstancias, el Consejo de Seguridad Nuclear podría llegar a recomendar medidas para proteger a la población, tales como su confinamiento o evacuación, la distribución de profilaxis radiológica o la restricción del consumo de determinados alimentos y bebidas.

Actuación en emergencias

Tal y como explica uno de los técnicos, la rutina diaria de esta sala se ve alterada cuando un suceso nuclear o radiológico es comunicado al organismo regulador, y es que la Salem es la primera puerta a la que se llama en estos casos. Tras la notificación del suceso se pone en marcha para ellos otro procedimiento que marca sus actuaciones. Una vez recogida toda la información disponible, se encargarán de contactar con los máximos responsables, técnicos del CSN, y distribuirla al resto del personal del organismo para su evaluación y posterior toma de decisiones.

Cuando el reloj de la Sala cambia su habitual “modo 0” de alerta permanente y marca el modo 1 o el 2, las alarmas se disparan y el ritmo de trabajo se agita. Estamos ante una emergencia y es ahora cuando hay que demostrar que todos los sistemas están a punto para que los diferentes grupos de trabajo del organismo puedan gestionar la crisis.

En abril de 2005, el CSN actualizó su vigente Plan de Actuación ante Emergencias (PAE) y definió una estructura operativa para llevarlo a cabo. Bautizada como Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE), está dotada de un equipo de expertos profesionales en diferentes disciplinas, avanzados medios técnicos y una serie de procedimientos que marcan las actuaciones y las medidas que deben ponerse en marcha ante situaciones críticas.

Dentro de este complejo engranaje, la Salem juega un papel crucial puesto que proporciona la infraestructura material básica para la ejecución del PAE, constituye el centro operativo de la ORE y su personal se integra dentro del Grupo de Coordinación, que se encarga de asegurar el flujo de información entre todos los organismos implicados en la emergencia. 

Reacción en cadena

NOTICIAS

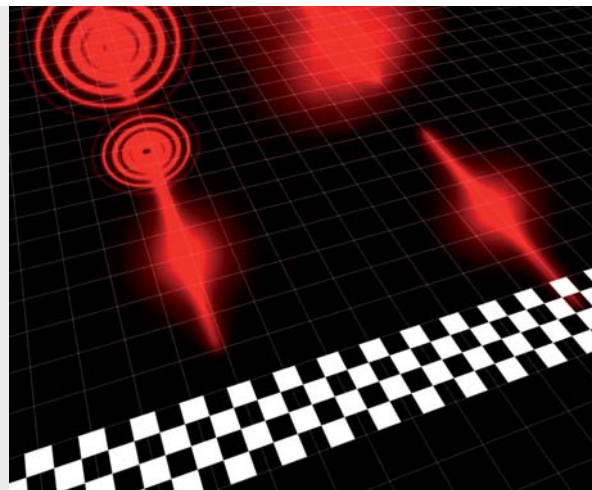
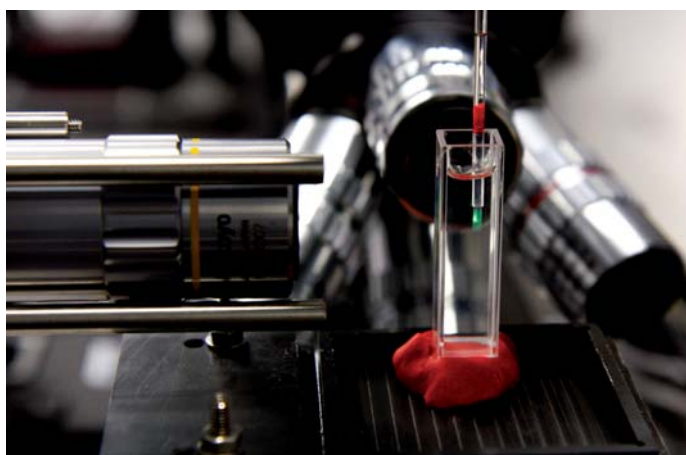
Imágenes diagnósticas en 3D y en tiempo real

“Ahora podremos visualizar al momento y en 3D nuevos estadios de muchos organismos vivos y las funciones que estos desempeñan”, dice Jorge Ripoll, investigador de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). Se trata de una nueva técnica basada en la tomografía de proyección óptica, un sistema análogo a los rayos X pero con luz, que visibiliza los materiales opacos. Este trabajo, en el que ha participado la UC3M y la Academia de las Ciencias China, ha sido publicado recientemente en la revista *ScientificReports*.

Aunque no pueda utilizarse *in vivo* en humanos, porque nuestro tejido es muy opaco, sí podrá usarse para hacer medidas tridimensionales de biopsias, lo que permitirá, por ejemplo, que un

cirujano determine si ha retirado todo el material cancerígeno durante una intervención. También permitirá observar las fases adultas de la mosca de la fruta, un organismo cuyo genoma tiene genes similares a los que generan el 60 % de las enfermedades humanas y que no pueden observarse al microscopio convencional.

Para poner en práctica esta técnica se utilizan marcaadores ópticos, y se aplica una fuente de luz que excita la fluorescencia al tiempo que una cámara la detecta. El requisito imprescindible es que la muestra rote continuamente, como si se le estuviera sometiendo a unos rayos X. Para ello, los investigadores de la Academia China de las Ciencias han desarrollado un *software* capaz de procesar la información obtenida por la cámara de una forma rápida y eficaz, para construir las imágenes en 3D. ▶



Echan el freno a la velocidad de la luz

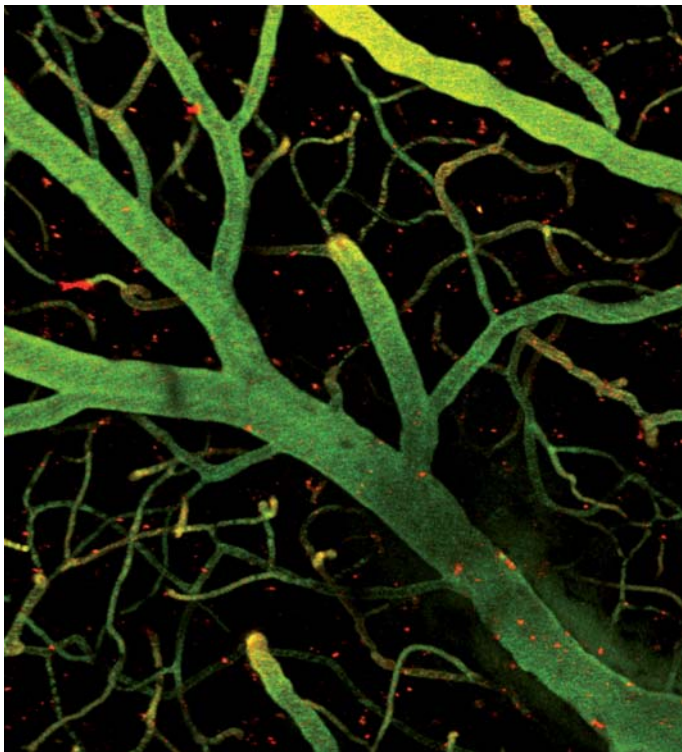
Cuando las partículas de luz, los fotones, atraviesan materiales como el cristal y el agua, reducen ligeramente su velocidad y así se ha conseguido frenar la luz. Lo que no se había conseguido hasta ahora es reducir la velocidad de la luz en el vacío, sin interacciones con ningún material. Lo ha conseguido un equipo de investigadores de las universidades de Glasgow y Heriot-Watt (Edimburgo), según han publicado en la revista *Science Express*, aplicando a un haz de luz una máscara que proporciona a los fotones una estructura espacial y reduce su velocidad por debajo de los 299.792,458 km/s.

Lo que hace la máscara es limitar la velocidad máxima a la que los fotones pueden viajar, y para explicar el experimento los investigadores comparan un haz de luz con un pelotón de ciclistas. Aunque el pelotón se mueva como una unidad, en su interior los ciclistas se están turnando para ser cabeza de pelotón, y lo mismo ocurre con la luz: un rayo contiene muchos fotones con velocidades diferentes. Lo que hicieron los científicos fue lanzar dos fotones a la vez a través de una distancia idéntica hacia una meta definida. Un fotón alcanzó la línea de meta según lo previsto, pero el fotón modificado por la máscara llegó más tarde. Sobre una distancia de un metro, el equipo registró una disminución de hasta 20 longitudes de onda, un valor muy alejado del margen de error del dispositivo. ▶

¡Ábrete sésamo!

Un equipo de químicos del *Institute for Research in Biomedicine* (IRB) de Barcelona ha patentado y presentado una especie de vehículo microscópico capaz de remolcar moléculas hasta el cerebro, con el fin de facilitar el tratamiento de enfermedades que carecen de terapia hasta la fecha. El trabajo ha sido presentado en la revista *Angewandte Chemie*.

nismos de transporte a modo de puertas que se abren y se cierran continuamente. Esta nueva “lanzadera de fármacos” es un péptido que aprovecha los receptores por los que el cerebro se abastece de hierro y resulta lo suficientemente pequeño y durable en sangre (12–24 horas). Ya se está trabajando en el estudio de nuevas aplicaciones para tratar el glioblastoma (el cáncer cerebral más agresivo en



Actualmente, el 98 % de los fármacos dirigidos al sistema nervioso central se descartan por no poder cruzar la barrera hematoencefálica, una barrera física que protege al cerebro de agentes externos e infecciones, pero que no es hermética. El cerebro necesita nutrirse de oxígeno, hierro, insulina y otras sustancias, así que existen meca-

adultos), la ataxia de Friedreich (una enfermedad neurodegenerativa hereditaria), y en breve también para un tipo de cáncer cerebral infantil, con equipos clínicos del Instituto de Oncología Vall de Hebrón (VHIO), el Centro de Biología Molecular Severo Ochoa de Madrid y el Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona.

EFEMÉRIDES ► HACE 100 AÑOS...

¿De dónde viene la radiactividad?

El químico norteamericano William Draper Harkins descubrió en 1915 que el núcleo del helio no era exactamente cuatro veces superior en masa al núcleo del hidrógeno,



sino algo menor. Esa diferencia debería haberse convertido en energía al formarse el núcleo de helio. Fue un indicio del origen de la radiactividad, descubierta años antes por Becquerel. En 1901, Pierre Curie ya había demostrado que la radiactividad implicaba la existencia de grandes cantidades de energía que debían de provenir de algún lugar del átomo, pero fue Draper quien apuntó de dónde procedía esta energía.

►

LIBROS

Hacia el infinito Jane Hawking Editorial Lumen, 2015

Stephen Hawking ha dedicado su vida a la investigación de las leyes fundamentales que rigen el Universo. Es uno de los científicos más populares de la actualidad, en parte por sus teorías científicas y también por sobrevivir a una disfunción neuronal

muy grave que le diagnosticaron con tan solo 21 años y que le mantiene en una situación de parálisis prácticamente total. En los años sesenta conoció a Jane Hawking en la Universidad de Cambridge y se enamoró de ella. Jane decidió casarse con él a pesar de su trágica enfermedad. Este libro recoge los recuerdos de Jane a lo largo de los más de 20 años que duró su matrimonio, incluyendo las peculiaridades de su vida en común y también el desarrollo de las teorías científicas de Hawking.



EN RED



INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

2015, Año Internacional de la Luz www.luz2015.es/

La luz ya no es cosa de dioses, el ser humano ha podido explicarla y la ha amaestrado a lo largo de los siglos para ponerla al servicio de su calidad de vida. La luz está en todas partes, nos comunica, nos entretiene, nos inspira, nos da calor, nos transporta... es un motor de la economía, ha revolucionado la medicina, la agricultura, la energía y, seguramente, nos volverá a sorprender con nuevas soluciones y tecnologías que promuevan el desarrollo sostenible. Ese es el reto y la razón por la que la Asamblea General de la ONU proclamó 2015 como el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías, bajo la coordinación de la UNESCO, para reconocer, celebrar y promocionar la conciencia mundial sobre las virtudes de las tecnologías ópticas en nuestras vidas.

Al igual que en otros países, España tiene un comité nacional, encabezado por la Sociedad Española de Óptica, que se ocupa de coordinar y difundir todas las actividades y materiales que se vayan generando en conmemoración de este año. Para ello, la luz estrena un portal web: <http://www.luz2015.es/>, que llega con una agenda cargada de actividades distribuidas por todo el territorio nacional.

Jornadas, publicaciones, documentales, exposiciones, ciclos de conferencias, experimentos, concursos, etc., y proyectos artísticos para todos los gustos: espectáculos callejeros, como el Visual Drums Business Media, que se celebrará en Barcelona el 17 de junio; concursos como el de relatos sobre la luz a partir de una imagen del ilustrador de ciencia ficción Frank R. Pauly el relato breve *La ciencia y tú* del Museo de Ciencia de Valladolid; el

REDES



@ERenovables

Seguir a la revista *Energías Renovables* será una de las opciones más rápidas para estar al día sobre el estado y las tendencias en este campo.



Chistes de física

Una página donde encontrar una de las caras más divertidas de la ciencia: chistes, imágenes graciosas, anécdotas, información, vídeos y alguna que otra curiosidad relacionada con la física y ciencias afines.



@natgeo

Ni la revista *National Geographic* ni la calidad de sus imágenes necesitan presentación, pero sí un recordatorio para los que todavía no la siguen en Instagram.



"The Strange Way Fluids Slosh on the International Space Station"

Durante cuatro maravillosos minutos Science@NASA muestra los singulares movimientos y formas que pueden adoptar los fluidos en ausencia de la gravedad.

Periodic Videos

Es un canal de YouTube dedicado a la divulgación de la química en el que participan numerosos profesores de la Universidad de Nottingham. Y en concreto muestra un vídeo para cada uno de los 118 elementos que conforman la tabla periódica. ▶

teatro como herramienta de divulgación, con una puesta en escena sobre los fenómenos eléctricos *Laboratorio, atrévete a saber*, de la compañía Alauda, y con la obra *¡OH! ¡Ndas!*, de la compañía PAI, para alumnos de secundaria. La luz también estará presente en el Festival de Pri-

mavera Cinemística, que se celebra en Granada, y en la muestra Ecos de Carles Buigas, de Tom Carr. Además, entre el 13 de julio y el 10 de enero de 2016 se podrá disfrutar en Madrid de un recorrido temático por la pintura de Joaquín Sorolla, el "pintor de la luz". ▶

AGENDA

“Big Bang Data”

Abierta hasta el 24 de mayo de 2015
Espacio Fundación Telefónica
Fuencarral nº 3, esquina Gran Vía.
Madrid

“Big Bang Data” es un proyecto que se adentra en el fenómeno de la explosión de datos en el que estamos inmersos. Unos datos que cada vez son más fáciles de almacenar, procesar e interpretar.

¿Es la llamada minería de datos el nuevo petróleo, una fuente de riqueza potencialmente infinita? ¿Son la munición que carga las armas de vigilancia masiva? ¿Una oportunidad? ¿Una herramienta para el conocimiento, la prevención, la eficacia y la transparencia? ¿Un instrumento para construir una democracia más transparente? Cada vez disponemos de más datos y de más herramientas para almacenarlos, procesarlos e interpretarlos. Con ellos se detectan patrones de incidencias, de comportamiento, de consumo, de voto, de inversión... Los datos ya están cambiando la forma de tomar las decisiones en todos los ámbitos.



Podemos acercarnos a la complejidad y posibilidades de esta explosión de información visitando esta exposición, que se articula en diez bloques temáticos: “El peso de la nube”, “Inmersos en el tsunami”, “Más es diferente”, “El latido del mundo”, “Visualizando la complejidad”, “Qué piensas, qué haces”, “Nueva era del conocimiento”, “Somos datos”, “Lo que los datos nos cuentan” y “Datos para el bien común”.

Se plantean, además, una serie de actividades paralelas que complemen-

tan la exposición, como la tercera edición de las conferencias “Vivir en un mar de datos”; la experiencia HackMadrid, que involucra a los ciudadanos en un proyecto de inteligencia colectiva; la determinación de la ciudad más feliz de España; y el mapa de las alergias primaverales. También habrá programas de visitas y talleres, además de concursos para que los usuarios de Instagram retraten los números que les rodean.

Más información: en <http://espacio.fundaciontelefonica.com/big-bang-data/>

LIBROS

Anuario SINC. La ciencia es noticia, 2014
Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Ministerio de Economía y Competitividad. Gobierno de España.

Como cada año, la agencia SINC hace balance de las investigaciones e hitos científicos que han marcado la agenda durante el último año, así como los personajes que han destacado en el panorama internacional de la ciencia.

El anuario, dividido en varios bloques, destaca la secuenciación del genoma que hizo posible conocer cómo fueron nuestros ancestros hace 7.000 años, la creación de músculos artificiales gracias al hilo de pescar, la implantación de cuatro vaginas artificiales, el hito de la conversión de los malos recuerdos en buenos y la situación vivida por el ébola en 2014 en todo el mundo.

El ejemplar también presenta algunos de los reportajes y entrevista publicados en la web. Han hablado de la ciencia que se esconde detrás del rubor, del día a día de los científicos del CERN, de cómo funcionan los nuevos métodos de enseñanza e incluso del 30 aniversario del programa “La bola de cristal”.

Para finalizar, el anuario enumera a los galardonados por los grandes premios de la ciencia, como Maryam Mirzakhani, medalla Fields, o Stefan W. Hell, nobel de Química, además de un *top-ten* con lo más leído por los usuarios en su página web.

Para adquirirlo, SINC pone a disposición de todos el anuario en formato PDF, ya disponible en su página web (www.agenciasinc.es) y accediendo a la web de la FECYT (www.fecyt.es). Para poder descargarlo, es necesario registrarse.

El CSN informa

Información relativa al cuarto trimestre de 2014

Centrales nucleares

Almaraz I y II

Nº de sucesos (nivel INES)	1 en unidad I (INES 0) y 1 en unidad II (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	8

Actividades:

Ambas unidades permanecieron durante todo el periodo operando a plena potencia sin incidentes reseñables.

Ascó I y Ascó II

Nº de sucesos (nivel INES)	1 en unidad I y 2 en unidad II (INES 0)
Paradas no programadas	1 (unidad II)
Nº inspecciones del CSN	11

Actividades:

La unidad I estuvo operando al 100 % de potencia hasta el 4 de noviembre, en que realizó una bajada programada hasta el 77 % de potencia nuclear por una avenida programada del río Ebro para el control de la proliferación de macrófitos, recuperó la plena potencia al día siguiente y la mantuvo hasta final del periodo.

Durante el mes de octubre, la unidad II estuvo funcionando al 100 % de potencia, salvo entre los días 2 y 3, cuando bajó al 98,5 % para sustitución del *hardware* del sistema de medición de caudal del agua de alimentación principal (Caldon). El 31 de octubre inició la bajada de potencia para iniciar la vigesimosegunda recarga de combustible, que duró hasta el 16 de diciembre. Ese mismo día se produjo una parada automática por actuación de las protecciones del alternador. El 23 de diciembre alcanzó el 100 % de potencia y así permaneció hasta el fin del periodo.

Cofrentes

Nº de sucesos (nivel INES)	0
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	13

Actividades:

Durante el cuarto trimestre de 2014 la central se mantuvo funcionando de manera estable en operación a potencia, con las siguientes excepciones: entre el 18 y el 20 de octubre se bajó carga al 50 % de la potencia térmica autorizada para el cambio de secuencia de las ba-

rras de control; entre el 14 y el 17 de diciembre se bajó al 49,4 % para el cambio de secuencia de las barras de control; y entre el 19 y el 24 de diciembre se bajó al 58,1 % para intervención de mantenimiento en la turbobomba B de agua de alimentación.

Durante este periodo, el CSN informó favorablemente la revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento Mejoradas en relación con el seguimiento de anomalías de reactividad y la definición del margen de parada; y la revisión del Reglamento de Funcionamiento, derivada del proceso de adaptación a la instrucción IS-32 del CSN; la propuesta PC-02-13 de revisión del Plan de Emergencia Interior, para recoger cambios organizativos y la existencia del Comité ALARA.

Santa María de Garoña

Nº de sucesos (nivel INES)	1 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	3

Actividades:

En este periodo la central ha permanecido en situación de cese definitivo de la explotación.

Por parte del CSN han continuado las actividades de evaluación de la solicitud de renovación de la autorización de explotación y de las respuestas del titular a la ITC 14/01, sobre requisitos adicionales.

Trillo

Nº de sucesos (nivel INES)	2 (INES 0)
Paradas no programadas	0
Nº inspecciones del CSN	12

Actividades:

Durante este trimestre la central ha operado a plena potencia sin más incidentes que los dos sucesos notificados: el primero por un error en la medida del nivel de varios tanques, al no tener en cuenta adecuadamente la densidad, y el segundo, con una discrepancia entre los procedimientos de vigilancia y las ETF en el caso del sistema de vapor principal.

El CSN informó favorablemente la renovación de la Autorización de Explotación, que fue aprobada mediante resolución de 3 de noviembre de 2014, así como tres aplazamientos en el cumplimiento de las Instrucciones Técnicas Complementarias de Fukushima.

Vandellós II

Nº de sucesos (nivel INES)	3 (INES 0)
Paradas no programadas	1
Nº inspecciones del CSN	11

Actividades:

Durante este periodo la central ha funcionado al 100 % de potencia de forma estable, con la única excepción de una parada automática no programada el 10 de octubre, de un día y medio de duración, y una incidencia no significativa por indisponibilidad de equipos, el 28 de noviembre, que requirió una ligera reducción de potencia durante más de siete horas para intervenciones de mantenimiento.

Instalaciones del ciclo y en desmantelamiento

Ciemat

PIMIC-Rehabilitación

En este periodo se han iniciado los preparativos para el desmantelamiento de varias dependencias del edificio 20.

PIMIC-Desmantelamiento

Durante este periodo se ha realizado la segunda ampliación del plan de pruebas para la desclasificación de tierras de El Montecillo y han finalizado los trabajos de restauración de sus taludes. También se han realizado las pruebas del proceso de inmovilización de residuos líquidos. Continúan los trabajos relacionados con la descontaminación del subsuelo de la nave M1 y locales anexos, en el edificio 18.

Nº de sucesos	0
Nº inspecciones del CSN	2

Centro de Saelices el Chico

Planta Quercus

Durante el trimestre se aprobaron las revisiones de varios documentos oficiales de la planta, que está en situación de cese definitivo de explotación, para actualizarlos a su situación actual.

Nº de sucesos	0
Nº inspecciones del CSN	1

Minas de Saelices

Las instalaciones siguen bajo control, sin observarse incidencias significativas. En noviembre se aprobó la modificación del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental, que es común a las plantas Quercus, Elefante y explotaciones mineras de Saelices el Chico.

Otras instalaciones de minería de uranio (Salamanca)

Planta de concentrados de Retortillo

Prosigue la evaluación de la documentación adicional presentada por Berkeley Minera España relacionada con la solicitud de autorización previa de la planta de concentrados de uranio.

Mina de Retortillo-Santidad

Durante el trimestre se recibió una denuncia por supuesta mala praxis de Berkeley Minera España en los sondeos realizados en los terrenos incluidos en el permiso de investigación de minerales de uranio de Pedreras. Se abrió un expediente administrativo para investigar la denuncia que finalmente concluyó con su archivo.

Nº inspecciones del CSN	1
-------------------------	---

Fábrica de uranio de Andújar

Actividades:

La instalación sigue bajo control, en el denominado periodo de cumplimiento, posterior al desmantelamiento.

Nº inspecciones del CSN	0
-------------------------	---

El Cabril

Nº de sucesos (nivel INES)	0
----------------------------	---

Nº inspecciones del CSN	2
-------------------------	---

Actividades:

La instalación sigue bajo control, sin incidencias significativas. Se han realizado las operaciones habituales para la gestión definitiva de residuos radiactivos de baja y media actividad y de muy baja actividad. Prosigue la construcción de la celda 30, destinada al almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja actividad.

Vandellós I

Nº de sucesos	0
---------------	---

Nº inspecciones del CSN	0
-------------------------	---

Actividades:

La instalación sigue en situación de latencia y bajo control, sin observarse incidencias significativas.

José Cabrera

Nº de sucesos	0
---------------	---

Nº inspecciones del CSN	4
-------------------------	---

Actividades:

Durante el trimestre prosiguieron las actividades de segmentación y embalaje de la vasija del reactor, así como el desmontaje de otros grandes componentes y elementos radiológicos del sistema primario, como el generador de vapor. Ambas actividades proseguían a 31 de diciembre conforme al programa previsto.

Juzbado

Nº sucesos	1
Nº de inspecciones del CSN	5

Actividades:

Durante este periodo la instalación ha desarrollado sus actividades sin incidencias destacables en su operación.

No se ha producido ninguna actividad de licenciamiento.

Instalaciones radiactivas

Resoluciones adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales):

Informes para autorización de nuevas instalaciones	6
Informes para autorización de modificación de instalaciones	77
Informes para declaración de clausura	12
Informes para autorización de servicios de protección radiológica	1
Informes para autorización de unidades técnicas de protección radiológica	2
Informes para autorización de servicios de dosimetría personal	0
Informes para autorización de retirada de material radiactivo no autorizado	7
Informes para autorizaciones de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X para radiodiagnóstico médico	4
Informes para autorización de otras actividades reguladas	6
Informes relativos a la aprobación de tipo de aparatos radiactivos	11
Informes relativos a homologación de cursos para la obtención de licencias o acreditaciones	15

Acciones coercitivas adoptadas sobre instalaciones radiactivas (científicas, médicas, agrícolas, comerciales e industriales):

Apercibimientos a instalaciones radiactivas industriales	4
Apercibimientos a instalaciones radiactivas de investigación o docencia	2
Apercibimientos a instalaciones radiactivas médicas	0
Apercibimientos a unidades técnicas de protección radiológica	0
Apercibimientos a servicios de protección radiológica	1
Apercibimientos a instalaciones de rayos X médicos	2
Apercibimientos a otras actividades reguladas	0

Seguridad física

Actividades más relevantes

Durante este periodo el CSN evaluó las revisiones de los planes de protección física de las instalaciones nucleares, para adaptar su formato y contenido a la Guía de Seguridad 8.2 sobre *Elaboración, con-*

tenido y formato de los planes de protección física de las instalaciones y los materiales nucleares.

Cursos y conferencias

El CSN participó en la formación de los operadores de los pórticos detectores de radiación del puerto de Bilbao, dentro del protocolo de actuación en caso de detección de movimiento inadvertido o tráfico ilícito de fuentes radiactivas en puertos de interés.

Actividades internacionales

El CSN asistió al Curso Internacional de Capacitación para Miembros del Grupo IPPAS, celebrado en la sede del OIEA del 15 al 19 de diciembre.

Simulacros	0
Nº de Inspecciones	2 (Almaraz y Cofrentes)

Notificación de sucesos

Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 1 hora	3
Nº incidentes en instalaciones nucleares notificables en 24 horas	12
Nº incidentes radiológicos	9
Hechos relevantes	Ninguno reseñable

Emergencias

Activación de la ORE

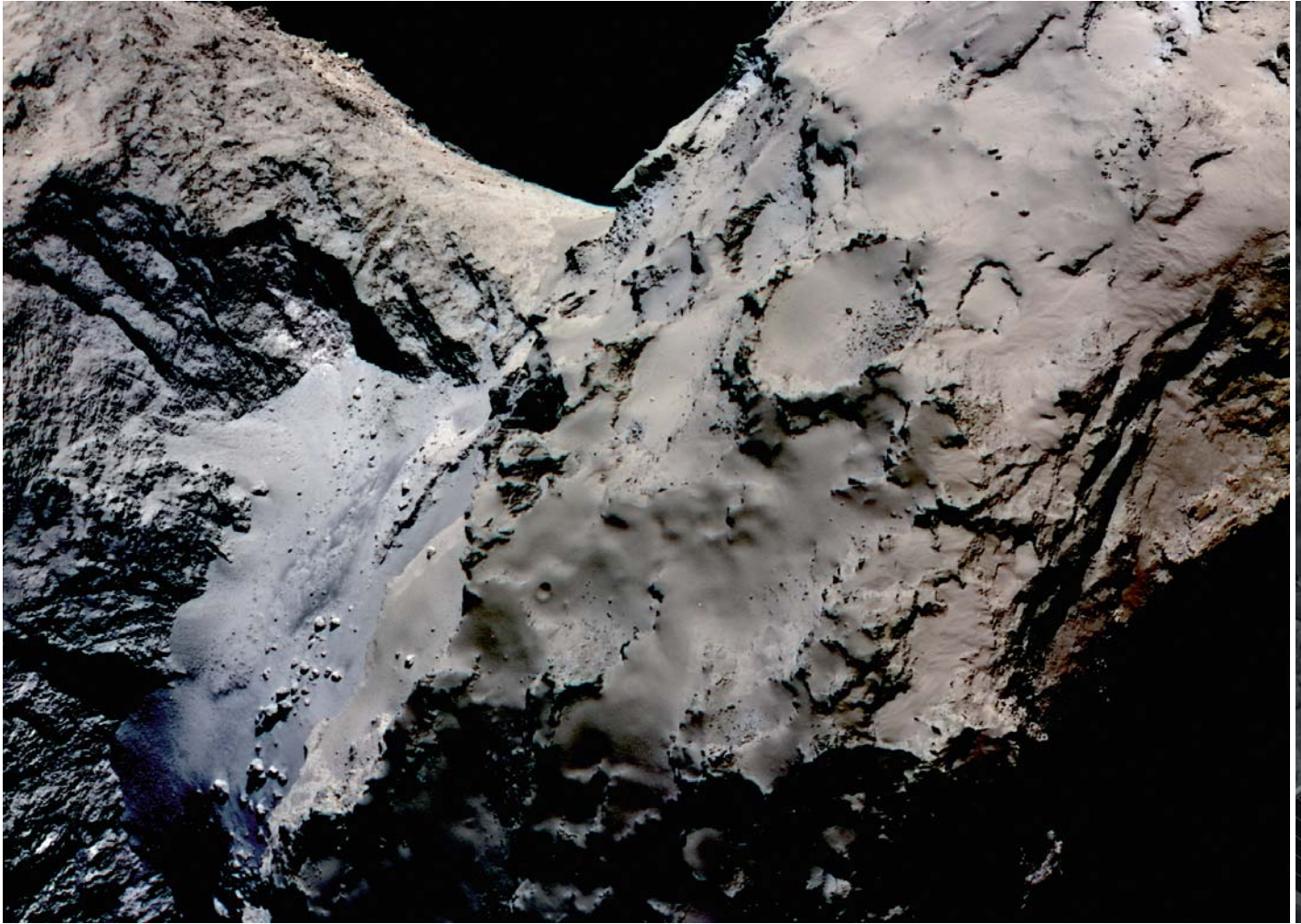
El día 10 de octubre se activó la Organización de Respuesta ante Emergencias del CSN como consecuencia de la declaración de pre-alerta en la central nuclear Vandellós II, debido a la pérdida total de suministro eléctrico exterior provocada por una fuerte tormenta en la zona. Tras la parada automática del reactor todos los sistemas de seguridad de la instalación funcionaron correctamente. Una vez recuperada la alimentación eléctrica exterior, el titular desactivó la pre-alerta.

Otras actividades relevantes

En este periodo, el CSN ha participado en el curso organizado por la Dirección del Penca para actuantes de dicho plan de las zonas I y II de planificación, celebrado en ayuntamientos del entorno de Almaraz; así como en la realización de ejercicios parciales del Penta y del Penbu, con establecimiento de controles de acceso, y en el ejercicio del Penca con activación del ECD (Estación de Clasificación y Descontaminación) de Requena.

También se han realizado los simulacros de emergencia del PEI en las centrales Vandellós II y Almaraz.





Fotografía de la región que conecta la cabeza y el cuerpo del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, tomada por Rosetta. El color azul sugiere la presencia de hielo.

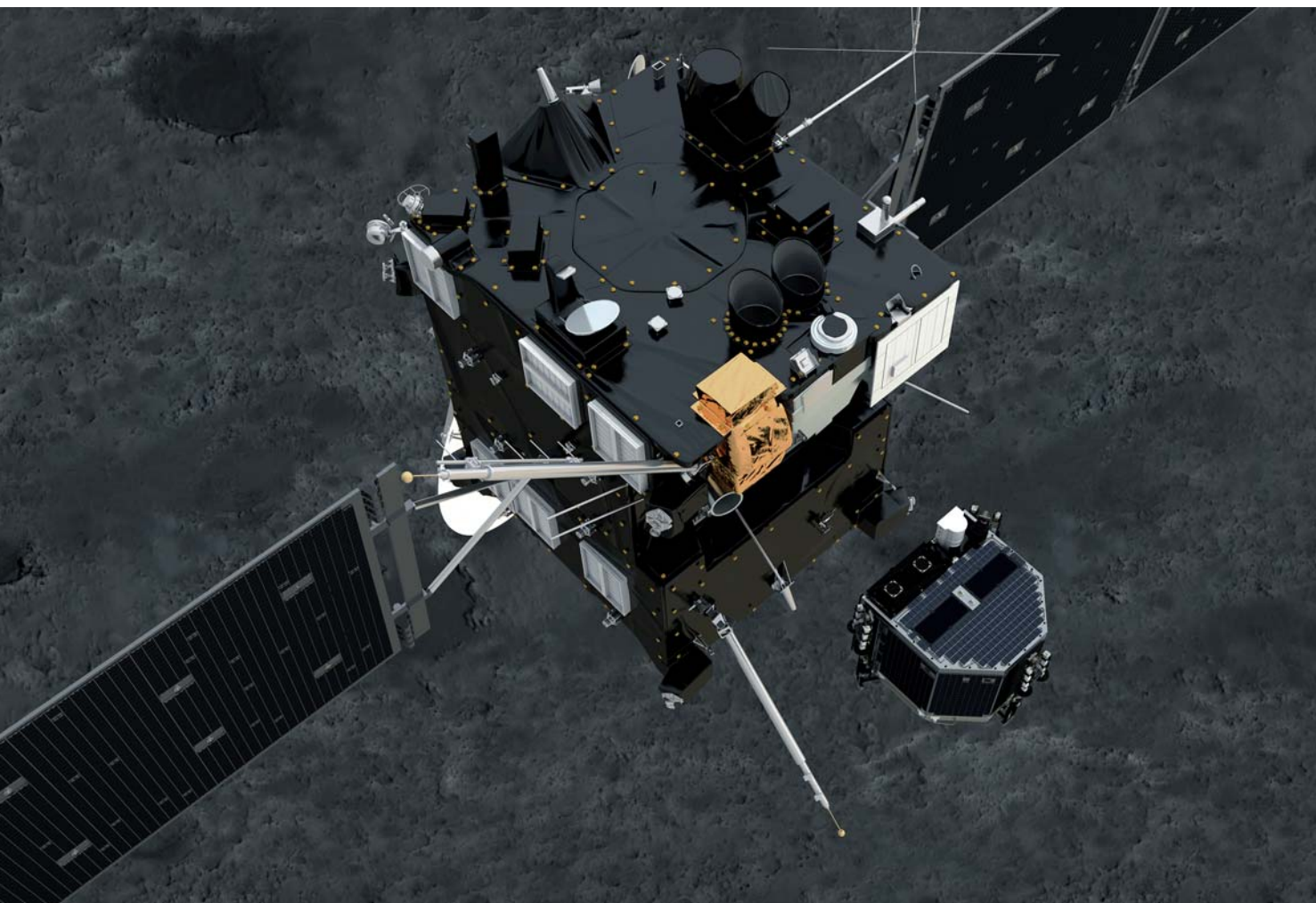
La misión Rosetta investiga la naturaleza de los cuerpos más antiguos del sistema solar

Cita con un cometa

La misión Rosetta es una de las más ambiciosas y complejas que nunca antes había intentado el ser humano: enviar una sonda espacial al encuentro de un cometa, orbitar a su alrededor durante más de un año y posar sobre él un módulo, de nombre Philae, para hacer experimentos *in situ*. Tras 10 años viajando por el sistema solar, la nave Rosetta se encontró con el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko en agosto del pasado año y meses después Philae consiguió, no sin dificultades, aterrizar en una zona aún sin determinar. Los datos de la misión permitirán comprender la naturaleza de estos cuerpos celestes, los más antiguos del sistema solar, para reconstruir su historia y quizás así, de paso, la nuestra. ■ Texto: **Eugenia Angulo** | periodista científica ■

Una armada de naves espaciales con banderas de distintos países acechan al cometa Halley, el más famoso de estos cuerpos rocosos que de vez en cuando visitan la Tierra. Es el mes de marzo de 1986. El Muro de Berlín aún sigue en pie—no caería hasta tres años más tarde— y con él, los últimos latidos de la guerra fría.

Pero en el silencio frío del espacio, a unos 150 millones de kilómetros de la Tierra, cinco sondas espaciales, dos soviéticas—Vega 1 y Vega 2—, dos japonesas—Sakigake y Suisei— y una europea—Giotto— trabajan juntas en un ambicioso esfuerzo internacional por resolver los misterios que rodean al legendario cometa Halley. Esta última nave carga con una peculiaridad poética: debe



Animación de la separación de Philae y su descenso a la superficie del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, que se llevó a cabo en noviembre de 2014.

su nombre al pintor renacentista Giotto de Bondone, quien vio a este cometa cruzar el cielo en 1301 y lo pintó como la estrella de Belén en su *Adoración de los Reyes Magos*. Estados Unidos se ha retirado de la misión unos meses antes, aludiendo a razones presupuestarias.

Pero volvamos a la quietud del espacio. Sakigake y Suisei se encargan de las mediciones de larga distancia, a unos 150.000 y 7 millones de kilómetros, respectivamente, del cometa. Las gemelas rusas Vega 1 y Vega 2 hacen de avanzadilla y pasan lo suficientemente cerca de él, a unos 8.000-9.000 kilómetros, para localizar su núcleo en una maniobra que en la jerga astronómica recibe el nombre de *fly-by*. Y después está Giotto, la sonda con nombre de pintor. Con los datos de

las otras naves, su misión es acercarse a tiro hecho al sólido corazón de Halley. Es una misión suicida, porque pasando tan cerca del cometa entraría en su coma, la envoltura de gas y polvo que se forma según se acerca al Sol, que podría destruir la nave. De hecho, eso es *casi* exactamente lo que ocurre. Pero funciona.

Arqueología espacial

Giotto pasó a 598 kilómetros de Halley, lo que en el espacio es la más pura cercanía, y consiguió las primeras fotografías jamás tomadas del helado corazón de un cometa, lo que abre un nuevo capítulo en la historia de la exploración del sistema solar. Y de entre los aplausos y vítores, de los apretones de manos y las botellas de champán, del éxito de Giotto, nació Rosetta.

Como los objetos más primitivos del sistema solar, los cometas contienen información esencial acerca de nuestros orígenes. Son pequeños mundos rocosos helados que hablan, sobre todo, del pasado: dado que su composición química no ha cambiado mucho desde su formación, reflejan la del sistema solar cuando este era muy joven y todavía estaba *inacabado*, podría decirse que infantil, hace más de 4.500 millones de años. Además, son portadores de moléculas orgánicas complejas — monóxido de carbono, metano, dióxido de carbono, amoníaco y agua congelada en unas 2/3 partes— que quizás entregaron a la Tierra al impactar contra ella. Entraron así a desempeñar un papel, no se sabe aún cuan importante,



Qué son los cometas

“Y vino el cometa: brilló con su núcleo de fuego, y amenazó con la cola. Lo vieron desde el rico palacio y desde la pobre buhardilla; lo vio el gentío que hormiguea en la calle, y el viajero que cruza llanos desiertos y solitarios; y a cada uno inspiraba pensamientos distintos”. Así empieza el cuento *El cometa* de Hans Christian Andersen, que refleja muy bien la ambivalencia que ha sentido el ser humano antes estas apariciones en el cielo. Los humanos los han observado desde siempre, prueba de ello es que pueden encontrarse en grabados realizados en rocas de época prehistórica en Escocia y en tablas de arcilla de la antigua Babilonia.

Aunque al principio se entendían como fenómenos atmosféricos más que celestes, ahora sabemos que los cometas son cuerpos sólidos que provienen principalmente de dos zonas o reservas del sistema solar: el cinturón de Kuiper y la nube de Oort. Tienen órbitas elípticas, algunas tan alargadas que tardan miles de años en recorrerlas. El origen de la palabra está en el griego *kometes*, que significa cabellera y hace referencia al vistoso apéndice que les adorna y que se denomina técnicamente el coma. Y es que cuando los cometas, siguiendo su órbita, se acercan al Sol, se calientan vigorosamente, pasando de unas temperaturas de varias decenas de grados bajo cero a unos 150 °C. Entonces, el hielo del núcleo se sublima —pasa de sólido a gas directamente— y libera pequeñísimas partículas de polvo y gas que forman el coma. Cuanto más se acercan al Sol, el viento solar azota este coma y produce su característica aparente cola, formada por polvo y gas ionizado. Al reflejarse la luz en estas partículas, el coma se hace visible. Para un espectador en tierra, el resultado puede ser tan espectacular como amenazador: su diámetro puede crecer hasta millones de kilómetros. Aunque se suele pensar que es una cola, no siempre va por detrás del núcleo. Mientras se aproxima al Sol el coma va por detrás, luego va girando y cuando se aleja del Sol va por delante del núcleo. ▶

en procesos tan determinantes como la formación de los océanos y la atmósfera terrestre y la aparición de la vida en nuestro planeta.

En este contexto, la misión Rosetta podría definirse como arqueología espacial. Se trata de viajar a un yacimiento, en este caso el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, con una nave repleta de instrumentos científicos —espectrómetros de infrarrojos, ultravioletas, detectores de radiación microondas, cámaras de alta resolución...— y estudiarlo desde todos los ángulos y en todo su recorrido: desde la oscuridad de la periferia del sistema solar de la que proviene hasta su aproximación al Sol, un viaje en el que va transformándose —activándose, en lenguaje de los especialistas astronómicos— por el efecto de la cada vez más intensa radiación solar.

Y después, mancharse las manos de barro, remangarse la camisa, y poner un módulo de aterrizaje sobre su superficie para trabajar sobre el terreno. Este es el trabajo del módulo Philae que cuenta con 10 instrumentos para investigar el ambiente, la superficie y el interior del 67P/Churyumov-Gerasimenko. Ambas son hazañas nunca antes intentadas y difícilmente comparables a nada que pueda hacerse sobre la relativa seguridad de la superficie de la Tierra. Son ese tipo de gestas las que, milagrosamente, aún provocan asombro.

“Los cometas pueden ayudarnos a entender la formación del sistema solar o la procedencia del agua terrestre, pero antes debemos contestar a preguntas fundamentales sobre esos cuerpos cuyas respuestas solo podíamos hallar yendo a uno, ya que cuando comienza la actividad y podemos observarlo desde Tierra, el núcleo deja de ser accesible al ocultarse tras el coma”, explica Pedro J. Gutiérrez, investigador de la cámara OSIRIS que lleva Rosetta, instrumento desarrollado en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).



Simulación del despliegue del módulo Philae para posarse en el 67P. La imagen del cometa fue tomada por la cámara de navegación de Rosetta.

La misión fue diseñada para responder a preguntas que se hacían los científicos en los años ochenta, se construyó con la experiencia en ingeniería adquirida en los años noventa y se equipó con tecnología perfeccionada hasta su lanzamiento en 2004. “Este empuje, con éxitos como Giotto, realmente no habría sido posible

en ningún otro momento, no había sido posible antes y posiblemente después tampoco”, explica Javier Armentia, astrofísico y director del Planetario de Pamplona. Cuando se encontró con el cometa, la nave llevaba 10 años surcando el sistema solar y más de 16 desde su construcción. Rosetta es, sin ninguna duda, todo un testimonio de tecnología antigua.

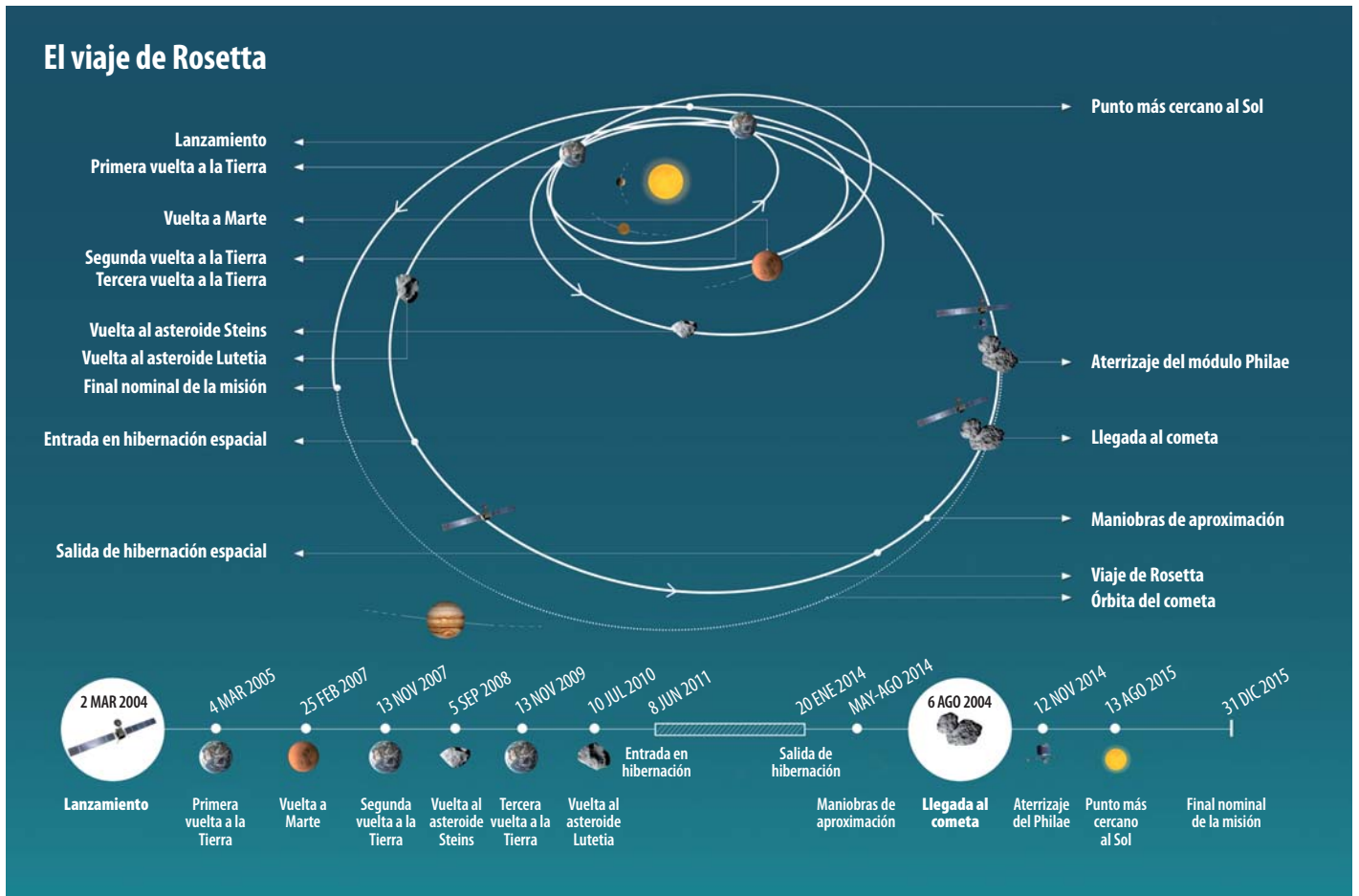


El astrofísico Javier Armentia, director del Planetario de Pamplona.

Es también un testimonio de la cooperación. La Agencia Espacial Europea (ESA) y ocho naciones separadas respaldan la misión en la que participan más de 50 empresas de 14 países europeos

además de la NASA. El coste total del proyecto es de 1.400 millones de euros.

Pero sobre todo, es un testimonio de ese valor tan infrecuente como es la visión a largo plazo, a la voluntad de embarcarse en algo que, si salía bien, ofrecería recompensas a astrónomos que ni siquiera habían nacido cuando fue propuesta. “Hay científicos que han dedicado toda su carrera profesional a la misión. Algunos empezaron de jóvenes, acabando la tesis, y se van a jubilar casi con el asunto. Esto marca un tipo de ciencia diferente”, según Armentia. Su propio nombre alude a gesta épica cuando en tiempos de Napoleón se encontró una antigua piedra egipcia en el delta del Nilo cerca de Rashid (Rosetta), que permitió a los arqueólogos descifrar los jeroglíficos y con ello, toda una civilización. Ahora, la misión Rosetta intenta comprender estos pequeños y antiguos mundos



Cronograma resumen de los principales hitos del viaje de la nave Rosetta a través del sistema solar.

helados para dar con la llave que reconstruya la historia de nuestro pequeño rincón del Universo.

El viaje

En el preciso momento en que el lector recorre estas líneas, Rosetta observa cómo 67P/Churyumov-Gerasimenko muta cual serpiente al aproximarse a la radiación solar cada vez más intensa, emitiendo grandes cantidades de gas y polvo que forman el refulgente coma o cabellera que ha hecho famosos a los cometas.

“Después de 10 años, cinco meses y cuatro días viajando a nuestro destino, estamos encantados de, por fin, anunciar: ‘Estamos aquí’. Rosetta es ahora la primera nave espacial en encontrarse con un cometa, un momento memorable para la exploración de nuestros orígenes. Los descubrimientos pueden empezar”,

dijo un emocionado Jean-Jacques Dordain, director general de la ESA, cuando ambos, nave y cometa, se vieron por primera vez las caras en el mes de agosto.

El encuentro se produjo a 510 millones de kilómetros de la Tierra. Para entonces, Rosetta ya había viajado 6.550 millones de kilómetros, había dado cinco vueltas al Sol, utilizado la asistencia gravitatoria de la Tierra, dos veces, y de Marte, una vez, para cambiar de trayectoria, fotografiado a los asteroides Steins y Lutetia que se encontró por el camino e hibernado durante casi tres años para

ahorrar energía mientras llegaba a su destino. Y es que moverse por las órbitas del sistema solar no es algo tan sencillo, es más bien una especie de carambola cósmica donde se aprovecha la gravedad de los planetas para acelerar y cambiar de trayectoria, lo que permite ahorrar combustible y peso en un viaje que dura tantos años.

En mayo comenzaron las maniobras para, gradualmente, ajustar la velocidad y trayectoria de la nave a las del cometa, pasando de una velocidad relativa entre ambas de 775 metros por segundo a 1 m/s,



Jean-Jacques Dordain, director general de la ESA.



Andrea Accomazzo, director de vuelo de Rosetta, atiende emocionado el teléfono tras recibir la confirmación de que el módulo Philae ha aterrizado con éxito.

el equivalente a pasar andando. Cada una de estas maniobras era crítica: si alguna hubiera fallado, la sonda habría pasado por delante del cometa en lugar de quedar enlazado en su débil campo gravitatorio. Pero este enlazamiento se produjo en septiembre, cuando ambos se encontraban a 30 km, distancia que se ha ido reduciendo hasta quedar separadas por unos escasos 10 km, desde los que Rosetta no para de tomar datos.

Convendría aquí aclarar dos cosas. En primer lugar, su nombre, que procede de Klim Churyumov y Svetlana Gerasimenko, los astrónomos que lo identificaron por primera vez en 1969. 67P hace referencia a que es el 67 cometa de periodo corto (que significa que su órbita es de menos de 20 años) descubierto.

En segundo lugar, su camino. 67P (por abreviar) está atrapado en una ór-

bita elíptica de 6,5 años alrededor del Sol. Este recorrido lo sitúa entre las órbitas de Marte y de la Tierra en su punto más cercano al Sol (perihelio) y un poco más allá de la órbita de Júpiter en su punto más alejado (afelio). Su movimiento está muy afectado por la gravedad de este gigantesco planeta, así que se dice que pertenece a la familia de los cometas de Júpiter. Se cree que estos se originan en el cinturón de Kuiper, una gran reserva de pequeños cuerpos helados situados justo más allá de Neptuno.

Cuando el cometa estaba a una distancia de 583 millones de kilómetros del Sol, en julio, el instrumento MIRO (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) detectó que de su núcleo se estaba evaporando la cantidad equivalente a dos vasos pequeños de agua. A mediados

de septiembre, se detectó una emisión media de un litro de agua por segundo. 67P se estaba despertando.

Retrato de un cometa

Un mundo rocoso y extremadamente accidentado, con temperaturas cercanas a los -70°C , rico en componentes orgánicos, pero con menos hielo y más polvo del esperado, oscuro, oscurísimo, más incluso que el carbón—solo refleja el 6 % de la luz que reciben, frente al 31 % de la Tierra— y en el que incluso parece que hay viento. Y sin parar de emitir grandes chorros de polvo y gas. Este sería el retrato robot de 67P de acuerdo con los primeros datos recogidos por Rosetta, que se publicaron recientemente en siete artículos en la revista *Science*, que además ha elegido a esta misión como el avance científico más destacado de 2014.

Los astrónomos también han sido capaces de determinar de forma directa la densidad de 67P, un cuerpo la mitad de denso que el agua y que, dado su tamaño, debe de estar vacío en un 80%. “Ahora debemos resolver si ese vacío se debe a poros a escala micrométrica o si se trata de grandes huecos, una cuestión que enlaza con la de la propia formación de los cometas y que nos permitirá determinar si se trata de cuerpos verdaderamente primigenios en la formación del sistema solar”, explica Luisa M. Lara, investigadora del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y coautora de tres de los estudios publicados en *Science*.

En este centro español se ha desarrollado OSIRIS, un sistema óptico que ha tomado más de 15.000 imágenes de altísima resolución —unos 80 centímetros— que han permitido clasificar los diferentes terrenos del cometa. Para empezar, resulta que su forma consiste en dos lóbulos unidos por un cuello, por lo que le han apodado cariñosamente *patito de goma*. El exótico mundo continúa con grandes extensiones de polvo mezcladas con dunas, que recuerdan a nuestros desiertos terrestres, profundas depresiones y zonas extremadamente accidentadas, entre las que se alza Hathor, un acantilado de 900 metros.

“La compleja morfología de 67P apunta a la existencia de distintos procesos que modelan la superficie: observamos regiones fracturadas, estructuras similares a dunas que parecen ser el resultado del transporte de polvo, o zonas, como Aten, que podrían deberse a grandes pérdidas repentinas de material”,

indica Rafael Rodrigo, investigador del Centro de Astrobiología (CAB) que participa en la misión. Una complejidad extraordinaria para un cuerpo de apenas 4 km de longitud. Y esta es solo la primera tanda de resultados.

¿Dónde está Philae?

Y llegó el momento de liberar a Philae. Fue el 12 de noviembre, en ese momento, el co-

ma medía 19.000 kilómetros de largo. Después de una tensa espera de siete horas descendiendo sin utilizar ningún tipo de sistema de guía o propulsión, desde una distancia de 22,5 km al cometa, la señal confirmando el acometaje de Philae llegó a la Tierra. El sitio donde

se posó, de nombre Agilkia, localizado en la cabeza de 67P, se eligió solo seis semanas después de la llegada, basándose en las imágenes tomadas a distancias de entre 30 y 100 km al cometa.

Durante el descenso, Philae tomó imágenes y recogió información sobre el ambiente del cometa. Pero fue una caída llena de problemas y dada la bajísima atracción gravitatoria de 67P, Philae —que en la Tierra pesa unos 100 kg que no son más de 10 gramos en el cometa— rebotó contra su superficie un total de cuatro veces, incluyendo el desembar-

co final. Además, no desató un sistema de arpones que tenía precisamente para mantenerse en la superficie, así que acabó en un lugar desconocido, seguramente en algún desfiladero, de manera que no ha sido capaz de reorientarse hacia el Sol para recargar sus paneles solares. Permaneció activo durante unas 60 horas antes de que se agotaran sus baterías. Y se durmió.

Desde entonces la búsqueda se ha centrado en identificarlo en alguna de las imágenes que obtiene Rosetta. Mientras el instrumento CONSERT ha ayudado a reducir la “pista de aterrizaje” a un área de 350 x 30 metros en el lóbulo más pequeño del cometa, la búsqueda especializada en imágenes del instrumento OSIRIS aún no ha podido confirmar su ubicación definitiva. Pero para los científicos de la ESA, Philae ha cumplido con su misión y en este momento están analizando los datos recabados durante el tiempo que se mantuvo encendido.

De momento, los planes a corto plazo de la misión son que Rosetta siga orbitando alrededor de 67P mientras ambos se dirigen hacia el Sol. Una vez pasado el perihelio, el punto más cercano a nuestra estrella, Rosetta se mantendrá en su órbita por otros seis meses, hasta diciembre de 2015, mientras que el cometa se vaya alejando de la estrella y se mueva hacia la órbita de Júpiter, perdiendo actividad hasta regresar al silencio de

las afueras del sistema solar del que proviene. Quizás, en algún momento de ese camino juntos, mientras 67P se apaga, Philae se despierte.



Rafael Rodrigo, investigador del Centro de Astrobiología del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

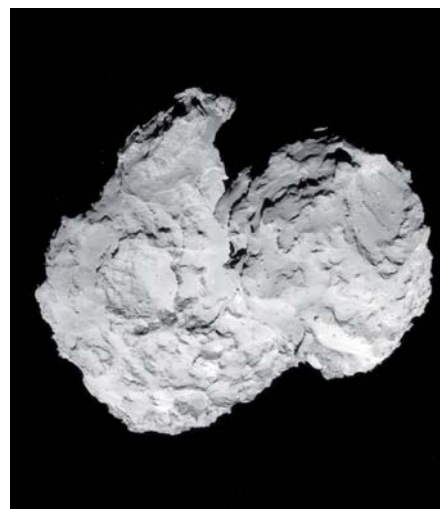


Imagen del cometa 67P tomada durante la aproximación de la nave Rosetta.

Una mirada a nueve actores principales de la I+D nuclear española

La necesidad y la virtud

Hacer de la necesidad virtud. Ese pudo haber sido el lema de la industria nuclear española. Puesto que se iban a hacer centrales, lo mejor era aprender la técnica para hacerlas y gestionarlas. Luego, cuando se había aprendido, se dejaron de construir en España, así que las empresas creadas hubieron de salir al mundo para seguir trabajando. Otra vez la necesidad y la virtud. Habían aprendido a hacer calderería de calidad, ingeniería de precisión, sistemas compe-

titivos y gestión ejemplar, así que fueron capaces de encontrar su lugar bajo el sol. Hoy los productos para el mundo nuclear con el sello *made in Spain* se pueden ver en casi todos los países en los que esta industria está presente. Cerramos con este resumen la sección Tecnología Nuclear Española, que ha repasado la trayectoria de nueve de sus más señeros representantes. ■ Texto: **Antonio Calvo Roy** | periodista científico ■

La característica del mundo nuclear, según Pío Carmena Servert, secretario general de la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión, CEIDEN, es que se trata de una industria “necesariamente colaborativa y que se desarrolla en un entorno abierto.

Por supuesto, es de alcance mundial, implica el desarrollo de grandes proyectos de alto coste, lo que obliga a la financiación multilateral e internacional y supone un escenario multidisciplinar. Por último, pero no menos importante, está abierta a las nuevas tecnologías”. A lo lar-

go de todo el ciclo, desde la preparación del combustible hasta su almacenamiento posterior, pasando por la construcción, los diversos aspectos de la ingeniería y la enseñanza, las empresas españolas están presentes en este mundo. Y lo están trabajando solas, mediante colabo-



Extremos de barras de combustible en la factoría de Enusa.

raciones entre ellas o con socios internacionales, porque así es el mundo nuclear en el que están plenamente integradas.

En esta sección hemos pasado revista a una serie de empresas y organismos, públicos y privados, que son una buena muestra de este quehacer internacional. Las 80 entidades presentes en la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión, CEIDEN, supone, de hecho, que hay presencia nacional en todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España y en los industriales. Hemos visto con detalle nueve de ellos, nueve actores principales.

En la primera parte del ciclo, Enusa lleva 40 años poniéndole las pilas a las nucleares españolas, aunque desde hace ya algunos años dos tercios de su producción, que sale de la fábrica de Juzbado, en Salamanca, van a parar al mercado internacional. Como explica José Luis González, presidente de la empresa, “a mediados de los años noventa iniciamos la línea de actividad exterior y hoy en día el 60 % de nuestra producción está dedicada al mercado internacional. Actualmente participamos, junto a empresas españolas del sector, en un plan de desarrollo de actividades en China y Suramérica.”

En todos estos mercados participa otra empresa española, Ensa, y también, como Enusa, propiedad de la Sociedad Española de Participaciones Industriales, la SEPI. Desde su fábrica de Santander parten los barcos a las cuatro esquinas del mundo, llevando en sus tripas las vasijas del reactor, que son las enormes piezas que hace esa fábrica. Allí, en Maliaño, se han hecho todas las vasijas de las centrales nucleares españolas y la empresa es, hoy por hoy, uno de los tres o cuatro fabricantes de grandes componentes nucleares más importantes del mundo.

Tienen una amplia cartera, puesto que fabrican, según detalla Francisco J.



Embarque de un generador de vapor fabricado por Ensa.

Adam, director comercial de la empresa, “vasijas de reactor, tapas para los generadores de vapor, presionadores, generadores de vapor, bastidores y contenedores de combustible, cabezales de combustible para Enusa, contenedores para almacenaje y transporte...”. Se trata de una oferta abundante de productos, y de servicios, que les ha permitido aguantar bien el tremendo chaparrón de estos años. “Llevamos también a cabo diseño, servicios auxiliares de todo tipo, manejo de combustible en las plantas”, dice Adam, y siempre mirando fuera porque “actualmente, la totalidad de los grandes equipos en fabricación o en cartera los hacemos para el exterior”.

En un mundo de precisión y de dura competencia internacional, Ensa ha aguantado los 42 años que lleva en el mercado gracias, dice Eduardo González Mesones, presidente de la compañía, a que “desde su inicio, Ensa ha contado con la infraestructura, la tecnología y el equipo humano adecuado para satisfacer los más altos estándares en las áreas de ingeniería, diseño, aprovisionamiento, garantía de calidad, proyectos de fa-

bricación, inspección y prestación de servicios. Fabricamos todos los componentes y lo que necesitamos para hacerlos y somos una empresa internacional que está trabajando a plena capacidad.”

El alma mater

El gran vivero de técnicos y especialistas, el verdadero semillero de empresas españolas en el mundo nuclear fue el actual Ciemat, la antigua Junta de Energía Nuclear. De ahí surgieron los tres descendientes que se ocupan hoy de la primera parte del ciclo, de la última y de la regulación, es decir, Enusa, Enresa y el Consejo de Seguridad Nuclear. Pero, además, un porcentaje muy elevado de quienes han trabajado en este mundo ha pasado también por este pequeño poblado enclavado en la Ciudad Universitaria, en Madrid. La primera institución que se ocupó en España de cuestiones nucleares ya ha cumplido 60 años y se conserva en plena forma, aunque con el punto de mira más ampliado.

El Ciemat es un organismo público de investigación que depende del Ministerio de Economía y Competitividad y



Instalaciones de Tecnatom.

que está dedicado a la investigación en energía y a sus efectos sobre el medio ambiente y las personas, además de llevar a cabo también investigaciones básicas en física de altas energías y biología celular. Pero las cuestiones nucleares siguen formando parte de la esencia de este organismo y por eso Ramón Gavela, director general adjunto y también director del Departamento de Energía, señala que “la seguridad nuclear siempre es una prioridad para nosotros, y por eso estamos en muchos proyectos en este campo. Por ejemplo, últimamente estamos trabajando en accidentes severos, porque se ha visto que pueden llegar a acumularse varios agentes causantes que incrementan la gravedad del suceso”. En esta línea, continúa Gavela, “estamos, por ejemplo, trabajando para el CSN en el proyecto lanzado por la Agencia de Energía Nuclear (NEA por sus siglas en inglés) tras el desastre de Fukushima.”

Además, trabajan junto a Enresa en gestión de residuos, tanto de media y baja actividad como de alta, en comportamiento del combustible gastado en

contenedores y en otras áreas, como estudios de almacenamiento geológico profundo. Por otra parte, están presentes en los desarrollos de los nuevos conceptos de la cuarta generación de reactores nucleares, en colaboración con diversos laboratorios de investigación y empresas europeas, dentro del marco del SET Plan.

Conviene, por último, destacar la importancia del Ciemat como centro de formación de quienes en España se han dedicado a las cuestiones nucleares. Durante muchos años era el único centro, junto a algunas escuelas de ingenieros industriales y algunas universidades, donde había un alto nivel de formación en el campo nuclear. Tanto en protección radiológica como en dosimetría y seguridad nuclear, el Ciemat sigue siendo un lugar de referencia no solo por su historia, la más notable en nuestro país, sino por su presente y su futuro.

No en vano buena parte de las ingenierías de este negocio se han nutrido, sobre todo en sus primeras épocas, de profesionales que provenían del Ciemat o que habían pasado por sus aulas en algún momento. De hecho, en las tres in-

genierías que han pasado por esta sección, Sener, Empresarios Agrupados y Tecnatom, hay personas cuyo *alma mater* es este organismo.

Las ingenierías

Tanto Sener como Tecnatom fueron fundadas en 1957, es decir, están a punto de cumplir 60 años. En este tiempo se han ido adaptando a las exigencias del mercado, aunque su presencia en el mundo energético, en concreto en el nuclear, ha sido siempre notable. Empresarios Agrupados, por su parte, nacida en 1971, fue fundada específicamente para trabajar en centrales nucleares, aunque después ha extendido su actividad principal hacia otros campos.

Sener comenzó haciendo ingeniería para el diseño de barcos, siguió navegando por el espacio y ahora una buena parte de su negocio está en el campo de la energía. Se ha diversificado hasta el punto de que igual hace motores de aviones con Rolls Royce que paneles solares para satélites, centrales termosolares y plantas de gas —de regasificadoras a ciclos combinados— y está igualmente en el trata-



Empresarios Agrupados. Recreación que muestra cómo quedará el ITER cuando termine de construirse.

miento de purines que instalando trenes de alta velocidad y metro en todo el mundo. Sin embargo “el campo de la energía supone el 80 % de la facturación de la compañía”, dice Borja Zárraga, director general de la División de Energía y Procesos, quien está convencido de que, para tener éxito internacional, una empresa de estas características “necesita creerse de verdad esto de la excelencia, que no sea solo una palabra sino mucho más.”

En la década de 1970, la empresa trabajó en diversos aspectos de ingeniería en las plantas nucleares que entonces se estaban construyendo en España, especialmente en Almaraz, Cofrentes, Lemóniz y Garoña. Y participaron en la sustitución de los generadores de vapor en Almaraz, en 1996. Mirando al futuro, y centrándonos en su aspecto nuclear, es decir, sin atender al resto de sus divisiones, la parte del león de la empresa, Sener está presente en el proyecto de reactor nuclear Carem, de baja potencia (25 MW), donde lleva a cabo el desarrollo de la ingeniería conceptual, y la evaluación de alternativas, de los sistemas de refrigeración del reactor nuclear, incluido el estudio hi-

drotérmico de las descargas de las aguas de enfriamiento.

Tecnatom, creada también en 1957 por el Banco Urquijo, un banco diseñado para interesarse en inversiones industriales, entre ellas en el naciente mundo nuclear, tuvo su primer gran crecimiento cuando se inició la construcción de José Cabrera, en Zorita, donde tuvieron un papel esencial; y otras centrales, como Garoña, buscaron disponer de una ingeniería independiente y confiable para la formación de sus operadores y para llevar a cabo todo tipo de inspecciones. Sobre estos pilares se creó una ingeniería que compite internacionalmente en el exigente mundo nuclear y que ya está presente en 30 países.

Hoy las dos áreas más relevantes de trabajo de Tecnatom son la nuclear, en la que se inició y en la que sigue siendo una empresa puntera en el mundo, y la aeronáutica, como un beneficio colateral de las técnicas aprendidas en el mundo nuclear, aunque representa un porcentaje mucho menor en la actividad de la empresa. Su plan de futuro “está en consonancia con la industria española en ge-

neral: seguir aquí pero mirar cada vez más fuera de nuestras fronteras”, afirma Francisco Javier Guerra Sáiz, director general de Tecnatom desde el año 2011.

En 1973 se convirtió en la empresa común de servicios de ingeniería, fundamentalmente en las áreas de adiestramiento e inspección de las siete compañías eléctricas con participación en el programa nuclear español. De hecho, Sevillana de Electricidad, Electra de Viesgo, Fenosa, FECSA, Hidroeléctrica Española, Iberduero y Unión Eléctrica Madrileña pasaron a ser copropietarios de Tecnatom. Y, muchos años después, las dos líneas básicas de actuación primigenias, la formación y la inspección, se mantienen a pleno rendimiento. Así, la formación de operarios sigue siendo uno de sus puntos fuertes y por sus simuladores de salas de control, réplicas exactas de las salas de control de las centrales españolas, pasan no solo quienes aspiran a convertirse en operadores, sino también todos los que están en activo.

La tercera ingeniería de esta serie, Empresarios Agrupados, nació en 1971, en plena época de construcción de las



Bidones con residuos radiactivos de baja y media actividad.

centrales nucleares españolas, cuando algunas compañías eléctricas decidieron que querían tener su propia empresa para llevar a cabo los proyectos de construcción de las centrales. Para María Teresa Domínguez, directora de Proyectos Nucleares Avanzados, “la experiencia fue un éxito, y, en la última de las centrales construidas en España, Trillo, la participación española en el conjunto de la obra fue del 86 %.”

Empresarios Agrupados se especializó entonces en trabajar en la cadena de suministros, que era incipiente en los años ochenta, para implantar sistemas de

garantía de calidad que permitieran ofrecer estos proyectos, es decir, conseguir que las ofertas españolas fueran competitivas con las de otros países para hacer las centrales nucleares nacionales, sobre todo en el campo de la garantía de calidad. Buscaban, en definitiva, trasladar el modelo de EE UU a la industria española, lo que posteriormente les permitió ser competitivos en todo el mundo. Buena parte de su actividad sigue centrada en el mundo nuclear y, de hecho, están presentes en casi todos los países que quieren afrontar la energía nuclear; llevan a cabo sus proyectos sobre todo en activi-

dades previas a la construcción, es decir, en la preparación de ofertas, evaluación de contratos, estudios previos para la cadena de suministros, estudios de emplazamiento... Y, además, se han especializado, entre otras áreas de la ingeniería, en la construcción de telescopios, un ámbito al que la precisión nuclear le viene de perilla.

El fin del ciclo

En la última parte del ciclo contamos con Enresa, una empresa nacida en los primeros años ochenta y que goza de gran reconocimiento internacional. Se creó como respuesta a la necesidad de gestionar los residuos radiactivos de las centrales nucleares, y de los otros usos industriales y médicos que los producen. Gracias a la instalación de El Cbril, que se ha convertido en un centro modelo en el manejo de combustible de media y baja radiactividad, la compañía es hoy un referente mundial. Ahora tiene como principal trabajo poner en pie el almacén temporal centralizado, el ATC, que se instalará en Villar de Cañas, Cuenca, en principio en 2017, para gestionar los residuos de alta actividad.

Enresa es “la agencia del campo de los residuos nucleares con más competencias del mundo”, dice Álvaro Rodríguez Beceiro, director de su División Técnica. Desde el primer momento contó con un “esquema de financiación generoso, que —dice Rodríguez Beceiro— le permitió contratar una plantilla con alta cualificación.” Por otra parte, su funcionamiento como sociedad anónima dotó a la empresa de mucha agilidad a la hora de afrontar los proyectos.

Gracias al momento en que se diseñó y se construyó, El Cbril pudo hacerse con experiencia internacional, mejorando lo que había hasta entonces. Por eso se ha convertido en una instalación modélica en el mundo y ha permitido a la empresa tener un notable prestigio y



Edificio del reactor tras el desmantelamiento de Vandellós I.

estar presente, como asesores, en todos los proyectos de la Unión Europea relacionados con estas cuestiones.

Ahora, tras afrontar los desmantelamientos de Vandellós I y de Zorita, los dos en curso, su principal objetivo es el ATC de Villar de Cañas. Allí se guardarán casi 13.000 m³ de materiales, producto de la operación de las centrales desde que empezó a funcionar la primera, en 1968. Se trata, como su propio nombre indica, de un único lugar para toda España, donde se guardará acondicionado el combustible gastado de las centrales nucleares y los

residuos de alta actividad producidos en nuestro país.

El último capítulo de la serie era una ventana al futuro, es decir, una ventana al mundo. Tres de las empresas que han visitado estas páginas Ensa, Enusa y Tecnatom, unidas a Ringo Válvulas, fundada en el año 2000 y que se dedica al diseño, abastecimiento de materiales, fabricación, montaje y pruebas de válvulas, elementos claves en la operación de las centrales nucleares, fundaron el *Spanish Nuclear Group for Cooperation*, SNGC. Con esta unión tratan de presentar sus productos y ser-

vicios en los nuevos mercados y aprovechar las oportunidades que surjan. Presencia en ferias, muchos viajes, una notable labor de márketing y sinergias son los componentes de este proyecto destinado a buscar circunstancias de negocio para las empresas nucleares españolas. En total, suman algo más de 2.000 profesionales del mundo nuclear y tienen presencia en 35 países.

Se trata, según Carmelo Palacios, su director general de “buscar sinergias en el exterior para poder prosperar en un mercado muy competitivo en el que hay que hacerlo muy bien y cada vez mejor para continuar trabajando. Pero he de decir que estamos muy tranquilos, porque la calidad es el sello de identidad de las cuatro empresas del SNGC.”

En el conjunto de las firmas que forman este consorcio facturan, de media anual (que fluctúa mucho dependiendo de las entregas de cada año), entre 50 y 70 millones de euros por ejercicio. Naturalmente se trata de una curva con muchas variaciones porque son pedidos muy voluminosos, pero de muy larga maduración. Y, además, reflexiona Palacios, hablamos de “un mercado complicado, pero que tiene muy buenas perspectivas”.

A esas buenas perspectivas puede hacerse frente gracias a esta historia y a estos nueve actores. Muestran con precisión cómo ha sido una parte del devenir industrial y científico de España en la segunda mitad del siglo pasado y en lo que llevamos de este. El mundo nuclear, una pieza relevante de la sociedad y de la economía, del desarrollo y de la evolución técnica, queda aquí reflejado. Puesto que somos lo que hemos sido, aquí queda también el retrato de cómo hemos llegado hasta aquí, quién lo ha hecho, qué papel ha jugado cada uno de estos nueve actores, aunque hay más protagonistas. Esto es lo que hemos sido, así que esto configurará lo que seremos. ©

Panorama



Reunión de WENRA en Ginebra

El Consejero del CSN, Antoni Gurguí, y el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, asistieron durante los días 25, 26 y 27 de marzo, en Ginebra (Suiza), a la reunión de la Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA), de la que Gurguí es vicepresidente. En la reunión, en la que participaron los 17 países miembros, se revisó el programa de trabajo técnico de la asociación en materia de seguridad nuclear y gestión de residuos radiactivos.

Se trata de la primera reunión en la que participa Ucrania como miembro de pleno derecho de la asociación y Bielorrusia en calidad de observador. También se ha destacado el proceso, ya en marcha, de revisión de los vigentes niveles de referencia de seguridad de los reactores en operación, así como la contribución de WENRA a la coordinación de las obligaciones procedentes de la directiva de Seguridad Nuclear. También se analizó el estado de la actividad de los grupos de trabajo de armonización de reactores y residuos y desmantelamiento. Por último, se confirmó que España acogerá la próxima reunión de la asociación, que tendrá lugar en octubre de este año. ▶

El Gobierno aprueba 20 nuevas plazas para el Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica del CSN

El Consejo de Ministros aprobó el 20 de marzo la oferta de empleo público para el año 2015, que autoriza al Consejo de Seguridad Nuclear a convocar 20 plazas de acceso libre para la Escala Su-

perior del Cuerpo de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, y de una plaza en promoción interna. El Consejo remitió en abril a la Dirección General de la Función Pública las bases de am-

bas convocatorias, con carácter previo a su remisión al BOE.

La autorización para convocar nuevas plazas de técnicos ha sido una reivindicación constante del actual Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear desde el inicio de su mandato, dado que, debido a la crisis económica, en

años anteriores no hubo oferta de empleo público hasta el año 2014, en que se incluyeron seis plazas. Se trata de una cuestión esencial para poder realizar una adecuada gestión y transmisión del conocimiento para que no se pierda la capacidad técnica en temas tan complejos como los que maneja el organismo. ▶



El CSN participa en el X Congreso Regional Iberoamericano de IRPA

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, presidida por el consejero Fernando Castelló, participó el 23 de abril en el X Congreso Regional Iberoamericano de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA por sus siglas en inglés), celebrado en Buenos Aires, Argentina. El programa científico del congreso, denominado “Radioprotección: nuevos desafíos para un mundo en evolución”, analizó los últimos desarrollos en la ciencia y práctica de la protección radiológica. También se impartieron cursos de actualización para renovar el conocimiento respecto a estos temas, así como un taller sobre cultura de protección radiológica en medicina. La asistencia a este congreso ha contribuido a reforzar el intercambio y experiencia entre los miembros del Foro Iberoamericano de organismos reguladores radiológicos y nucleares, que celebró un simposio satélite y presentó durante las sesiones plenarias algunos de los proyectos desarrollados.

El consejero Castelló resaltó la importancia de la cooperación internacional para el avance de la cultura de protección radiológica y el protagonismo de la actividad del Foro para impulsar y fomentar dicha cultura en toda el área iberoamericana, en la que el CSN tiene una especial relevancia.

Antoni Gurguí preside la reunión de la comisión de estándares y normas del OIEA

Entre los días 20 y 22 de abril se celebró en la sede del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), en Viena, la primera reunión de las dos que se organizan cada año de la Comisión de Normas de Seguridad, que fue presidida por el consejero del CSN Antoni Gurguí. Durante las sesiones se aprobaron diversos proyectos de actualización de la normativa del organismo para introducir mejoras en la regulación derivadas de la experiencia operativa, así como de las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima.

También se debatió la propuesta de creación de un nuevo comité específico preparado para responder en emergencias, que seguirá siendo analizada en las próximas reuniones de la comisión antes de tomar una decisión. Además, se informó sobre el desarrollo de una nueva plataforma tecnológica que sirve de consulta y gestión de los estándares normativos del Organismo Internacional de la Energía Atómica.

La Comisión de Normas de Seguridad está integrada por autoridades nacionales de seguridad nuclear y protección radiológica y es la encargada de realizar la última revisión de la normativa de seguridad del OIEA antes de su aprobación por la Junta de Gobernadores o el director general, además de asesorar en asuntos de seguridad nuclear, radiológica, transporte y residuos radiactivos.

Visita a la fábrica de combustible nuclear de Juzbado

Una delegación del Consejo de Seguridad Nuclear, encabezada por su presidente, visitó el pasado 17 de marzo las instalaciones de Enusa Industrias Avanzadas S.A., en la localidad de Juzbado (Salamanca). El presidente, Fernando Martí Scharfhausen estuvo acompañado por la secretaria general, María Luisa Rodríguez y el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera, quienes fueron recibidos por el presidente de Enusa, José Luis González, y el director de la fábrica, Javier Montes. Durante la visita recorrieron las instalaciones de la fábrica de combustible nuclear en sus diferentes fases de producción.



Juan Carlos Lentijo, nuevo director adjunto del OIEA

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha designado al español Juan Carlos Lentijo como nuevo director adjunto. Lentijo, que es funcionario del Consejo de Seguridad Nuclear y hasta 2012 fue el responsable de la Dirección Técnica de Protección Radiológica, tomará posesión del cargo el próximo mes de octubre.

Se trata del cargo más alto ejercido por un español en este organismo, radicado en Viena y perteneciente al conjun-



to de instituciones de Naciones Unidas, que en el año 2005 recibió, junto a su entonces director general, Mohamed El Baradei, el Premio Nobel de la Paz. Actualmente dirige el organismo el japonés Yu-kiya Amano.

Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid, ingresó en el CSN en 1984, ocupando sucesivamente los puestos de jefe de proyecto de Centrales Nucleares, inspector residente, subdirector de Emergencias, subdirector de Protección Radiológica Ambiental y, desde febrero de 2003, director técnico de Protección Radiológica, hasta junio de 2012 en que fue nombrado director de la División de Ciclo de Combustible Nuclear y Tecnología de Residuos del OIEA. Formó parte de la primera misión enviada por este organismo a Japón tras el accidente de Fukushima y dirigió la segunda. ▶



Jornada de la SNE sobre las centrales nucleares en 2014

La vicepresidenta del Consejo de Seguridad Nuclear, Rosario Velasco, inauguró el

pasado 10 de marzo la jornada “Las centrales nucleares en 2014. Experiencias y perspectivas”, organizada por la Sociedad Nuclear Española (SNE) y celebrada en la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid. En su intervención, repasó los temas de mayor relevancia para el CSN durante el pasado año, como el seguimiento del Plan de Acción Nacional post-Fukushima, la autorización de explotación de Santa María de Garoña, el informe de renovación de Trillo y los resultados del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales Nucleares (SISC).

Respecto a los retos a los que se enfrenta el CSN en 2015, la vicepresidenta destacó el mantenimiento y mejora del nivel técnico del CSN a través del relevo generacional, la incorporación a la legislación nacional de los nuevos niveles de referencia de WENRA y el desarrollo y revisión de los procedimientos de la Organización de Respuesta ante Emergencia. Por último, se refirió al proceso de autorización del almacén temporal centralizado, la trasposición de las directivas europeas de protección radiológica y de seguridad nuclear, el desarrollo de un sistema de gestión del conocimiento y las mejoras en comunicación y transparencia, entre las que destaca el desarrollo de una nueva página web. ▶



El CSN asiste a la XXVII RIC

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) asistió a la vigésimo séptima edición de la Conferencia de Información Reguladora (RIC), organizada por la Comisión

Reguladora Nuclear (NRC) de Estados Unidos, que tuvo lugar en Washington a mediados de marzo y que reunió a unos 3.000 participantes procedentes de 30 países.

La delegación del CSN estuvo formada por los consejeros Antoni Gurguá y Cristina Narbona y representantes de las direcciones técnicas de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica. Durante la reunión se abordaron temas como los desafíos relacionados con la extensión de vida de las centrales, las licencias de nuevos reactores y la aplicación de las mejoras procedentes de las lecciones aprendidas de Fukushima. Antoni Gurguá, participó en un panel internacional sobre agilidad en la regulación.

En paralelo a la conferencia, los consejeros del CSN tuvieron la oportunidad de mantener encuentros con sus homólogos de la NRC, Kristine L. Svinicki y William C. Ostendorff, con quienes compartieron impresiones sobre la renovación de las licencias y la operación a largo plazo de las centrales nucleares, los cambios en las políticas y prácticas en seguridad física de dichas instalaciones y el proceso establecido para la toma de decisiones reguladoras. También tuvieron ocasión de coordinar la participación conjunta de ambos reguladores en varias iniciativas internacionales. ▶



El CSN participa en la jornada “La protección radiológica” en 2014, de la SEPR

La directora técnica de Protección Radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear, María Fernanda Sánchez, inauguró el 9 de abril la jornada que, bajo el título “La protección radiológica en 2014”, organizó la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat). Durante su intervención presentó los resultados de los programas reguladores en protección radiológica del CSN durante el año pasado y destacó la importancia que tiene para el CSN la transmisión y gestión del conocimiento, en referencia al relevo generacional dentro del organismo a través de la incorporación de nuevos funcionarios del cuerpo técnico.

Durante la jornada se analizaron las metodologías de análisis de riesgos en radioterapia y se presentaron las actuaciones realizadas en la central nuclear de Cofrentes para la descontaminación química del sistema primario. En las medidas de radiactividad ambiental se recordaron las principales conclusiones de las Jornadas de Calidad de 2014, con los objetivos y principales actuaciones realizadas por la Plataforma Ceiden. Por su parte, la SEPR presentó su plan de actividades para 2015.



Reunión con el regulador polaco

El Consejo de Seguridad Nuclear y su homólogo polaco, la *Polish Atomic Energy Agency* (PAA), mantuvieron una reunión el 16 de abril en la sede del regulador español, presidida por Fernando Martí Scharfhausen, máximo responsable del CSN. También asistieron a la reunión la secretaria general, María Luisa Rodríguez y el director técnico de Seguridad Nuclear, Antonio Munuera. La delegación polaca ha estado encabezada por el presidente de la PAA, Janusz Wlodarski, y ha estado acompañado por el director general, Robert Czarnecki, y el director del centro de emergencias, Krzysztof Dabrowski.

Durante el encuentro se repasaron las principales actividades realizadas entre ambos organismos reguladores en materia de seguridad nuclear y protección radiológica y se trataron las diferentes prácticas relacionadas con la normativa, la organización, las emergencias y la comunicación, así como las experiencias en la aplicación de las recomendaciones derivadas de las misiones IRRS. La reunión finalizó con una visita al Centro de Información y a la Sala de Emergencias del CSN (Salem).

El encuentro fortaleció la buena relación entre los dos organismos reguladores y permitió compartir información y buenas prácticas de trabajo. Ambos organismos han expresado interés en mantener una cooperación bilateral futura para el entrenamiento de personal.

Principales acuerdos del Pleno

Revisión 1 de la Guía de Seguridad GS-05.14

El Pleno del CSN, en su reunión del 8 de enero, aprobó por unanimidad la revisión 1 de la Guía de Seguridad GS-05.14 del CSN, sobre la seguridad y protección radiológica de las instalaciones de gammagrafía industrial. Su objetivo es establecer recomendaciones en materia de seguridad y protección radiológica relativas a instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial y será de aplicación a todas las instalaciones radiactivas que almacenen o utilicen dichos equipos.

Proyecto de Instrucción sobre procedimientos de operación de emergencia y gestión de accidentes severos

En su reunión del 21 de enero, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad el borrador 2 de la Instrucción del Consejo sobre procedimientos de operación de emergencia y gestión de accidentes severos en centrales nucleares (NOR/06 021), remitido por la Subdirección de Asesoría Jurídica tras haber sido considerados los comentarios externos y la remisión de esta Instrucción al Congreso de los Diputados, en cumplimiento de las previsiones del artículo 2.a) de la Ley de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

Proyecto de Instrucción sobre análisis de accidentes base de diseño en Centrales Nucleares

El Pleno del Consejo, en su reunión del 21 de enero, aprobó por unanimidad el borrador 2 de la Instrucción del Consejo sobre análisis de accidentes base de diseño en centrales nucleares (NOR/06 023), re-

mitido por la Subdirección de Asesoría Jurídica tras haber sido considerados los comentarios externos y la remisión de esta Instrucción al Congreso de los Diputados, en cumplimiento de las previsiones del artículo 2.a) de la Ley de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

Convenios con las universidades politécnicas de Madrid, Cataluña y Valencia sobre subvenciones para las cátedras del CSN

El pleno del Consejo, en la sesión del 28 de enero, aprobó por unanimidad los convenios entre el Consejo de Seguridad Nuclear y las universidades politécnicas de Madrid, Cataluña y Valencia, por los que se regulan las subvenciones nominativas previstas en los Presupuestos Generales del Estado para el año 2015 para las cátedras de seguridad nuclear Federico Goded, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid; Argos, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona; Juan Manuel Kindelán en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid; y Vicente Serradell en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia. Además, el Pleno aprobó también el acta de formalización de creación de esta última cátedra.

El objetivo general de estos convenios es incentivar la formación de técnicos altamente cualificados en seguridad nuclear y protección radiológica y promover actividades de investigación para nuevos desarrollos en estos campos. La cuantía de cada una de estas subvenciones es de 70.000 euros y su plazo de jus-

tificación de aplicación finalizará el 28 de febrero de 2016.

ITC relativa al Plan de Inspección de las Penetraciones de los Accionadores de las Barras de Control de Santa María de Garoña

En su reunión del 4 de febrero de 2015, el Pleno del CSN apreció favorablemente por mayoría la solicitud de cumplimiento del punto 2 de la Instrucción Técnica Complementaria sobre documentación y requisitos adicionales en relación con la solicitud de renovación de la Autorización de Explotación de la central nuclear Santa María de Garoña, relativa al plan de inspección base de referencia y al plan de contingencia de las penetraciones de los accionadores de barras de control de dicha instalación, por el que se requiere la inspección del 100 % de dichas penetraciones, con tres condiciones. La intervención escrita de la consejera Cristina Narbona, que votó en contra, se incorporó al acta de la reunión como Anexo I.

Instrucción Técnica sobre licencias de operación del ATC

El Pleno del CSN, en su reunión del 8 de abril aprobó por unanimidad una Instrucción Técnica sobre formación de personal adscrito al Almacén Temporal Centralizado (ATC) a remitir a Enresa. El objeto de dicha Instrucción es definir las actividades de la instalación, que deben ser realizadas por personal con licencia, de acuerdo con el apartado 4º del artículo 47 del Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RINR) y asegurar,

con suficiente antelación, la adecuada dotación y formación del personal adscrito al mismo. Por ello, se requiere a Enresa que desarrolle las propuestas de programas de formación del personal con licencia para las actividades del ATC, así como del programa de formación de personal sin licencia, con el alcance y plazos que figuran en esta Instrucción Técnica.

Modificación de diseño para sustitución de la tapa de la vasija en Vandellós II

En su reunión del 8 de abril, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad informar favorablemente las solicitudes de modificación de diseño para la sustitución de la tapa de la vasija de la central nuclear Vandellós II. La sustitución de la tapa de la vasija tiene carácter preventivo y se realizará con nuevos materiales no susceptibles de sufrir corrosión bajo tensión. La solicitud incluye las propuestas de cambios denominadas V/L 749, revisión 0, y V/L 417, revisión 0, del Estudio de Seguridad, y PC-005, revisión 1, del Plan de Gestión de Residuos Radiactivos, con objeto de adecuarlo para recoger los residuos especiales originados por la sustitución de la tapa de la vasija y el cambio de otras estructuras exteriores.

Instrucción Técnica Complementaria sobre actualización de la caracterización sísmica de los emplazamientos

El Pleno del CSN aprobó por unanimidad, en su reunión del 6 de mayo, una Instrucción Técnica Complementaria (ITC) sobre actualización de la caracterización sísmica de los emplazamientos de las centrales nucleares españolas en operación, incluida Santa María de Garoña. Su objetivo es actualizar la información de partida y el tratamiento de incertidumbres en los estudios de caracterización sísmica de dichos emplazamientos, cuyos resultados podrían afectar al nivel de resistencia de las centrales nucleares frente a terremotos. La propuesta de ITC se estructura en dos fases. Una, de trabajo de campo, actualización documental e integración en una base de datos, que se ejecutará en 21 meses; y otra de análisis integrado de peligrosidad sísmica, cuyo plazo tentativo desde la apreciación favorable del CSN a la fase primera será de 15 meses

Proyecto de Real Decreto sobre aguas envasadas para el consumo humano

En su reunión del 6 de mayo, el Pleno del Consejo aprobó por unanimidad las propuestas de informe presentadas por la Subdirección de Asesoría Jurídica y la Dirección Técnica de Protección Radiológica, sobre los proyectos de Real Decreto por los que se modifican el RD 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano; y el RD 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial. Ambos habían sido solicitados preceptivamente por la Secretaría General Técnica del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Los informes son favorables proponiendo, no obstante, modificaciones de redacción y aclaración de los textos.

Convenio Marco de colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología

El Pleno del CSN, reunido el 10 de junio, aprobó por unanimidad el inicio de los trámites para elaborar un Convenio Marco de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), para la regulación de las actividades conjuntas en materia de meteorología, seguridad nuclear y protección radiológica. Además, se pretende conseguir el intercambio de información técnica y asesoramiento, así como la optimización y uso conjunto de infraestructuras e instalaciones básicas de estaciones y sistemas comunes de ambos organismos. Entrará en vigor en el momento de su firma y tendrá una validez de cuatro años pudiendo ser prorrogado parcial o totalmente previo acuerdo expreso de las partes.

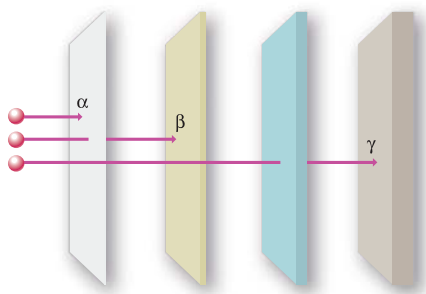
Proyecto de Instrucción sobre formación de personal de transporte de material radiactivo

En su reunión del 10 de junio, el Pleno del Consejo de Seguridad Nuclear aprobó por unanimidad el borrador 2 de la Instrucción del Consejo sobre la formación de las personas que intervienen en los transportes de material radiactivo por carretera, remitido por la Subdirección de Asesoría Jurídica, tras haber considerado los comentarios externos y la remisión de esta Instrucción al Congreso de los Diputados, en cumplimiento de las previsiones del artículo 2.a) de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

Proyecto de Instrucción sobre embalajes para el transporte de material radiactivo

El Pleno del Consejo aprobó por unanimidad, en su reunión del 10 de junio, el borrador 2 de la Instrucción de Seguridad del Consejo sobre el control y seguimiento de la fabricación de embalajes para el transporte de material radiactivo, remitido por la Subdirección de Asesoría Jurídica, tras haber sido considerados los comentarios externos y la remisión de esta Instrucción al Congreso de los Diputados, en cumplimiento de las previsiones del artículo 2.a) de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. ©

www.csn.es



Qué son las radiaciones

En el apartado Monografías de la web del Consejo puedes encontrar una explicación divulgativa y clara sobre las radiaciones, su descubrimiento y los diferentes tipos existentes. También podrás descargar este contenido para consultarlo más tarde.

<http://www.csn.es/las-radiaciones>



Consulta de las actas de inspección a instalaciones

El Consejo de Seguridad Nuclear pone a disposición de todo el público el contenido de las actas de las inspecciones que realiza, tanto a instalaciones nucleares y del ciclo del combustible como a instalaciones radiactivas, a transporte de material radiactivo y residuos y de otras instalaciones.

<http://www.csn.es/seguridad-nuclear/supervision-control-inspecciones/actas>



SISC

Los resultados más recientes del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC) se pueden encontrar en: <http://www.csn.es/sisc-sistema-integrado-supervision-centrales-nucleares>

Actas del Pleno del CSN

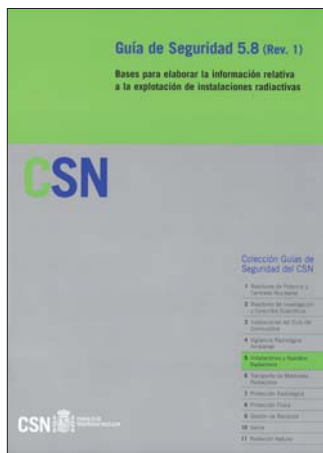
Para consultar las actas del Pleno del CSN, visite: <http://www.csn.es/csn/actas-del-pleno>

Alfa

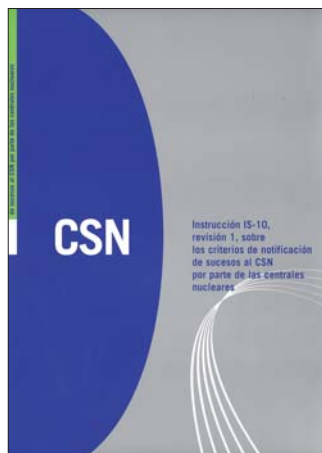
Puede acceder a los anteriores números de *Alfa, revista de seguridad nuclear y protección radiológica* en: http://www.csn.es/centro-de-documentacion?_20_folde-rId=13557&_20_viewEntries=1&_20_viewFolders=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview&_20_action=browseFolder&p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&_20_entryStart=0&_20_entryEnd=50&_20_folderStart=0&_20_folderEnd=100



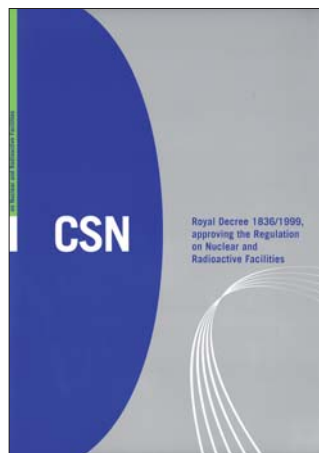
Publicaciones



Guía de Seguridad 5.8 (Rev. 1)
Bases para elaborar la información relativa a la explotación de instalaciones radiactivas



Instrucción IS-10, revisión 1,
sobre los criterios de notificación de sucesos al CSN por parte de las centrales nucleares



Royal Decree 1836/1999,
approving the Regulation on Nuclear and Radioactive Facilities



Programas de vigilancia radiológica ambiental
Resultados 2013



Resultado de la vigilancia de los trabajadores controlados mediante dosimetría individual. Año 2012
Informe Sectorial



Preguntas frecuentes sobre el transporte de equipos radiactivos de medida de densidad y humedad de suelos y de gammagrafía industriales
Actualización del ADR 2015

alFa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica

Boletín de suscripción

Institución/Empresa		
Nombre		
Dirección		
CP	Localidad	Provincia
Tel.	Fax	Correo electrónico
Fecha	Firma	

Enviar a **Consejo de Seguridad Nuclear — Servicio de Publicaciones**. Pedro Justo Dorado Delmans, 11. 28040 Madrid / Fax: 91 346 05 58 / peticiones@csn.es

La información facilitada por usted formará parte de un fichero informático con el objeto de constituir automáticamente el *Fichero de destinatarios de publicaciones institucionales del Consejo de Seguridad Nuclear*. Usted tiene derecho a acceder a sus datos personales, así como a su rectificación, corrección y/o cancelación. La cesión de datos, en su caso, se ajustará a los supuestos previstos en las disposiciones legales y reglamentarias en vigor.

Abstracts

REPORTS

4 A calendar for the Universe

Understanding of the processes of atomic decay and measurement of the half lives of different isotopes has provided us with genuine clocks and calendars that allow us to measure the age of rocks, biological remains and the very planet itself.

16 The CSN releases a new website

With a view to improving its contents and presentation, the Nuclear Safety Council has released an updated website, the result of intense, lengthy and meticulous efforts. This showcase for the activities of the organisation is a basic tool within the Council's policy of transparency and communication.

22 R&D, a CSN seal of identity

The Consejo de Seguridad Nuclear has an R&D plan that is carried out in collaboration with national and overseas universities and research centres, the aim being to remain at the forefront as regards know-how in the fields of nuclear safety and radiological protection.

35 Quantum computation: new rules of play for computers

The computers of the future will far outstrip the capacities of even the most advanced supercomputers of today, since they will operate in accordance with principles based on the properties of quantum mechanics and will be able to distinguish not only two states: on/off or 0/1, but also intermediate ones. This is a complex challenge that is still far from being a reality.

52 Meeting with a comet

The Rosetta mission is one of the most ambitious and complex ever undertaken by mankind and consists of sending a space probe to meet up with a comet, orbit it for more than a year and then have a module, Philae, land on it to carry out experiments *in situ*. The data gleaned from the mission will allow us to understand the nature of these heavenly bodies and reconstruct the history of the solar system.

59 Necessity and virtue

For more than two years the journal *Alfa* has included a section entitled Spanish Nuclear Technology, dedicated to providing information on the research and development work performed by different national organisations and companies in the sector. Included here is a new look at the nine entities that have been dealt with in the journal, with a view to offering an overall view of the situation of the sector.

INSIDE THE CSN

42 Salem, 24 hours a day on full alert

The Consejo de Seguridad Nuclear's Emergency Response Room (Salem) is kept permanently in a state of full alert, ready to enter into operation as soon as any incident is detected at a nuclear or radioactive facility and determine what actions are to be carried out in order to recover the normal situation of the installation.

26 RADIOGRAPHY

Pest control: the sterile insect technique.

INTERVIEW

28 Pierre-Franck Chevet, president of the Autorité de Sûreté Nucléaire

"The ASN strives to develop the risk culture through the participation of the members of the public."

TECHNICAL ARTICLE

8 Spent fuel temporary storage and transport casks

The temporary storage of spent nuclear fuel is an intermediate stage in the fuel cycle and an important challenge for countries with nuclear power plants. Regardless of whether they opt for an open cycle or for reprocessing, this fuel has to be transported. This article looks at international experience and the activities of the CSN, as the body in charge of assessing its safety and supervising its manufacturing.



Súmate a los 110.000

Desde su inauguración en 1998, los 110.000 visitantes del Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear han tenido ocasión de aproximarse al conocimiento sobre las radiaciones ionizantes, sus usos, sus riesgos y los controles y la protección que son necesarios para garantizar su utilización fiable, en la cual el CSN –como organismo encargado de la seguridad nuclear y la protección radiológica– juega un papel muy importante.

En la vida diaria utilizamos las radiaciones con una enorme frecuencia, tanto en relación con la salud y la medicina –en diagnóstico y en terapia– como también en la industria y en la investigación. A través de un recorrido guiado por los 29 módulos, se pueden conocer con detalle estos aspectos relacionados con las radiaciones. Consigue más información en www.csn.es/index.php/es/centro-informacion o pide cita en centroinformacion@csn.es Súmate a los 110.000.